

**DETERMINACION DE LOS NIVELES DE MERCURIO Y LA CALIDAD DEL  
AGUA, POR EFECTO DE LA MINERIA EN EL RIO LA TETA, MUNICIPIO DE  
BUENOS AIRES CAUCA.**

**MANUEL ESTIBEN CHINDICUE ARIAS  
NICOLAS RIVERA BRAVO**

**Universidad del Cauca  
Facultad de Ingeniería Civil  
Programa de Ingeniería Ambiental  
Popayán  
2017**

**DETERMINACION DE LOS NIVELES DE MERCURIO Y LA CALIDAD DEL  
AGUA, POR EFECTO DE LA MINERIA EN EL RIO LA TETA, MUNICIPIO DE  
BUENOS AIRES CAUCA.**

**MANUEL ESTIBEN CHINDICUE ARIAS  
NICOLAS RIVERA BRAVO**

**Trabajo de grado para optar al título de pregrado de  
INGENIEROS AMBIENTALES**

**Director  
Gerardo Andrés Torres Rodríguez PhD.**

**Universidad del Cauca  
Facultad de Ingeniería Civil  
Programa de Ingeniería Ambiental  
Popayán  
2017**

**NOTA DE ACEPTACIÓN**

---

---

---

---

**APROBADO POR**

---

**Evaluador del proyecto.**

---

**Evaluador del proyecto.**

---

**Wilson Andrés Betancourt Villalobos**  
Coordinador Programa  
Ingeniería Ambiental

---

**Gerardo Andrés Torres PhD.**  
Director del Proyecto.

## DEDICATORIA

A Dios, por habernos permitido llegar a éste punto, concediéndonos constancia, perseverancia y salud, para alcanzar este importante logro y a esas personas importantes en nuestras vidas, que siempre estuvieron listas para brindar toda su ayuda, confianza, educación, moral, apoyo y consejos. Con todo nuestro cariño está tesis se las dedicamos a ustedes:

*De Nicolás Rivera Bravo a: Carmen Rosa Bravo (Madre).  
Paulo Ernesto Rivera Bravo (Hermano).  
Laura, Carolina, Viviana, Andrea, Cristian, Christian, Luis Miguel, (Amigos).*

*De Manuel Estiben Chindicué Arias a: María Teresa Arias Parra (Madre).  
José Manuel Chindicué Manzano (Padre).  
Adriana y Natalia Chindicué Arias (Hermanas).  
Giselle y Juan Pablo Martínez (Sobrinos).  
Juan Pablo Martínez (Cuñado)  
Familia Londoño Londoño.  
Jessica, Daniela y Daniel. (Amigos).*

*A los sinodales que estudiaron y aprobaron ésta tesis:  
Katherine Huetio y Victoria Pizo*

## **AGRADECIMIENTOS**

Especiales agradecimientos a docentes, coordinadores, cuerpo administrativo, personal de planta de la facultad de Ingeniería Civil y su programa de Ingeniería Ambiental, de la Universidad del Cauca, específicamente los departamentos de Hidráulica, Química y el programa de Biología, representado por el profesor Gerardo Andrés Torres, director del presente trabajo de grado quien hizo parte del desarrollo y ejecución del proyecto de investigación ambiental presentado a continuación, agradecimientos en general al grupo de trabajo de la Corporación Autónoma Regional del Cauca – CRC, subdirección de defensa del patrimonio ambiental, liderado por Ecólogo, Fabián Bonilla Muñoz, quien superviso y brindó la posibilidad de apoyar y aprender del grupo de protección y vigilancia del patrimonio. En segundo lugar, pero no menos importante, expresamos nuestros agradamientos a nuestro padres, madres, hermanos, hermanas y demás familiares, quienes fueron fuente de inspiración y un apoyo incondicional para emprender y culminar este proceso académico, finalmente agradecemos a Dios por proporcionándonos salud, sabiduría, paciencia y empeño para desarrollar el presente trabajo.

## CONTENIDO

	pág.
INTRODUCCION	9
1. RESUMEN DEL PROYECTO	12
2. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO	14
2.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	14
2.2 OBJETIVOS	18
OBJETIVO GENERAL	18
OBJETIVOS ESPECIFICOS	18
2.3 MARCO DE TEÓRICO	19
2.3.1 Temperatura	19
2.3.2 Color.	19
2.3.3 Turbidez – Transparencia.	19
2.3.4 Conductividad.	20
2.3.5 pH.	20
2.3.6 Oxígeno.	20
2.3.7 Nitritos.	20
2.3.8 Nitratos.	20
2.3.9 Mercurio.	20
2.3.10 Ciclo biogeoquímico del mercurio.	21
2.3.11 Sustancias químicas de importancia usadas en la minería.	22
2.3.12 Amalgamación.	23
2.3.13 Cianuro.	23
2.3.14 Ácido sulfúrico.	24
2.3.15 Características de los efluentes en la minería.	24
2.3.16 Minería Artesanal.	25
2.3.17 Minería de Pequeña Escala.	25
2.3.18 Minería Ilegal.	26
2.3. 19 Minería de Hecho.	26
2.3.20 Minería Tradicional.	26
2.3.21 Beneficio del oro en minería de filón.	27
2.3.22 Trituración.	28
2.3.23 Molienda.	28
2.3.24 Molinos de Pisones	28
2.3.25 Barriles	28

2.3.26 Molinos chilenos	29
2.3.27 Molino de Bolas	29
2.3.28 Concentración Gravimétrica	29
2.3.29 Concentración en Batea	29
2.3.30 Canalón	30
2.3.31 Mesas de Golpe	30
2.3.32 Beneficio del oro en minería aluvial	30
2.3.33 Concentración gravimétrica en minería de aluvión	32
2.3.34 Hacia dónde dirigir los planes ambientales y sociales	32
2.3.35 Ecotoxicología del mercurio	32
2.3.36 Marco Legal - Resolución 631 de 2015	33
2.2.37 Real Decreto 817 de /2015	34
2.4 ESTADO DEL ARTE	37
2.5 ZONA DE ESTUDIO, MUNICIPIO DE BUENOS AIRES	40
2.5.1 Geografía.	40
2.5.2 Economía.	41
2.5.3 Vías de comunicación (terrestres).	41
2.6 MATERIALES Y MÉTODOS	43
2.6.1 Personal.	43
2.6.2 Equipos y materiales para el desarrollo de la investigación.	43
2.6.3 Procedimiento.	44
2.6.4 Distribución espacio-temporal de los monitoreos.	45
2.6.5 Aforos en el Rio La Teta y vertimientos puntuales	46
2.6.6 Distribución de monitoreos en el Rio La Teta.	47
2.7 MÉTODOS ESTÁNDAR PARA EL EXAMEN DE AGUAS Y AGUA RESIDUALES.	48
2.7.1 Métodos estándar parte 4000, constituyentes no metálicos inorgánicos, métodos estándar para el examen de aguas y aguas residuales.	49
2.7.2 Métodos estándar parte 5000, constituyentes orgánicos agregados, Métodos estándar para el examen de aguas y aguas residuales.	49
2.7.3 Métodos estándar parte 3000, Metales, métodos estándar para el Examen de aguas y aguas residuales.	50
2.7.3.1 Mercurio Método estándar 3112 B Método de Espectrometría de Absorción Atómica de Vapor Frío.	50
2.7.3.2 Método APA (Agencia de Protección Ambiental) 7471 B, mercurio en Residuos sólidos o semisólidos (técnica manual de vapor-frío).	51
3. RESULTADOS	53
3.1. Resultados individuales.	53
3.1.1 Conductividad.	53

3.1.2 Color.	53
3.1.3 Turbiedad.	54
3.1.4 Solidos Suspendidos Totales (SST).	54
3.1.5 pH.	55
3.1.6 Nitratos.	55
3.1.7 Nitritos.	56
3.1.8 Demanda Química De Oxigeno (DQO)	56
3.1.9 Mercurio (Agua).	57
3.1.10 Mercurio (Sedimento).	57
4. DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS	59
4.1 MERCURIO	61
4.1.1 Estadística descriptiva de Mercurio en Agua y Sedimento.	67
4.1.2 Cálculo de índice del riesgo de la calidad del agua – metodología IRCA	70
4.2 pH	71
4.3 CONDUCTIVIDAD	72
4.4 COLOR Y TURBIEDAD	73
4.5 NITRATOS Y NITRITOS	74
4.6 DEMANDA QUIMICA DE OXIGENO (DQO)	74
4.7 SOLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES (SST)	76
5. CONCLUSIONES	78
6. RECOMENDACIONES	80
BIBLIOGRAFIA	81
ANEXOS	86

## INTRODUCCION

El problema de la contaminación ambiental, ocasionado por la liberación de mercurio, debido al uso para la extracción de minerales como el oro, expertos de universidades brasileñas afirman que el mercurio en la minería del oro viene siendo utilizado desde hace más de 450 años en América. En efecto, se estima que entre 1550 y 1880 cerca de 200.000 toneladas métricas de este metal fueron depositadas por colonizadores españoles tan solo en América del Sur <sup>1</sup>. Según datos del World Gold Council (WGC), recopilados en el sitio web [horizonteminero.com](http://horizonteminero.com), en el año 2011 Colombia fue el 6 país latinoamericano con mayor producción de oro y el 19 a nivel mundial.

Actualmente, Colombia es uno de los países del mundo que más contamina el planeta con mercurio, debido al uso irresponsable de este metal en la minería del oro. En el 2010, nuestro país ocupó el segundo lugar (75,0 Ton/año) después de China (444,5 Ton/año), y es, en efecto, el que más contamina en América Latina <sup>1</sup>.

La Legislación Colombiana establece que las fuentes hídricas podrán ser destinadas para consumo humano siempre y cuando su concentración de mercurio sea menor a 2,0 µg/L. infortunadamente, se han detectado niveles de mercurio de hasta 5,0 µg/L como es el caso de la ciénaga de Ayapel (Córdoba); e igualmente, análisis de laboratorio del año 2010 mostraron que las aguas del Río Cabí (Quibdó), el cual sirve como fuente de abastecimiento para el acueducto de la ciudad, presentaban concentraciones superiores a 3,0 µg/L<sup>1</sup>.

Los impactos negativos del mercurio en aguas superficiales pueden deberse a factores como: altas concentraciones de metales pesados tanto en sedimentos como en el material suspendido, la profundidad a la cual se toma la muestra, el clima y las condiciones hidrológicas, la limnología del cuerpo de agua, la cantidad de mercurio vertido y transformado en otras especies, etc. De todas maneras, son un indicio de que hay lugares contaminados con este metal, cuyas fuentes hídricas pueden ocasionar problemas adicionales a las comunidades que viven a lo largo de ellas, donde los pobladores, además de consumir alimentos contaminados con mercurio, también consumen el agua <sup>1</sup>. La Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos, determinó que procesos como coagulación/filtración, filtración con carbón activado granular, ablandamiento con cal, y ósmosis inversa, son útiles para remover mercurio en agua por debajo de los 2,0 µg/L <sup>1</sup>. Seguramente, en las regiones afectadas, los sistemas de potabilización no están diseñados para eliminar este tipo de contaminantes, además las minas que utilizan mercurio, para realizar molienda y amalgamación simultánea, pierden cantidades considerables de mercurio y en regiones afectadas por la minería del oro, la inhalación de vapores de mercurio junto con la ingesta de peces contaminados, constituyen las principales fuentes de contaminación con este metal, el cual afecta la salud humana de múltiples maneras <sup>1</sup>.

El mercurio es considerado como uno de los metales pesados más venenosos y peligrosos para la salud humana <sup>2</sup>, pero se convirtió en uno de los principales aliados en muchos de los procesos donde la concentración de oro requería mayor productividad, empleándose de forma inadecuada, en sus diversas técnicas de amalgamación dentro y fuera de los beneficiaderos, deteriorando ecosistemas circundantes de la región, y presentando un mayor grado de afectación ambiental sobre el recurso hídrico <sup>3</sup>. En Colombia se encontró que la minería del oro no solo produce un impacto por la liberación de mercurio a los ecosistemas y su posible acumulación en los seres vivos, sino también por la exposición directa de cianuro que causa un ataque letal inmediato a la biota, reduciendo en forma considerable la diversidad biológica <sup>4</sup>.

Problemáticas relacionadas sobre las consecuencias negativas del mercurio en el medioambiente, los estragos que causa la minería ilegal del oro en el río Cauca, la controversia sobre el contenido de mercurio presente en el atún enlatado, la injerencia de narcotraficantes y grupos armados al margen de la ley en el negocio minero, y finalmente la intención del gobierno de regular de manera gradual la comercialización y uso del mercurio <sup>1</sup>, hacen de la manipulación del mercurio dentro de la minería del oro de pequeña y mediana escala, un fenómeno difícil de controlar por las autoridades competentes. No obstante, otro aspecto importante de esta problemática es el relacionado con el consumo de agua por parte de pobladores en regiones afectadas por la minería del oro, localizadas aguas abajo de las mismas; así como su impacto en la salud humana. Adicionalmente, poco se dice sobre el incumplimiento de la ley cuando se trata de garantizar bajos niveles de contaminantes en las fuentes hídricas, con el fin de proteger la vida acuática y la destinación del recurso para consumo humano y doméstico.

Hoy en día existe una profunda crisis institucional en la regulación y control de la actividad minera, que se expresa tanto desde el punto de vista de las autoridades mineras, como de las autoridades ambientales y territoriales, de allí se deduce que, si no se consolidan los procesos de revisión y fortalecimiento institucional, existe un alto riesgo de que los pasivos ambientales y sociales de la actividad minera terminen minimizando o incluso anulando, los pretendidos efectos positivos del crecimiento de la actividad minera en el país <sup>5</sup>.

Ahora bien, el Municipio de Buenos Aires, ha sido explotado desde tiempos remotos durante diversos periodos de extracción de metales de alto valor comercial como el oro. La tradición milenaria de extracción y beneficio artesanal de la actividad minera, sumado a la llegada de la industrialización, que se introdujo dentro de las prácticas cotidianas de extracción, el uso de cianuro y metales pesados como el mercurio, ha hecho que esta actividad, genere una afectación

directa al patrimonio natural de los Caucanos. Según lo evidenciado, es necesario realizar diversos tipos de estudios técnicos, evaluaciones y monitoreos con el fin de generar un diagnóstico ambiental de carácter interdisciplinario, con el objetivo de predecir, gestionar y solucionar los impactos ambientales negativos que pueden derivarse de la actividad minería del oro, tanto aluvial como de vetas y filones. Es claro que el uso de mercurio es un problema que sin duda acarrea las mayores pérdidas ecológicas impactando de manera negativa los lugares donde se realizan los procesos de extracción. La minería es un motor generador de empleo y la economía regional, pero que al mismo tiempo muestra serios reparos en el balance ambiental específicamente por la alta carga de sólidos aportada al Río La Teta, la contaminación producto de depósitos de lodos mal ubicados, y una amenaza permanente por el uso inadecuado de mercurio.

Aunando esfuerzos por encontrar a través de parámetros fisicoquímicos que permitan evidenciar la afectación descrita, La Universidad del Cauca junto a la Corporación Autónoma Regional del Cauca - CRC, pretende intervenir mediante una contribución técnico científica la subzona hídrica del Río La Teta, ubicada en el municipio de Buenos Aires, desarrollando actividades tales como: determinación de la calidad del agua sobre vertimientos directos y sedimentos, plan de monitoreo que permita determinar fenómenos de bioacumulación de metales pesados, determinación de grados de afectación ambiental y diagnósticos ambientales, dicha actividad abriría la posibilidad de que se realicen mayores intervenciones dentro de la comunidad académica, debido a que en la actualidad es muy poco lo que se ha abordado sobre esta temática en el departamento del Cauca. En consecuencia, se generarían mayores injerencias académicas y científicas con la posibilidad de aportar soluciones a una problemática social, económica y ambiental que se incrementa con el transcurso del tiempo.

---

1. Díaz, F. A., Revista De Salud Pública, Volumen 16, 2014, "Mercurio en la minería del oro: impacto en las fuentes hídricas destinadas para Consumo humano", (1/11-2016)

2. WWW.ESPAÑOL.HESPERIAN.ORG. GUIA COMUNITARIA PARA LA SALUD AMBIENTAL, La minería y la salud, 2011. p. 470-497

3. CORPORACION AUTONOMA REGIONA DEL CAUCA. Aspecto minero del Municipio de Suarez, área de influencia corregimientos de Midala y La Toma.

4. MANCERA, N.J., ÁLVAREZ, R., ACTA BIOLÓGICA COLOMBIANA, VOL. 1, 2006, estado del conocimiento de las concentraciones del mercurio y otros metales pesados en peces dulce acuícolas de Colombia, (05/05/2013) p. 4-9-10-16

5. CONTRALORÍA GENERAL DE LA REPÚBLICA, "Informe del estado de los recursos naturales y del ambiente", 2011-2012, p 161-163-165-177, 187,190-191-195-198-199-201

## 1. RESUMEN DEL PROYECTO

La tradición milenaria de extracción y beneficio artesanal, día a día se va perdiendo y en contraposición la mecanización de la actividad minera y de los procesos de beneficio la han ido remplazando; adicionalmente, la aparición de sustancias altamente tóxicas como el cianuro y el mercurio están sustituyendo la concentración gravimétrica. Sumado a esta problemática, la llegada de nuevos mineros provenientes de otras zonas del país, rompieron las costumbres locales de extracción y beneficio, el mercurio y el cianuro irrumpieron como elementos colectores de oro de forma rápida; sin embargo, lejos de la eficiencia y sostenibilidad que deben mostrar las plantas de beneficio. El mercurio se convirtió en un aliado en los procesos de concentración aurífera y como agente de productividad en los mismos, sin tener presente los serios reparos que este generaba a los ecosistemas acuáticos y terrestres, atentando contra la fauna y flora de la región.

En este proyecto se consideró para evaluación una porción de la subzona hídrica del Rio La Teta, determinando la presencia de mercurio en columna de agua y sedimento, relacionando estos resultados con actividades antropogénicas específicamente por minería.

Las zonas analizadas y muestreadas son: el corregimiento de Higuerrillos, vereda de Loma Alta y la zona minera de Pailas, con el respectivo levantamiento fotográfico y georreferenciación de cada punto de muestreo.

De acuerdo a los 12 muestreos analizados la presencia de mercurio a lo largo del Rio La Teta oscila entre 0,59  $\mu\text{g/L}$  y 8,99  $\mu\text{g/L}$  para la columna de agua, valores que se encuentra por encima de lo establecido en Resolución 0631 de 2015, la cual establece los parámetros y valores límites máximos en los vertimientos puntuales a cuerpos de agua superficiales.

Para la evaluación del sedimento del Rio La Teta, dado que no existe normatividad Colombiana vigente para la interpretación de los resultados de concentraciones se tuvo en cuenta el Real Decreto 817 del 2015 del Parlamento Europeo y del Consejo, sobre las normas de calidad ambiental en el ámbito de la política de aguas, debido a las experiencias del gobierno Español, relacionadas al tema del mercurio, así como en negociaciones intergubernamentales del Convenio de Minamata sobre el Mercurio, procesos de identificación de técnicas para la gestión segura del mercurio, entre otros. Este Decreto establece las normas de calidad, seguimiento y evaluación de las aguas superficiales, en términos de calidad ambiental y para este caso los valores permisibles a nivel de sustrato los cuales

oscilan entre 5210 µg Hg /kg y 44698 µg Hg/kg, representados en 13 monitoreos de los cuales ninguno cumple con la norma.

La caracterización fisicoquímica arrojo niveles de pH se encontraban dentro de los límites permisibles con valores entre 6,94 y 8,07 unidades de pH, en cuanto a color y turbidez se notó que había una estrecha relación ente los valores de unidades de turbidez y las zonas donde la actividad minera era constante y había mayor presencia de entables, en los sectores de Pailas y Loma Alta se evidencio altas concentración de sólidos en suspensión producto de los vertimientos, contrario al sector de Higuerrillos, ubicado en la parte alta de la subcuenca del Rio la Teta, en donde la presencia de entables es mínima y en donde los valores de turbidez y color no son elevados. Parámetros como DQO, solidos suspendidos, nitritos y nitratos presentan una relación directamente proporcional de acuerdo a la intensidad, frecuencia y descargas de vertimientos, generados por la actividad minera, intensificándose aguas abajo, en donde había mayor presencia de entables.

Con el análisis realizado sobre el Rio La Teta, se determina que la actividad minera del municipio de Buenos Aires está afectando negativamente el patrimonio ambiental, con incidencia directa sobre la fauna y flora, y especialmente al recurso hídrico, en vista de evidenciar los efectos devastadores a raíz de esta actividad económica, es prudente concebir espacios con la comunidad local, a través de visitas de reconocimiento y reuniones concertadas entre propietarios de entables, con el fin de generar sensibilización, promoviendo practicas ecológicamente amigables con el ambiente durante el desarrollo de los procesos de extracción de la minería del oro.

## DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

### 2.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Es claro que la actividad minera se ha incrementado exponencialmente en los últimos años. Las políticas públicas al respecto están en sintonía con la explotación de los minerales siendo esta una actividad prioritaria en zonas donde pueden existir otras actividades, ya que es declarada la minería como una actividad de “utilidad pública” según lo dispuesto en la Ley 0685 de 2001 en su artículo 13, del código de minas. En ese sentido grandes zonas agrícolas, hídricas o de biodiversidad se han visto afectadas cuando se descubren riquezas minerales <sup>6</sup>.

En Colombia se desarrollan diversos tipos de minera, dependiendo del volumen de material, frecuencia de explotación y el beneficio que se pueda obtener. La minería ocasional, hace referencia a una explotación transitoria de minerales industriales a cielo abierto, en pequeñas cantidades y a poca profundidad por medios manuales; la minería tradicional, hace referencia a la actividad minera ejercida desde antes de que entrara en vigencia la a ley 0685 de 2001, y se realiza en una área específica de forma continua o discontinua, por personas naturales o asociaciones sin título minero inscrito en el Registro Minero Nacional, por la ubicación del yacimiento constituyen para dichas comunidades la principal fuente de manutención y generación de ingresos; la minería informal está constituida por unidades de explotación pequeñas o medianas, de propiedad individual sin título inscrito en el Registro Minero Nacional; la minería Formal conformada por unidades de explotación de tamaño variable, explotadas por empresas legalmente constituidas; la minería ilegal es una economía que consiste en la explotación de minerales metálicos (oro, plata) y no metálicos (arcilla, mármol, entre otros), sin un control ni regulación social y ambiental por parte del estado, quienes la promueven disponen de medios y formas de organización que actúan al margen de los mecanismos de control del estado y evaden de manera sistemática las normas legales pertinentes; la minería legal es aquella que se encuentra amparada por un título minero, acto administrativo el cual otorga derecho a explorar y explotar el suelo y el subsuelo de propiedad nacional; finalmente se presenta la minería de subsistencia se denomina así a la explotación de pequeña minería de aluvión, es desarrollada por personas naturales que dedican su fuerza de trabajo a la extracción de un mineral mediante métodos rudimentarios <sup>7</sup>, entre estos el “*barequeo*” el cuál es el lavado de arenas por medios manuales y en donde no se utilizan grandes máquinas o medios mecánicos sino que por el contrario es la mano del hombre la que extrae de manera muy artesanal el mineral y obviamente en pequeñas cantidades. Pero, en los últimos años la llegada de retroexcavadoras, *dragas* y *dragones* (equipos, que pueden estar instalados en

una embarcación o tierra firme, que se utiliza para excavar material debajo del nivel del agua) ha cambiado la relación con el territorio y dramáticamente las relaciones sociales ya que la presencia de actores armados se ha incrementado con la aparición de este tipo de minería.<sup>6</sup> Es necesario en este punto hacer una pausa y distinguir muy bien la minería ilegal de la minería artesanal, informal o tradicional; ya que muchas veces se trata de confundir estas formas de minería sin tener en cuenta que la artesanal o tradicional es aquella que las comunidades han venido realizando durante décadas y hacen parte de sus prácticas culturales y medios de subsistencia para luchar contra la pobreza <sup>6</sup>.

En la actualidad, dado el auge del precio del oro, se impone una minería ilegal en los territorios del Chocó, Cauca y Nariño, este tipo de explotaciones se desarrolla sin ningún control y sin importar dónde se ubican: áreas protegidas, selvas y territorios étnicos, ocasionando daños irreparables en el territorio. Su carácter clandestino hace aún más complejo el conflicto<sup>6</sup>. Dentro de los impactos ambientales más frecuentes se encuentran; El deterioro de corrientes hídricas superficiales, por el aumento de sedimentos, contaminación con grasas y aceites, aguas residuales, y sobredemanda del recurso, ocupación de cauces, detrimento del suelo y la capa vegetal, debido a la instalación de campamentos. Además de liberaciones solidadas como arenas y lodos. Estos materiales se forman en la molienda de los minerales primarios y que entran al proceso de amalgamación, ya sea en circuitos abiertos o semicerrados, al estar en contacto con el mercurio se impregnan de éste metal y una vez contaminados pasan generalmente a los pozos desarenadores en donde se almacenan temporalmente; cuando los pozos empiezan a colmatarse, los mineros los desocupan y las arenas se depositan en pilas o montones al aire libre; los lodos que van junto con las arenas por lo general no alcanzan a depositarse en los desarenadores y muchos de ellos se escapan a las corrientes de agua. El mercurio presente en las arenas y los lodos está en forma metálica y de amalgama; cuando los pequeños mineros no están en capacidad de realizar procesos de cianuración, los lodos y arenas residuales permanecen al aire libre y allí se forman también otros compuestos de mercurio como el sulfato del mercurio ( $HgSO_4$ ) y el sulfuro de mercurio ( $HgS$ ) <sup>8</sup>.

Los efectos negativos provocados por la actividad minera en el Municipio de Buenos Aires, están relacionados directamente con las malas prácticas de extracción que se llevan a cabo. Un número significativo de entables mineros, emplean moliendas donde se hace el uso del Mercurio, infortunadamente, se encuentran cercanas (10 m) a las fuentes superficiales del Rio La Teta, este hecho implica que el proceso de *amalgamación* genera volatilización de los compuestos empleados por la misma, aquellos que no logran volatilizarse, se suspenden, dando como camino final la fuente más cerca, que es la subzona hídrica.

De lo anterior surge la hipótesis, sí; *¿el uso del mercurio, durante los procesos para la extracción del oro, está generando un efecto adverso, en el ecosistema*

*circundante?*, específicamente la Subzona hídrica del Río La Teta. Pues se sabe que la afinidad que tienen el oro y el mercurio, ha hecho que se magnifique su uso. El Mercurio empleado en los entables y beneficiaderos, tiene una dinámica con el medio ambiente a partir de 3 matrices principales: la primera son los derrames involuntarios en el suelo y en las corrientes superficiales de agua, la segunda es el arrastre de residuos y diversos minerales que han reaccionado a su vez con el mercurio, y finalmente la evaporación, al inducir la quema de la amalgama por evaporación natural. Es por eso que se cree que, con el aumento de la actividad minera de la región, las cargas superficiales generadas por mercurio de la subzona hídrica del Río La Teta, están alcanzando y superando los niveles máximos permitidos<sup>9</sup>. Trayendo como consecuencia procesos de *biomagnificación* (fenómeno de bioacumulación de una sustancia tóxica, presentándose inicialmente en bajas concentraciones en organismos al principio de la cadena trófica y en mayor proporción a medida que se asciende en dicha cadena). Y finalmente empeorando el problema, haciendo más grave la situación ambiental de las zonas afectadas

Otros problemas adversos han sido generados a partir de la extracción, como la erosión, problemas socioeconómicos, y los más importantes, aquellos relacionados con la salud de los habitantes, mineros y dueños de los entables por la manipulación inadecuada del mercurio y del cianuro especialmente <sup>10</sup>. Además, el agua que aflora en la base de los rellenos de escombros contiene una variedad de solutos que dañan o envenenan la biota, el empobrecimiento en la biodiversidad de corrientes de agua se relaciona con la perturbación por minería en las microcuencas, se destaca la concentración de sulfatos (SO<sub>4</sub>), forma de contaminación que se sabe que persiste un largo tiempo luego del cierre de las actividades mineras y que puede agudizar la contaminación de corrientes de agua<sup>5</sup>.

Por otra parte el mandato constitucional y la legislación ambiental definen controles a las prácticas de minería, a través de leyes como; La *Ley 99 de 1993* por la cual se crea el ministerio del medio ambiente, y se reordena el sector público encargado de la gestión y conservación del medio ambiente; La *Ley 1658 de 2013*, por medio de la cual se establecen disposiciones para la comercialización y el uso de mercurio en las diferentes actividades industriales del país y se fijan requisitos e incentivos para su reducción, eliminación y se dictan otras disposiciones; la *Ley 2811 de 1974*, en su artículo 159 nos habla de la utilización de aguas con fines lucrativos por personas naturales o jurídicas, públicas o privadas, y dará lugar al cobro de tasas fijadas por el gobierno nacional. Decretos como el *0933 de 2013*, el *0019 de 2012*, el *2715 del 2010* y el *2820 de 2010*. Por los cuales se dictan disposiciones en materia de formalización de minería tradicional y rige las actuaciones administrativas relacionadas con las solicitudes que se encuentran en trámite, simplificando los trámites y requisitos que se adelantan ante la autoridad nacional ambiental competente y otorga al

estado propiedad sobre el subsuelo y los recursos naturales no renovables, sin perjuicio de los derechos adquiridos y perfeccionados con arreglo a las leyes preexistentes.

Ahora bien, toda esta legislación ambiental vigente ordena conservar áreas estratégicas de especial interés, tales como; parques nacionales, reservas forestales, paramos, humedales y áreas de prestación de servicio ecosistémico, pero, es aquí donde se presenta una inconsistencia, ya que la minería tanto artesanal como a gran escala generan daños irremediables al ambiente. Ejemplos de esto los encontramos en el Municipio de Suárez como en gran parte del país <sup>4</sup>. En el Municipio de Buenos Aires, la minería funciona como motor generador del empleo y la economía regional muestra serios reparos en el balance ambiental especialmente por la alta carga de sólidos aportada al Río Teta, la contaminación producto de lechos de lodo mal ubicados y la amenaza por el uso de mercurio <sup>10</sup>. Dadas estas circunstancias es necesario realizar una caracterización fisicoquímica de agua de la subzona hídrica del Río la teta, Municipio de Buenos Aires y posteriormente hacer identificación de metales pesados en el sedimento, siendo el mercurio el más importante en el proceso de amalgamamiento del mineral del oro, ya que el mercurio en este tipo de procesos genera preocupaciones a nivel social y ambiental, debido a sus posibles rutas de migración y a la variabilidad de especies de mercurio presentes en diferentes entornos.

---

4. MANCERA, N.J., ÁLVAREZ, R., ACTA BIOLÓGICA COLOMBIANA, VOL. 1, 2006, estado del conocimiento de las concentraciones del mercurio y otros metales pesados en peces dulce acuícolas de Colombia, (05/05/2013) p. 4-9-10-16.

5. CONTRALORÍA GENERAL DE LA REPÚBLICA, "Informe del estado de los recursos naturales y del ambiente", 2011-2012, p 161-163-165-177, 187,190-191-195-198-199-201.

6. González, L., Instituto de Estudios para el Desarrollo y la Paz- INDEPAZ, 2013, "Impacto de la minería de hecho en Colombia. Estudios de caso: Quibdó, Istmina, Timbiquí, López de Micay, Guapi, El Charco y Santa Bárbara", (1/11/2016).

7. Gobernación del Cauca, Secretaria de Desarrollo Agropecuario y Desarrollo Económico. Actividad Minera. Popayán. Sf.

8. SIPNOSIS NACIONAL DE LA MINERIA AURIFERA ARTESANAL Y DE PEQUEÑA ESCALA. PROGRAMA DE LAS NACIONES UNIDAS PARA EL MEDIO AMBIENTE Y EL MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE. BOGOTA, DICIEMBRE DE 2012. [Online]. [http://www.minambiente.gov.co/images/AsuntosambientalesySectorialyUrbana/pdf/mercurio/Sinopsis\\_Nacional\\_de\\_la\\_ASG M.pdf](http://www.minambiente.gov.co/images/AsuntosambientalesySectorialyUrbana/pdf/mercurio/Sinopsis_Nacional_de_la_ASG_M.pdf). pág. 21 - 49.

9. MINISTERIO DE MINAS Y ENERGIAS. ESTUDIO DE LA CADENA DEL MERCURIO EN COLOMBIA, TOMO 3. noviembre de 2014. p. 190-192.

10. CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DEL CAUCA, "Distrito minero de Buenos Aires, programa de producción competitiva y limpia, contaminación por mercurio y otros", 2007, (04/05/2013).

## **2.2 OBJETIVOS**

### **OBJETIVO GENERAL**

Analizar mediante caracterización fisicoquímica, la calidad de las aguas de la subzona hídrica del Rio La Teta, determinando la presencia de mercurio relacionado con actividades de minería del oro.

### **OBJETIVOS ESPECIFICOS**

- Establecer mediante parámetros fisicoquímicos (Mercurio, DQO, pH, conductividad, Solidos Suspendedos Totales, Turbiedad, Color) la calidad de agua del Rio La Teta.
- Determinar los niveles de concentración de mercurio de la columna de agua y de sedimento, en el Rio La Teta, producto de los vertimientos provenientes de la actividad minera.

## 2.3 MARCO DE TEÓRICO

El agua es el constituyente más importante del organismo humano y del mundo en el que vivimos. Tiene una gran influencia en los procesos bioquímicos que ocurren en la naturaleza. Esta influencia no solo se debe a sus propiedades fisicoquímicas como molécula bipolar sino también a los constituyentes orgánicos e inorgánicos que se encuentran en ella. La presencia de sustancias químicas disueltas e insolubles en el agua que pueden ser de origen natural o antropogénica define su composición física y química. Algunos procesos fisicoquímicos que ocurren en el agua pueden ser evaluados si se recurre a los principios de equilibrio químico.

El término *calidad del agua* es relativo y solo tiene importancia universal si está relacionado con el uso del recurso. Es importante anotar que una caracterización fisicoquímica del agua se realiza usando técnicas analíticas adecuadas para cada caso. Para que los resultados de estas determinaciones sean representativos, es necesario dar mucha importancia a los procesos de muestreo y a las unidades y terminología empleadas.

**2.3.1 Temperatura.** La temperatura de un agua se establece por la absorción de radiación en las capas superiores del líquido. Las variaciones de temperatura afectan a la solubilidad de sales y gases en agua y en general a todas sus propiedades, tanto químicas como microbiología.

**2.3.2 Color.** El color de un agua se debe a sustancias coloreadas existentes en suspensión o disueltas en ella: materias orgánicas procedentes de la descomposición de vegetales, así como de diversos productos y metabolitos orgánicos que habitualmente se encuentran en ellas (coloraciones amarillentas). Además, la presencia de sales solubles de Fe y Mn (aguas subterráneas y superficiales poco oxigenadas) también produce un cierto color en el agua.

**2.3.3 Turbidez – Transparencia.** La presencia de materias en suspensión, arcilla, limos, coloides orgánicos, plancton y organismos microscópicos da lugar a la turbidez en un agua. Estas partículas (de dimensiones variables desde 10 nm hasta 0,1 mm) se pueden asociarse a tres categorías: minerales, partículas orgánicas húmicas y partículas filamentosas. Las primeras provienen de la erosión de suelos y rocas, suelen estar revestidas de restos orgánicos, y conforman la mayor fracción de las materias en suspensión de la mayoría de las aguas.

**2.3.4 Conductividad.** La conductividad es producida por los electrolitos disueltos en agua y en ella influyen: terreno drenado, composición mineralógica, tiempo de contacto, gases disueltos, pH y todo lo que afecte a la solubilidad de sales. Existe una relación entre ella y el residuo seco que se ya vio más arriba. Concretamente, en un agua natural no muy contaminada, se cumple que el valor del residuo seco en mg/L oscila entre 0,5 y 1,0 veces el valor de conductividad, expresada en  $\mu\text{S}/\text{cm}$ .

**2.3.5 pH.** Se debe al equilibrio carbónico y a la actividad vital de los microorganismos acuáticos. Respecto a lo primero, la secuencia de equilibrios de disolución de  $\text{CO}_2$  en un agua, y la disolución de  $\text{CO}_3^{2-}$  e insolubilización de  $\text{HCO}_3^-$ , determinan el pH de un agua. El valor de pH de aguas superficiales está entre 6 - 8,5, siendo las aguas subterráneas más ácidas que las superficiales. En lagos y embalses, el pH varía cíclicamente, disminuyendo con la profundidad del agua.

**2.3.6 Oxígeno.** Su solubilidad del oxígeno depende de temperatura, presión, agitación del agua, contenido salino y consumo-producción por los organismos acuáticos. Las aguas superficiales suelen tener  $>7-8 \text{ mg/L}$  mientras que las de fondo pueden llegar a estar anóxicas incrementando su contenido en especies químicas en bajo estado de oxidación ( $\text{Fe}^{2+}$ ,  $\text{Mn}^{2+}$ ,  $\text{NH}_3$ ...).

**2.3.7 Nitritos.** Son un estado intermedio de oxidación entre el amonio y los nitratos, en aguas superficiales su concentración no suele superar los  $0,100 \text{ mg/L}$ , siendo mucho más abundantes en ríos contaminados por aguas residuales urbanas y/o industriales. También se dan en aguas subterráneas pobres en oxígeno, así como en zonas anóxicas de lagos y embalses estratificados térmicamente.

**2.3.8 Nitratos.** Proceden de disolución de rocas y minerales, de la descomposición de materias vegetales y animales, y de la contaminación por efluentes agrícolas e industriales. En aguas de superficie no contaminadas no suelen superar los  $10 \text{ mg/L}$ , pero en aguas subterráneas contaminadas por abonados pueden superar ampliamente los  $50 \text{ mg/L}$ . Las aguas depuradas vía biológica pueden contener cantidades importantes de  $\text{NO}_3^-$  mediante el conocido proceso de nitrificación biológica.

**2.3.9 Mercurio.** El mercurio (Hg) es un elemento metálico de color plateado que permanece en estado líquido a temperatura ambiente, se considera un metal pesado. De entre sus propiedades físicas y químicas, cabe mencionar que su

número atómico es 80, peso atómico de 200.59 g/mol, temperatura de fusión de 38.87°C, temperatura de ebullición de 356.58°C, a temperatura ambiente su gravedad específica es 13.456 g/ml y la presión de vapor 0.16 Pa. Tiene una elevada tensión superficial, es bastante mal conductor del calor y buen conductor de la corriente eléctrica <sup>11</sup>.

En la naturaleza el mercurio puede encontrarse en dos estados distintos: a) el mercurio inorgánico (metálico o elemental Hg<sup>0</sup>), compuestos derivados del mercurio monovalente o ion mercurioso (Hg-Hg)<sup>2+</sup> y del mercurio divalente o ion mercúrico (Hg<sup>2+</sup>) y b) el mercurio orgánico (mercurio unido de forma covalente a los átomos de carbono). Los compuestos mercúricos son mucho más comunes que los compuestos mercuriosos. La mayor cantidad de Hg presente en el ambiente (exceptuando la atmósfera) se encuentra en forma de sales mercúricas inorgánicas y compuestos organomercúricos; mientras que el Hg elemental en forma de vapor prevalece en la atmósfera <sup>11</sup>.

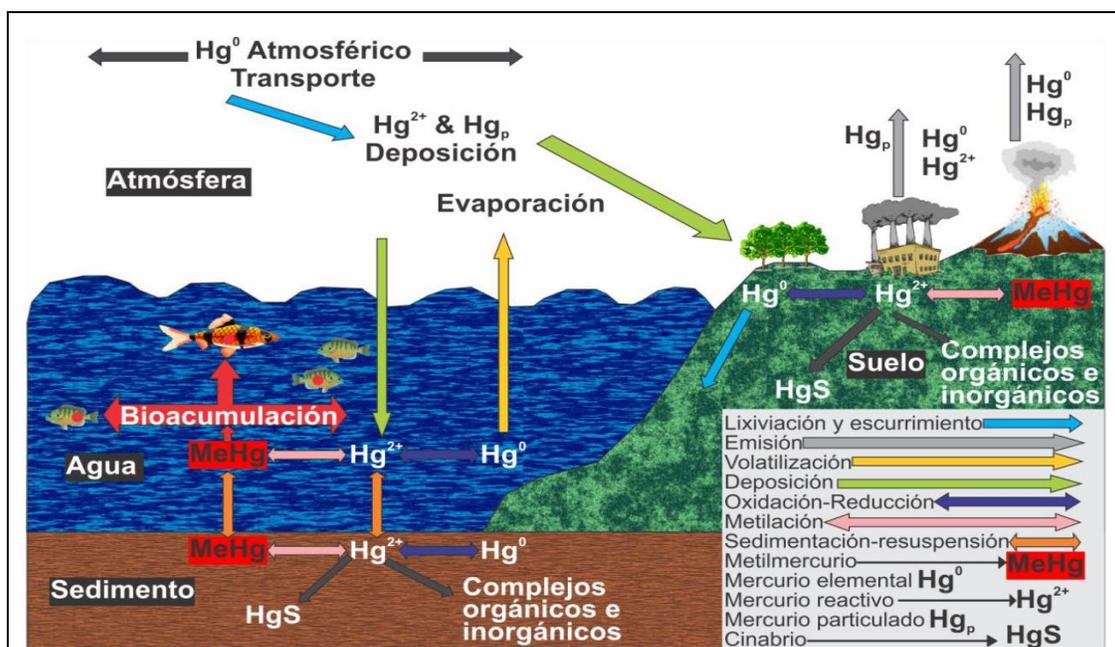
El mercurio inorgánico puede ser transformado en mercurio orgánico mediante la intervención de los microorganismos. La mayoría de los compuestos orgánicos de Hg no son solubles a excepción del hidróxido de metilmercurio debido a la gran capacidad del grupo hidroxilo para formar puentes de hidrógeno. Por otro lado, las especies mercúricas inorgánicas presentan una gran variabilidad de solubilidades, como el cloruro mercúrico que es muy soluble en agua, mientras que el sulfuro mercúrico es muy poco soluble <sup>11</sup>.

**2.3.10 Ciclo biogeoquímico del Mercurio.** El ciclo del mercurio se define como el flujo continuo de Hg entre los compartimentos inter-conectados de la atmósfera, el terrestre, el acuático y el biótico. Cada compartimento está ligado a los otros por una serie de ciclos biogeoquímicos que se controlan por la especiación y el flujo del mercurio. Este ciclo del Hg está basado en el comportamiento del Hg en los diferentes medios, en las reacciones químicas implicadas, así como en parámetros de transporte y su destino final. La cantidad de Hg presente en el ambiente estará en función del ciclo global natural, del ciclo global perturbado por la actividad humana y por las fuentes regionales y locales de mercurio. El mercurio representa el 8.5x10<sup>-6</sup> % en peso de la corteza. Raramente se encuentra libre en la naturaleza, en pequeñas gotas. El cinabrio (HgS) es el mineral de mena más importante para obtención de mercurio. Otros minerales de mercurio son la livingstonita (HgS·2Sb<sub>2</sub>S<sub>3</sub>), el calomelano o mercurio córneo (Hg<sub>2</sub>Cl<sub>2</sub>), la tiemannita, (HgSe) y la coloradoita (HgTe). La tetraedrita de mercurio (schwazita o hermesita) no tiene ninguna importancia económica.

Las áreas geológicas enriquecidas con mercurio están relacionadas con los límites de placas, vulcanismo reciente, mineralizaciones de metales preciosos y altos flujos de calor. En la mayoría de los yacimientos de mercurio existe una asociación

con fallas y fracturas regionales. Los depósitos de mercurio pueden clasificarse en tres grandes grupos: a) silíceo-carbonatados, b) hot spring y c) Almadén. Los depósitos silíceo-carbonatados están espacialmente asociados con serpentinitas alteradas a una asociación de minerales carbonatados y sílice, generalmente son pequeños, de 0.1 a 10 millones de toneladas métricas de mena y con espesores de veta de 0.5 a 10 metros. Los depósitos tipo hot spring están asociados a zonas volcánicas formados cerca de la superficie; su tonelaje métrico de mena es de 10 a 100 millones y sus espesores de veta más de 10 metros de ancho. En tanto que los depósitos de Almadén son los más grandes depósitos y de más alta calidad; contienen cinabrio masivo y según estudios es probable que los cuerpos mineralizados hayan sido formados por volcanismo submarino máfico <sup>11</sup>.

**Figura 1.** Ciclo biogeoquímico del Hg (Environment Canada, 2010), se esquematizan las principales fuentes de emisión del Hg al ambiente (minería, volcanes e industria), transporte en la atmósfera y los medios de acceso a la población humana a través de alimentos <sup>11</sup>.



### 2.3.11 Sustancias químicas de importancia usadas en la minería.

Las sustancias químicas usadas en la minería y en el procesamiento de minerales contaminan la tierra, agua y aire, causando problemas de salud a los trabajadores y a la gente que vive cerca de las minas. Los químicos tóxicos utilizados en la minería incluyen; cianuro, mercurio, ácido sulfúrico y disolventes para separar los minerales de la mena, ácido nítrico, nitrato de amonio, petróleo, y los metales pesados tales como el mercurio, uranio y plomo.

La pequeña y mediana minería en Colombia utiliza la *amalgamación* del oro como proceso para su extracción de las rocas que lo contienen. Este proceso es realizado utilizando mercurio elemental, el cual forma aleaciones con varios metales, entre ellos el oro, y de esta forma logra extraerlo del material rocoso. Una vez formada la amalgama oro-mercurio, esta es calentada y el mercurio elemental evaporado, quedando una mezcla de oro y otros metales en menor proporción. El mercurio evaporado es inhalado directamente por los mineros en varias etapas de la extracción aurífera, especialmente durante la quema de la amalgama, por lo que en la cadena productiva, los más afectados son los quemadores de amalgamas. Parte de este mercurio llega a la atmósfera, es depositado en los cuerpos de agua cercanos y transformado por las bacterias a metilmercurio, ion que se biomagnifica a través de la cadena trófica, alcanzando los peces, y eventualmente a sus consumidores, entre ellos el hombre. El metilmercurio es mucho más tóxico que el mercurio elemental, aunque ambos impactan severamente la salud de los mineros, tanto por consumo de pescado como por exposición directa, respectivamente <sup>12</sup>.

Otro procedimiento para recuperar el oro contenido en la amalgama es mediante la utilización de ácido nítrico  $\text{HNO}_3$  (reactivo capaz de disolver el oro y el platino), el cual descompone el mercurio produciendo una precipitación, del oro. El ácido nítrico es un líquido viscoso, incoloro e inoloro, es un agente oxidante potente, adoptando una coloración amarilla por el  $\text{NO}_2$  que se produce en la reacción, su punto de fusión es de  $-43\text{ }^\circ\text{C}$ , el de ebullición es de  $83\text{ }^\circ\text{C}$ , su densidad es de  $1,5\text{ g/ml}$  y es soluble en agua en cualquier proporción y cantidad. Este ácido es tóxico, muy corrosivo, mancha la piel de amarillo, puede ocasionar graves quemaduras, destruye las mucosas y es un componente de la lluvia ácida <sup>13</sup>.

**2.3.12 Amalgamación.** Técnica que consiste en agregar excesos de mercurio sobre los minerales previamente molidos o pulverizados y luego mediante movimientos de la masa permitir que éstos se ligen intrínsecamente; posteriormente la masa se coloca sobre mallas o paños muy finos y mediante presión se retira el exceso de mercurio. La pasta del metal precioso y mercurio (amalgama) es recuperada mediante el lavado y su separación del mineral molido es de tipo gravimétrico; finalmente la amalgama es expuesta a la llama y de esta manera se libera el mercurio en Estado gaseoso (vapor) y los metales preciosos forman una esponja; desde ese tiempo hasta hoy en día la técnica ha sido la misma y solo han cambiado los medios de molienda y los equipos de mezcla de los materiales <sup>8</sup>

**2.3.13 Cianuro.** La mayoría de los pequeños asentamientos de minería aurífera artesanal, y para obtener beneficio del oro en minería de filón, además de la amalgamación con mercurio, se emplea la lixiviación con cianuro para la

extracción del oro. Por lo general, el oro que no es obtenido por la amalgamación por mercurio, es recuperado por métodos electroquímicos en piscinas de cianuración, en donde el oro es disuelto formando un complejo con el cianuro, y luego precipitado sobre zinc granulado, desde donde es separado por métodos metalúrgicos. En la pequeña minería, la amalgamación con mercurio es la forma preferida de extracción del metal, en especial por la rapidez y simplicidad del proceso. En aquellas arenas que ya han sido tratadas con mercurio, la utilización de cianuro permite remover una fracción adicional del oro, pero el proceso suele ser mucho más largo, y requiere cierta infraestructura, por ello, en muchos casos este paso adicional no se realiza y el oro se pierde <sup>12</sup>.

**2.3.14 Ácido sulfúrico.** El ácido sulfúrico es un químico tóxico usado en la minería del cobre y es también un sub-producto de muchos tipos de minería. Mezclado con agua y metales pesados forma el drenaje ácido de mina. El ácido sulfúrico huele a huevos podridos. El contacto con ácido sulfúrico puede causar quemaduras, ceguera y muerte.

**2.3.15 Características de los efluentes en la minería.** Se identifican cuatro tipos de residuos líquidos que contienen mercurio y que provienen del beneficio de oro en la *minería aurífera artesanal y de pequeña escala* (MAAPE)<sup>8</sup>. Entre estas encontramos las Aguas mercuriosas, aguas residuales que provienen de los procesos de amalgamación de minerales primarios y de aluvión, de sistemas abiertos o semicerrados, el mercurio y parte de las amalgamas son arrastrados por la fuerza del agua; el mercurio va también en los lodos formados; dado que el mercurio iónico (Hg<sup>+</sup>) presenta alta atracción con los lodos (arcillas en forma aniónica) por su carga eléctrica opuesta, se favorece que finísimas gotas de mercurio, a pesar de su alto peso, se desplacen sobre la superficie del flujo de agua utilizado en el proceso; una parte de este mercurio es atrapado en los desarenadores y pozos de sedimentación pero otra, se escapa a las corrientes de agua natural <sup>8</sup>; las Aguas cianúricas, Otros residuos líquidos se forman cuando se neutralizan las colas de cianuración; en este proceso las arenas y lodos residuales son sometidos al lavado y neutralización mediante el uso de reactivos químicos como el hipoclorito y el peróxido de hidrógeno, que no solo neutralizan el cianuro residual presente en esas colas, sino adicionalmente forman nuevos complejos como el cloruro mercurioso (HgCl) y el cloruro mercúrico (HgCl<sub>2</sub>) si el compuesto de neutralización es el hipoclorito de sodio o de calcio y el hidróxido de mercurio (Hg(OH)<sub>2</sub>) si la sustancia neutralizante es el peróxido de hidrógeno. Los compuestos de mercurio formados en la cianuración y en la neutralización y un poco de mercurio metálico que aún subsiste son arrastrados por el flujo de las aguas de lavado a los suelos y a las corrientes de agua <sup>8</sup>; las Aguas de destilación ácida, Otro residuo líquido que se presenta en la (MAAPE) es generada cuando las amalgamas obtenidas no se destilan, sino que son disueltas en ácido nítrico o en mezclas de ácido nítrico, ácido clorhídrico y ácido sulfúrico; esta combinación

de ácidos en caliente disuelve el oro, el mercurio y otros metales presentes; posteriormente los metales son precipitados y finalmente fundidos. El mercurio disuelto en la solución se recupera por cementación (precipitación) con cobre o hierro y de esta manera se recupera entre el 95% y el 98% del mercurio; luego a las soluciones empobrecidas se les agrega agua y cal para neutralización del pH y finalmente se arrojan a los suelos y a las fuentes de agua. En estos fluidos el mercurio se encuentra principalmente en Estado metálico y en compuestos como nitratos, cloruros y sulfatos de mercurio <sup>8</sup>; y finalmente las Aguas de purificación de oro, También se generan residuos líquidos en el proceso de purificación del oro que en su última etapa permite reducir o eliminar todos los metales acompañantes para aumentar su pureza; el botón de oro obtenido en la fundición y que es una mezcla de metales como cobre, hierro, zinc, plomo, plata y oro, entre otros, se diluye en ácido nítrico y algunos complejos de mercurio son disueltos. Posteriormente el oro es precipitado y la solución pobre se neutraliza con una mezcla de agua – cal; el mercurio en este fluido se presenta en muy poca cantidad en Estado metálico y en forma de nitratos, cloruros, cloratos y sulfatos; la solución una vez neutralizada es arrojada a suelos y a corrientes de agua superficial <sup>8</sup>.

**2.3.16 Minería Artesanal.** En Colombia este tipo de extracción la llevan a cabo grupos de individuos en áreas de explotación tradicional y hoy en día también en áreas inexploradas, a las cuales por su ubicación geográfica y/o por los conflictos sociales no se había podido acceder en el pasado. A pesar de existir un gran número de personas en la misma zona, aplicando técnicas y tecnologías similares, cada frente de trabajo es único y no se evidencia articulación y continuidad en las labores extractivas y en las de beneficio del mineral del oro. La minería artesanal muestra algunas fortalezas y bondades, sus debilidades son también evidentes; al ser una actividad típica de subsistencia lleva consigo la generación de bajos márgenes de ganancia para el minero, que no permite inversión en tecnología ni mejoramiento de la calidad de vida del trabajador <sup>8</sup>.

**2.3.17 Minería de Pequeña Escala.** El decreto 2655 de 1988, antiguo Código de Minas del País, establecía en el artículo 15 que la definición de pequeña, mediana y gran minería se fundamentaba en el criterio de volumen o tonelaje de materiales útiles y estériles extraídos de la mina durante un determinado período de tiempo. Dicho artículo se fijaban los valores máximos y mínimos que daban la pauta para la clasificación de un proyecto minero según su tamaño. Estos valores fueron establecidos para cuatro tipos de materiales que para entonces se consideraban los de mayor explotación en el país (Metales y piedras preciosas, carbón, materiales de construcción y otros). A partir de la entrada en vigencia de la Ley 685 de 2012, se adoptó en el País un nuevo Código de minas, en el cual no se incluyó la clasificación de los proyectos mineros por tanto en la actualidad el término minería de pequeña escala o pequeña minería corresponde más a una

apreciación de tamaño y organización de la explotación minera que a una clasificación válida en el ordenamiento minero nacional <sup>8</sup>.

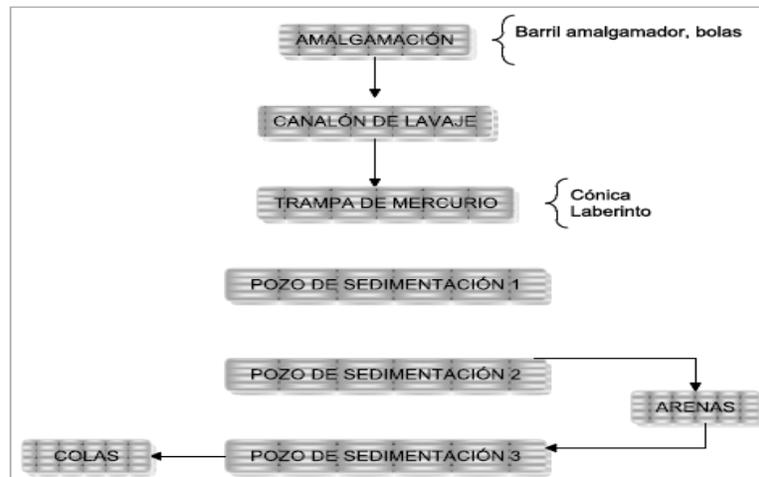
**2.3.18 Minería Ilegal.** La Ley 685 de 2001 establece en el capítulo XVII *Exploración y Explotación ilícita de minas* que la exploración y explotación ilícita de yacimiento minero es un delito contemplado en el artículo 244 del Código Penal y que se configura cuando se realicen trabajos de exploración, de extracción o captación de minerales de propiedad nacional o de propiedad privada, sin el correspondiente título minero vigente o sin la autorización del titular de dicha propiedad. En la definición anterior, no se tiene en cuenta el requisito de la licencia ambiental para las actividades de extracción de minerales, de acuerdo a lo establecido en el Decreto 2820 de 2010 <sup>8</sup>.

**2.3.19 Minería de Hecho.** La Defensoría del Pueblo en su documento “Minería de Hecho en Colombia” detalla: “No obstante, en el artículo 58 de la Ley 141 de 1994, vigente al año 2010, el cual es referenciado por el Código de Minas (La Ley 685 de 2001) en el artículo que regula precisamente el proceso de legalización minera, se utiliza el concepto de “Minería de Hecho” en lugar del de “Minería Ilegal”, para referirse de igual forma, a las personas que sin título minero vigente llevan a cabo actividades mineras. Al respecto, se considera que el concepto de “Minería de Hecho”, en lugar del concepto de “Minería Ilegal”, refleja de una mejor manera la realidad social de las personas que ejercen ésta actividad con cierto tiempo de antelación y como medio de subsistencia, y que, en muchos casos, no han logrado regularizar o legalizar sus actividades debido a las dificultades en el cumplimiento de los requisitos exigidos por las autoridades mineras y ambientales para tal fin, aunado a los obstáculos tecnológicos, educativos y de distancias geográficas que deben suplir estas comunidades para tener acceso a la información <sup>8</sup>.

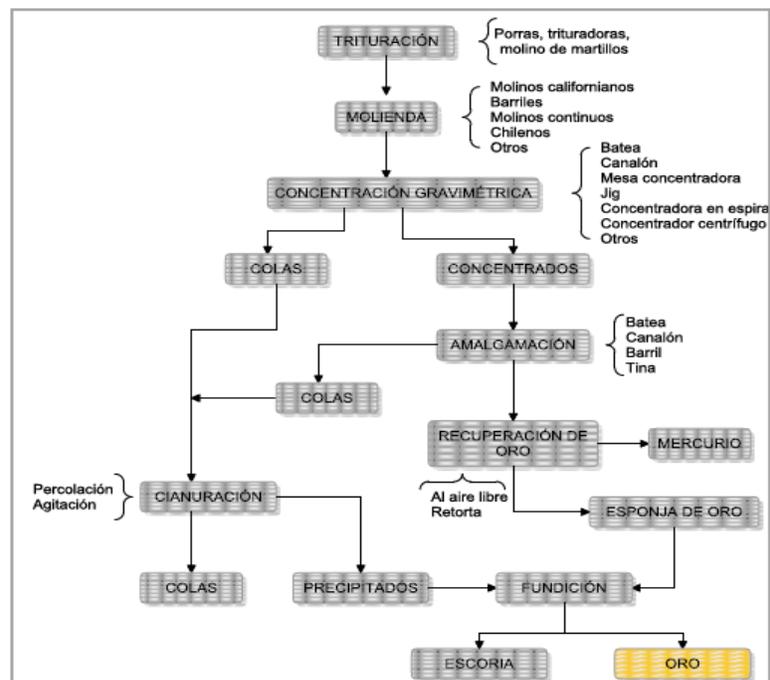
**2.3.20 Minería Tradicional.** La Ley 1382 de 2010 del Congreso de Colombia, en el Parágrafo 1 del Artículo 1 define: “Se entiende por Minería Tradicional aquellas que realizan personas o grupos de personas o comunidades que exploten minas de propiedad Estatal sin título inscrito en el Registro Minero Nacional y que acrediten que los trabajos mineros se vienen adelantando en forma continua durante cinco (5) años, a través de documentación comercial y técnica, y una existencia mínima de diez (10) años anteriores a la vigencia de esta Ley”. Así las cosas, la explotación de los metales preciosos en Colombia por parte de mineros artesanales y de pequeños mineros se realiza de dos maneras: La informal (minería tradicional y/o minería de hecho y minería ilegal), que carece de títulos mineros o licencias ambientales, que incumple los requerimiento de seguridad social y de seguridad en los sitios de trabajo, y la minería formal, que cumple con la normativa minera, la ambiental y la de trabajo y que además es solidaria y responsable en el pago de impuestos y regalías <sup>8</sup>.

**2.3.21 Beneficio del oro en minería de filón.** El mineral proveniente de las explotaciones que realiza la MAAPE en yacimientos primarios de veta o filón, llega a la planta de beneficio con un rango granulométrico muy heterogéneo; este mineral se apila en patios de recibo de carga o en tolvas de almacenamiento antes de iniciar el proceso de beneficio, que consta de varias etapas u operaciones, dependiendo si se utilizan circuitos abiertos o circuitos semicerrados <sup>8</sup>.

**Figura 2.** Esquema básico de beneficios de oro de filón en circuito abierto <sup>8</sup>.



**Figura 3.** Esquema básico de beneficios de oro de filón en circuito semicerrado <sup>8</sup>.



Estos esquemas muestran los pasos básicos que usualmente se consideran en la MAAPE; sin embargo, en algunas regiones del país los mineros han realizado variaciones en algunos procesos, buscando obtener mayores eficiencias tanto en la producción de oro como en el uso y recuperación del mercurio.

A continuación, se describen las operaciones más relevantes de beneficio de minerales auríferos de filón.

**2.3.22 Trituración.** El mineral aurífero almacenado en los patios o en las tolvas de recibo, es sometido a una reducción de tamaño mediante la fracturación de rocas cuyos diámetros superan las 3" o 4"; ésta operación es generalmente realizada de una forma manual y mediante el uso de una porra de acero; luego las rocas son cargadas a una trituradora de mandíbula o alimentadas a un molino de martillos, que las descargan con tamaños menores de 12 milímetros; por lo general la capacidad de trituración de una planta de beneficio en la MAAPE está entre tres y cuatro veces la capacidad de molienda de la misma <sup>8</sup>.

**2.3.23 Molienda.** Es el paso de preparación de mineral en donde se logra el tamaño requerido para adecuarlo a las siguientes fases del beneficio; la molienda es una de las variables relevantes para la mayor o menor recuperación de oro, en el consumo de energía y decisiva para seleccionar el tipo de técnica para la recuperación del oro; sin embargo, los pequeños mineros en general no conocen la granulometría de los minerales que procesan, lo cual introduce a errores en la molienda que se traducen en mayores consumos de energía, en pérdidas de oro, en aumento en consumos de reactivos, en el incremento de los tiempos de proceso y en mayores emisiones y liberaciones de mercurio al medio ambiente <sup>8</sup>.

**2.3.24 Molinos de Pisones.** La molienda se realiza por fracturación de la roca y como producto del impacto al caer un pisón sobre un dado metálico; la frecuencia de golpes del molino está alrededor de 100 por minuto. El rendimiento se marca por el número de pisones y por el peso de cada flecha. Este tipo de molino presenta rendimientos entre 4 t/día para un molino de 2 pisones y hasta 10 t/día para uno de 4 pisones. El molino de pisones tiene como ventajas el bajo costo de operación y mantenimiento <sup>8</sup>.

**2.3.25 Barriles.** Se encuentran en casi todos los montajes o plantas de beneficio, ya sea como equipos de solo molienda, como equipos de amalgamación o de uso mixto (molienda – amalgamación). La capacidad de carga comúnmente usada está entre 100 – 120 kilos, con cuerpos moledores de acero al manganeso los cuales están en una cantidad entre 60 y 80 kilos. En este tipo de molino el material procesado es deformado por atrición y abrasión y una mínima parte del mineral es

fracturado por impacto de las bolas; el tiempo de molienda, dependiendo de la dureza del mineral, puede estar entre 1 y 3 horas <sup>8</sup>.

**2.3.26 Molinos chilenos.** Los molinos chilenos en las plantas de beneficio están destinados exclusivamente a la molienda (porque podrían ser destinados también a la amalgamación); la operación de estos equipos básicamente consiste en 2, 3 y hasta 4 ruedas de acero que giran alrededor de un eje y sobre una pista denominada circo, la cual está recubierta por material de acero endurecido. La carga se aplica directamente al molino de forma manual y la rotación de las masas en el circo produce atrición y abrasión de las partículas, las que abandonan el molino a través de una malla de clasificación. El molino chileno o molino de arrastre puede tener rendimientos de hasta 20 t/día, pero su operación es discontinua y necesita de alto flujo de agua para su operación <sup>8</sup>.

**2.3.27 Molino de Bolas.** Este equipo de molienda continua es un tambor cilíndrico, forrado interiormente con camisas o placas de acero endurecidas, en su interior una parte del volumen está cargado con bolas de acero al manganeso las cuales sirven de cuerpos moledores, y otra parte se destina para el mineral y para el agua; la carga del mineral a procesar se realiza a través de una tolva de finos; durante el proceso de molienda es necesario agregar continuamente agua para que se mantenga una relación de pulpas de 33 1:4 hasta 1:7. Al girar el molino se producen esfuerzos de desgaste y de impacto sobre el mineral procesado reduciendo el tamaño de las partículas 1:4 hasta 1:7. Al girar el molino se producen esfuerzos de desgaste y de impacto sobre el mineral procesado reduciendo el tamaño de las partículas 1:4 hasta 1:7. Al girar el molino se producen esfuerzos de desgaste y de impacto sobre el mineral procesado reduciendo el tamaño de las partículas <sup>8</sup>.

**2.3.28 Concentración Gravimétrica.** La concentración gravimétrica es un proceso basado en la reducción al mínimo posible de los minerales sin interés económico (ganga), que acompañan al oro y en el enriquecimiento de los concentrados de este metal precioso; el proceso se realiza en presencia de agua. Los elementos de concentración gravimétrica más comúnmente manejados por la (MAAPE) son bateas, canalones, mesas de golpe, jigs y concentradores en espiral.

**2.3.29 Concentración en Batea.** Este sencillo, pero valioso elemento de concentración es utilizado de manera generalizada en casi todas las plantas de beneficio; en las plantas artesanales junto con el canalón, son los únicos medios de concentración de los minerales. Una batea permite, por movimientos rotatorios

y de desplazamiento longitudinal, concentrar los minerales pesados; la efectividad de este elemento hace que se pueda concentrar oro libre, mercurio y amalgama, por ello se usa no solo en el proceso de concentración, sino para el cateo de los minerales, el control de los procesos de beneficio y también como elemento de amalgamación <sup>8</sup>.

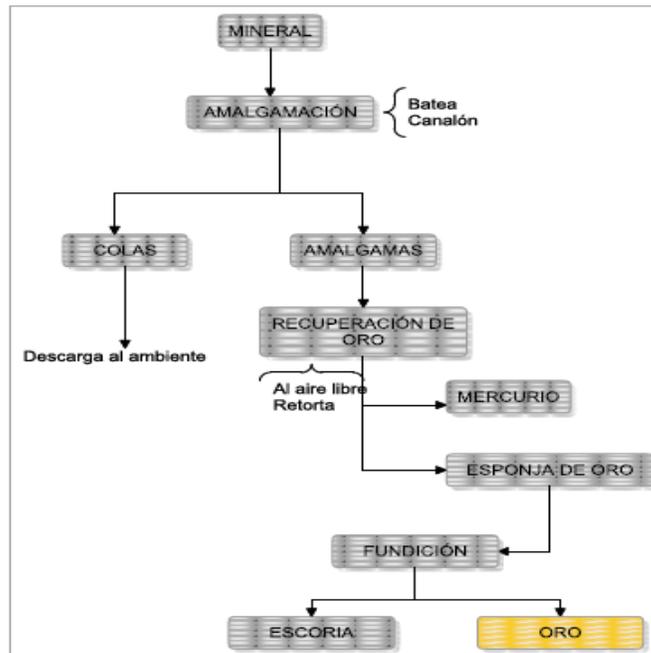
**2.3.30 Canalón.** Este elemento de concentración de bajo costo, de fácil operación y fabricación en la misma planta de beneficio, permite a la minería artesanal y de pequeña escala beneficiar casi todo el oro extraído en sus entables. El canalón (canelón, canaleta o tranque), está formado por un canal fabricado en madera, lámina o cemento y recubierto por textiles, encima de ellos se coloca una malla expandida o unos rifles, que permiten realizar golpes de agua y concentrar los minerales <sup>8</sup>.

**2.3.31 Mesas de Golpe.** Se conocen también como mesas concentradoras; en estos equipos la concentración gravimétrica se realiza en medio acuoso utilizando los principios de estratificación en corriente de agua y concentración en capa delgada, lo cual permite el agrupamiento de partículas por tamaño y partículas por diferencia de densidades. El movimiento longitudinal y vibratorio que se produce en la mesa, forma un abanico de mineral y los rifles encima de la mesa permiten la regulación y el avance de la carga <sup>8</sup>.

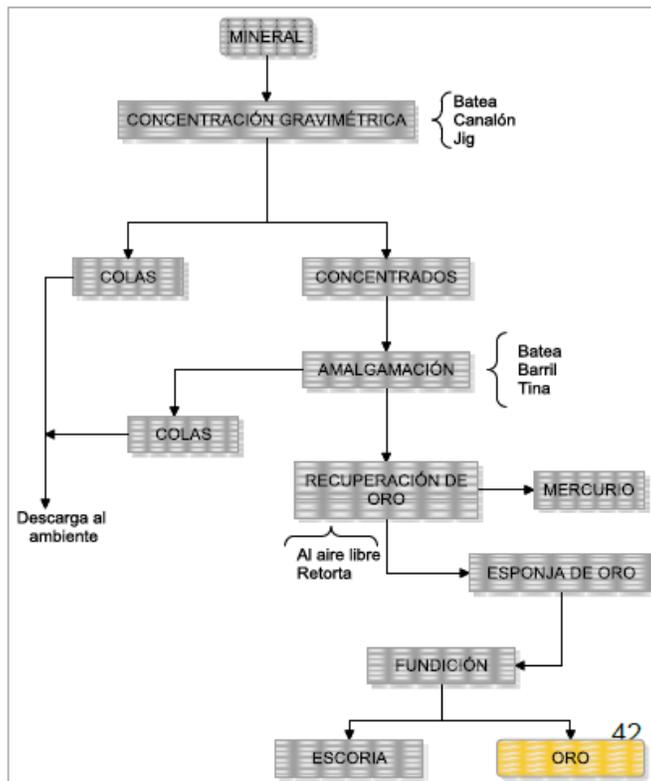
**2.3.32 Beneficio del oro en minería aluvial.** En un depósito aluvial la naturaleza, a través del tiempo geológico, ha realizado la liberación de las partículas del oro de su ganga acompañante y también ha concentrado los metales preciosos de forma tan efectiva y selectiva, que éstos se encuentran disponibles para su inmediata recuperación. El sistema de beneficio es realizado mediante concentración gravimétrica, en algunos casos amalgamación y en pocos casos destilación <sup>8</sup>.

Las actividades y operaciones mineras se adelantan en riberas, causes de los ríos o terrazas aluviales.

**Figura 4.** Esquema básico de beneficios de oro de aluvial en circuito abierto <sup>8</sup>.



**Figura 5.** Esquema básico de beneficio de oro de aluvial en circuito semicerrado <sup>8</sup>.



**2.3.33 Concentración gravimétrica en minería de aluvión.** Es el método de concentración de oro más utilizado por la minería aurífera artesanal y de pequeña escala en los terrenos aluviales; como el oro se encuentra en Estado libre y en tamaños generalmente por encima de los 40 micrones, presenta una excelente respuesta frente a procesos y equipos de concentración mecánica o gravimétrica. Los metales provenientes de los sitios de explotación (que en casi todas las ocasiones es el mismo sitio de beneficio) se someten a separación por tamaños; ésta selección se realiza manualmente quitando las rocas y las gravas del material a beneficiar (en el caso de la minería artesanal) y por medio de mallas en entables de la pequeña minería, dejando los materiales de menor tamaño (arenas) disponibles para su separación mecánica o gravimétrica <sup>8</sup>.

**2.3.34 Hacia dónde dirigir los planes ambientales y sociales.** Todas las operaciones mineras deberían incluir un plan de protección del medio ambiente y de apoyo a las necesidades de la comunidad. Las compañías mineras quieren obtener la máxima riqueza posible a bajo costo, así que la presión de la comunidad será necesaria para forzar a que las operaciones mineras desarrollen estos tipos de planes. Para que cualquier plan se haga efectivo, la gente de las comunidades cercanas debe participar en todas las decisiones.

**2.3.35 Ecotoxicología del mercurio.** La región de Buenos Aires – Cauca, cuenta con una geografía ecosistémica diversa, que alberga importantes cauces acuíferos, por ende, el desarrollo de la fauna y flora es igual de importante en la región. Es imprescindible, por tanto, tratar y entender la dinámica que tiene el Mercurio, principal metal pesado contaminante de los recursos naturales de la región, proveniente de la actividad minera a gran escala. Entre los principales impactos de la minería del oro están los accidentes laborales, los cuales no sólo pueden causar lesiones permanentes, sino la muerte, gran parte de estos problemas pueden reducirse dramáticamente con programas intensos de entrenamiento y el compromiso decidido de las multinacionales. Además de los posibles efectos que pueden presentarse por la liberación accidental de grandes cantidades de soluciones cianuradas con altos contenidos de metales en la minería de oro, también es posible que la remoción de material del subsuelo genere contaminantes de gran impacto sobre la salud humana. El grupo de los elementos denominados tierras raras, es decir, los quince lantánidos, además del escandio y el itrio, han sido encontrados en suelos de las áreas de procesamiento de mineral. De hecho, en un estudio publicado recientemente, y que fue ejecutado en una zona minera de la provincia de Fujian en el sudeste de China, la correlación entre la presencia de estos elementos en suelo y sangre de humanos fue alta y significativa ( $R^2=0.6556$ ,  $p<0.05$ ) <sup>12</sup>.

En los tiempos modernos, el mercurio se ha utilizado con diversos propósitos a nivel industrial, siendo hasta principios de la década de 1970, donde tres cuartas

partes de la industria mundial usaban aproximadamente 10.000 toneladas, las cuales como disposición final era el medio natural. Con ello surgen diferentes problemas toxicológicos, dando camino por ende a los *ecotoxicológicos*, donde solo hasta la década de los años sesenta, se empezó a evidenciar las emisiones a la atmosfera y vertimientos al medio acuático, generando problemas adversos, jamás imaginados, especialmente en Suecia y Japón <sup>14</sup>.

Se han detectado efectos perjudiciales en seres humanos, pero con menos fiabilidad a exposiciones mayores. En cuanto al metilmercurio, se han observado efectos en el sistema nervioso adulto, enfermedades cardiovasculares, en la incidencia de cáncer y en la genotoxicidad. Además, se han detectado efectos en la variabilidad del ritmo cardíaco y en la presión sanguínea en niños de siete años de edad con exposición prenatal, así como en la mortalidad cardiovascular en adultos. En el caso del mercurio elemental y los compuestos inorgánicos de mercurio, se han observado los siguientes efectos: en la excreción de proteínas de bajo peso molecular, enzimas asociadas con el funcionamiento de la tiroides, en los índices de abortos espontáneos, genotoxicidad, sistema respiratorio, sistema (digestivo) gastrointestinal, hígado, sistema inmunológico y la piel <sup>15</sup>.

El metilmercurio es sumamente tóxico y ataca principalmente el sistema nervioso. En adultos, los efectos más precoces son síntomas no específicos, tales como parestesia, malestar y visión borrosa; con una mayor exposición, aparecen signos tales como una constricción concéntrica del campo visual, sordera, disartria, ataxia y, por último, coma y muerte. El sistema nervioso central en desarrollo es más sensible al metilmercurio que el del adulto. En niños de corta edad expuestos a niveles elevados de metilmercurio durante el embarazo de la madre, el cuadro clínico puede ser imposible de distinguir del de la parálisis cerebral causada por otros factores, presentándose principalmente con microcefalia, hiperreflexia, discapacidad mental y trastornos de la función motora gruesa, a veces asociados con ceguera o sordera <sup>15</sup>.

**2.3.36 Marco Legal - Resolución 631 de 2015.** La presente resolución establece los parámetros y los valores límites máximos permisibles que deberán cumplir quienes realicen vertimientos puntuales a los cuerpos de agua superficiales y a los sistemas de alcantarillado público. Igualmente establece los parámetros objeto de análisis y reporte por parte de las actividades industriales, comerciales o de servicio de conformidad según la resolución, para efectos del presente trabajo se tuvo en consideración el Capítulo IV, en su artículo 10 relacionado con el sector minería, y su parámetro fisicoquímico a monitorear, en los vertimientos puntuales de aguas residuales no domésticas – ARnD, a cuerpos de agua superficiales de las actividades de minería <sup>16</sup>.

**2.2.37 Real Decreto 817 de 2015.** El real decreto se dicta de conformidad con lo dispuesto en la disposición final segunda del TRLA, que faculta al Gobierno y Ministro de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente para dictar, en el ámbito de sus competencias, las disposiciones necesarias para su desarrollo y aplicación. Esta norma tiene naturaleza jurídica de legislación básica de acuerdo con lo establecido en el artículo 149.1.23.<sup>a</sup> de la Constitución en la medida en que resulta un complemento necesario indispensable para asegurar el mínimo común normativo en la protección del medio ambiente aplicable para todas las demarcaciones hidrográficas, de manera que actúa como título competencial prevalente, pues en materia de aguas confluyen sobre una misma realidad varios títulos competenciales distintos a favor del Estado. Para efectos del presente trabajo se tuvo en cuenta el título III, en su capítulo I, relacionado los indicadores correspondientes a los elementos de calidad biológicos, químicos y fisicoquímicos e hidromorfológicos de soporte aplicables a cada tipo de masa de agua con la evaluación del estado ecológico, además del título IV relacionadas con las normas de calidad ambiental en el ámbito de la política de aguas y sedimento <sup>17</sup>.

A continuación, se hace una descripción de los aspectos más importantes del ordenamiento legal ambiental del país:

**Tabla No. 1.** Marco normativo Colombiano.

<b>MARCO NORMATIVO</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>
Constitución Política Nacional 1991, Título 2, Capítulo 3	De los derechos colectivos y del ambiente.
Ley 9 De 1979	Código Sanitario Nacional.
Decreto Único 1076 De 2015	Decreto único 1 del Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible
Decreto Ley 2811 De 1974	Código de los Recursos naturales Renovables y Protección al Medio Ambiente

**Tabla No. 2.** Marco normativo colombiano, Subsector Minero.

<b>MARCO NORMATIVO</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>
Decreto 2811 de 1974	Por el cual se dicta el Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente.
Ley 9 de 1979	Por medio de la cual se expide el código sanitario.
Resolución 2400 de 1979	Disposiciones sobre vivienda, higiene y seguridad industrial en establecimientos de trabajo
Decreto 1594 de 1984	Por medio del cual se reglamentan los usos del agua y residuos líquidos.
Constitución Política de Colombia de 1991	Consagra obligaciones y deberes para el Estado y las personas de proteger el medio ambiente, como principio fundamental.
Ley 99 de 1993	Por la cual se crea el Ministerio del Medio Ambiente, se reordena el Sector Público encargado de la gestión y conservación del medio ambiente y los recursos naturales renovables, se organiza el Sistema Nacional Ambiental, SINA y se dictan otras disposiciones.
Decreto 475 de 1998	Por el cual se expiden normas técnicas de calidad del agua potable.
Decreto 3100 de 2003	Por medio del cual se reglamentan las tasas retributivas por la utilización directa del agua como receptor de los vertimientos puntuales y se establecen las tarifas de éstas.
Resolución 1023 de 2005	Por la cual se adoptan guías ambientales como instrumento de autogestión y autorregulación
Decreto 3930 de 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.
Resolución 1096 de 2000	Por la cual se adopta el reglamento técnico para el sector de agua potable y saneamiento básico, RAS.
Decreto 4728 de 2010	Por el cual se modifica parcialmente el Decreto 3930 de 2010.
Resolución 631 de 2015	Por la cual se establecen los parámetros y los valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales a cuerpos de aguas superficiales y a los sistemas de alcantarillado público y se dictan otras disposiciones
Gestión ambiental calidad de agua. NTC-ISO 5667-10	muestreo de aguas residuales domésticas e industriales
CONPES 3177 de 2002	Acciones Prioritarias Y Lineamientos Para La Formulación Del Plan Nacional De Manejo De Aguas Residuales.

- 
8. SIPNOSIS NACIONAL DE LA MINERIA AURIFERA ARTESANAL Y DE PEQUEÑA ESCALA. PROGRAMA DE LAS NACIONES UNIDAS PARA EL MEDIO AMBIENTE Y EL MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE. BOGOTA, DICIEMBRE DE 2012. [Online]. [http://www.minambiente.gov.co/images/AsuntosambientalesySectorialyUrbana/pdf/mercurio/Sinopsis\\_Nacional\\_de\\_la\\_ASG M.pdf](http://www.minambiente.gov.co/images/AsuntosambientalesySectorialyUrbana/pdf/mercurio/Sinopsis_Nacional_de_la_ASG_M.pdf). pág. 21 - 49.
11. UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO. FRACCIONAMIENTO DE SUELOS CONTAMINADOS CON MERCURIO EN EL SUR DE LA SIERRA GORDA DE QUERÉTARO, MEXICO. Rodrigo Javier Martínez Pérez, MEXICO D.F. Enero de 2015. p. 5 – 6
12. Verbel J., “Efectos de la minería en Colombia sobre la salud humana”, Sf.
13. PRODUCCION MÁS LIMPIA EN LA MINERIA DEL ORO EN COLOMBIA, MERCURIO CIANURO Y OTRAS SUSTANCIAS. Unidad de Planeación Minero Energética, Republica de Colombia, Ministerio de Minas y Energía. 2007. pág. 43.
14. HANDBOOK ON THE TOXICOLOGY OF THE METALS. Third edition. Gunnar F. Nordberg, Bruce A. Fowler, Monica Nordberg, Lars Friberg. ECOTOXICOLOGY INDIVIDUAL OF THE METALS. p. 219 – 284
15. PROGRAMA DE LAS NACIONES UNIDAS PARA EL MEDIO AMBIENTE, “Evaluación Mundial Sobre el Mercurio”, programa interorganismos para la gestión racional de las sustancias químicas, Publicado por el PNUMA Productos Químicos, Ginebra, Suiza, Versión en español publicada en Junio 2005.
16. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. Resolución 0631. {En línea}. {06/03/2017}. Disponible en: ([http://www.minambiente.gov.co/images/normativa/app/resoluciones/d1-res\\_631\\_marz\\_2015.pdf](http://www.minambiente.gov.co/images/normativa/app/resoluciones/d1-res_631_marz_2015.pdf))
17. MINISTERIO DE AGRICULTURA, ALIMENTACIÓN Y MEDIO AMBIENTE. Real Decreto 817/2015, de 11 de septiembre, por el que se establecen los criterios de seguimiento y evaluación del estado de las aguas superficiales y las normas de calidad ambiental. {En línea}. {06/03/2017}. Disponible en: (<https://www.boe.es/boe/dias/2015/09/12/pdfs/BOE-A-2015-9806.pdf>).

## 2.4 ESTADO DEL ARTE

En la actualidad existen diversas investigaciones y estudios relacionados con el comportamiento de mercurio y algunas de sus especies con el entorno. Oliveri et al., (2016), evidenciaron en su estudio sobre movilidad del mercurio en sedimentos marinos contaminados, la disponibilidad de mercurio inorgánico disuelto (DHg) de sedimento, un paso crucial para la generación de mecanismos de metilmercurio (MeHg) en sistemas acuáticos. Al presentar nuevas pruebas sobre los mecanismos biogeoquímicos controlando una piscina de (DHg) de sedimento, recogidos de la *bahía de Augusta - Sicilia* (zona costera marina fuertemente contaminada por descargas de cloro-álcali). Se evidencio que el contenido de mercurio total (THg) en los sedimentos estudiados se presenta en gran parte como una fase inmóvil. A pesar del predominio de formas de mercurio "inmóvil", los perfiles de profundidad de sedimento sugieren una producción de DHg (hasta 226 ng/L) principalmente en los niveles más profundos de la columna sedimentaria <sup>18</sup>.

Las poblaciones microbianas específicas *identificadas* en los sedimentos aparecen *dominadas* por bacterias oxidantes de azufre quimiolitotórficas (SOB, géneros *Sulfurovum* y *Thioalkalispira*) que podrían impulsar la oxidación microbiana de los sulfuros, con efectos en la reducción de óxido de hierro - manganeso (Mn-Fe), y procesos de movilización de mercurio (Hg). Los resultados demuestran que el mercurio elemental libre (Hg<sub>0</sub>), probablemente asociado con residuos de una planta de cloro-álcali, y Sulfuros de mercurio como el cinabrio (HgS), dominan la asociación de mercurio en el sedimento de la bahía de Augusta<sup>18</sup>.

Por lo tanto, El enriquecimiento con *Thioalkalispira* (bacterias capaces de producir polisulfuros durante su respiración) en la muestra más contaminada sugiere *que estas bacterias* tienen un papel biogeoquímico específico y crucial, en procesos de *destoxificación de mercurio (Hg)* como oxidante de sulfuro y reciclador de Azufre en los sedimentos de la bahía de Augusta <sup>18</sup>.

Por otra parte, Parthasarathi et al., (2016), en un trabajo, sobre los efectos de las concentraciones de oxígeno en el fondo del agua relacionándola con la distribución de mercurio y especiación en sedimentos por debajo de la zona mínima de oxígeno. Investigó las influencias de diversos niveles de oxígeno disuelto (OD) en el fondo del agua, el tamaño del grano, el carbono orgánico sedimentario total (C-Org) y las concentraciones totales de sulfuro sedimentario. En la distribución y especiación de mercurio (Hg) y metilmercurio (MeHg) en el Mar Arábigo, frente a la costa occidental de la India <sup>19</sup>.

La naturaleza del (C-Org) desempeñó un papel clave en el control de la distribución y especiación de mercurio (Hg) en los sedimentos. Este estudio sugiere que el aumento de las concentraciones de (C-Org) inerte, disminuyó la tasa neta de metilación de mercurio (Hg) en los sedimentos de la zona de estudio. En general, La naturaleza de la metilación de Hg es controlada por (C-Org) en los sedimentos superficiales de la costa occidental de la india <sup>19</sup>.

La concentración creciente de (C-Org) aumento la acumulación de mercurio (Hg) en los sedimentos. Sin embargo, el nivel de oxígeno disuelto (OD) en el fondo del agua no aumentó la concentración del sedimento subyacente, (MeHg). La concentración de (MeHg) sedimentario disminuyó con las concentraciones crecientes de carbono orgánico sedimentario total (C-Org) y mercurio total en los sedimentos<sup>19</sup>.

Ahora bien, este es el primer estudio que se ha ocupado del impacto de la variación del oxígeno en los niveles en el agua superficial sobre la distribución de mercurio (Hg) y especiación en el sedimento subyacente a través de la zona mínima de oxígeno del Mar Árabe. Y encontró que la concentración de (C-Org) aumentó con el aumento de partículas más finas en los sedimentos y disminuyendo el nivel de oxígeno disuelto (OD) en el fondo del agua. Y que las concentraciones crecientes de (C-Org) aumento debido a la acumulación de Hg en los sedimentos <sup>19</sup>.

Por otra parte, el nivel de oxígeno disuelto (OD) agotado, no aumenta la concentración de (MeHg) en los sedimentos subyacentes. Se encontró que la naturaleza (lábil / inerte) del (C-Org) jugó un papel más importante controlando la distribución y la especiación de mercurio (Hg) en estas áreas<sup>19</sup>.

Por su parte, Willacker et al., 2016 en su estudio sobre los depósitos y la gestión del agua, sostiene que existe una relación en las concentraciones de mercurio de pescado en el oeste de los Estados Unidos y Canadá. Afirma que la manipulación antropogénica de los hábitats acuáticos puede alterar profundamente el ciclo del mercurio (Hg) y la bioacumulación. El embalse de los sistemas fluviales se encuentra entre las manipulaciones de hábitat más comunes y se sabe que aumenta las concentraciones de mercurio (Hg) en el pescado inmediatamente después del embalse. Sin embargo, no se entiende cómo las concentraciones de mercurio (Hg) difieren entre los embalses y los lagos a grandes escalas espaciales y temporales o cómo la gestión de los depósitos de agua influye en las concentraciones de mercurio (Hg) en los peces <sup>20</sup>.

Se evaluó las concentraciones de mercurio total (THg) en 64.386 peces de 883 depósitos y 1387 lagos, en el oeste de los Estados Unidos y Canadá, para evaluar las diferencias entre los embalses y la influencia de la gestión de depósitos de agua en las concentraciones de (THg) de peces. Proporcionando la mayor evaluación espacial y temporal de concentraciones de (THg) en pescados de

embalses hasta la fecha, demostró que las concentraciones de (THg) de los peces en embalses son más altas que en los lagos no retenidos y que esta relación varía considerablemente entre ecorregiones del embalse. Las concentraciones de (THg) en los embalses cambian drásticamente con la edad del depósito de agua, con mayores aumentos pronunciados en las concentraciones de (THg) de peces en los primeros tres años después de la creación de depósitos de agua y grandes disminuciones que ocurren de 3 a 12 años después del embalse <sup>18</sup>. Estos datos sugieren que en algunos casos la gestión del agua pueden proporcionar medios para reducir la bioacumulación de metilmercurio (MeHg) mediante manipulación, la sincronización de mínimos de nivel de almacenamiento de agua, además de reducir la cantidad de sedimentos expuestos (es decir, manteniendo los niveles de agua elevados) durante el primavera y verano (enero-julio) parece ser un mecanismo por el cual las concentraciones de (THg) de peces en depósitos de agua, podrían reducirse <sup>20</sup>.

Finalmente la Corporación Autónoma Regional del Cauca - CRC, en el año 2007, en su programa de Producción Competitiva y Limpia - Distrito Minero de Buenos Aires y dentro de sus funciones de fiscalización, monitoreo y seguimiento ambiental, intervino la zona y orientó esfuerzos en seis actividades principales así: Evaluación de los depósitos auríferos, inventarios de diagnósticos de plantas de beneficio y explotaciones mineras, capacitación, asistencia técnica, monitoreo ambiental y planificación de las acciones necesarias para orientar la minería y el beneficio de los metales preciosos de la región, como una opción de vida para sus habitantes dentro de claros criterios de sostenibilidad ambiental. El trabajo realizado concluyo que la mineralogía de la zona presenta dificultades en los procesos de beneficio en especial en la amalgamación y en la cianuración, además, aunque el río Teta aún no rebasa los límites para mercurio y cianuro es preocupante el aumento de estos químicos en sus aguas, así como la cantidad de lodos que está arrastrando. El documento resalta la iniciativa e interés de los propietarios de entables mineros en mejorar sus procesos de beneficio en compañía de un programa de capacitación y asistencia técnica permanente. Así mismo como la generación de un mecanismo institucional que permita que la CRC, INGEOMINAS y la alcaldía del municipio de Buenos Aires, apoyen a los mineros en la obtención de los títulos mineros y sus respectivas licencias ambientales. Ese mecanismo debe promover la consecución de los recursos necesarios para la reconversión tecnológica en la región <sup>10</sup>.

---

10. CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DEL CAUCA, "Distrito minero de Buenos Aires, programa de producción competitiva y limpia, contaminación por mercurio y otros", 2007, (04/05/2013).

18. Oliveri E. et al., Marine Chemistry, "Mobility of mercury in contaminated marine sediments: Biogeochemical pathways", 2016.

19. Parthasarathi C., et al., Marine Chemistry, "Effects of bottom water oxygen concentrations on mercury distribution and speciation in sediments below the oxygen minimum zone of the Arabian Sea", 2016.

20. Willacker, J., Eagles-Smith C., Lutz M., Tate M., Lepak J., Ackerman J., Science of the Total Environment, "Reservoirs and water management influence fish mercury concentrations in the western United States and Canada", 2016.

## 2.5 ZONA DE ESTUDIO, MUNICIPIO DE BUENOS AIRES

De los 32,56 km de longitud que posee el Rio La Teta, se escogieron aproximadamente 10 km para el estudio de diagnóstico y monitoreo, geográficamente, se eligieron las zonas de explotación y beneficio conocidas como:

- LOMA ALTA
- PAILAS
- HIGUERILLOS

Estableciendo, por tanto, 25 puntos de monitoreo, divididos así:

- 12 MONITOREOS PARA CARACTERIZACIÓN FISICOQUÍMICA DEL AGUA DEL RIO LA TETA.
- 13 MONITOREOS DE SEDIMENTO DEL RIO LA TETA.

Se considera a continuación la descripción geográfica, social y espacio-temporal del municipio de Buenos Aires, Departamento del Cauca:

**2.5.1 Geografía.** Se encuentra ubicado en el Noroccidente del Departamento del Cauca entre las coordenadas 806.000 y 846.000 Norte y 1'028.000 y 1'058.000 Este, con un área de 406.07 Km<sup>2</sup>. Su temperatura media es de 23°C. La altura relativa es de 1.225 m.s.n.m. y la cabecera municipal se encuentra a 1.152 m.s.n.m. Su cabecera está localizada a los 03° 01' 08" de latitud norte y 76° 38' 37" de longitud oeste. Precipitación media anual: 2.024 mm. Hacen parte del Municipio los Corregimientos de: El Ceral, El Porvenir, Honduras, La Balsa, Paloblanco, San Ignacio, el Naya y Timba <sup>21</sup>. Cada desplazamiento desde la ciudad de Popayán hasta el municipio de Buenos Aires, tiene una distancia de 112,6 km por carretera, contando con un tiempo total de viaje de ida de 2h 15 min, es decir 4 h 30 min por viaje.

**Extensión total:** 410 Km<sup>2</sup>

**Altitud de la cabecera municipal (metros sobre el nivel del mar):** 1200

**Temperatura media:** 23° C

**Distancia de referencia:** A 115 km de Popayán.

Los límites del Municipio son:

- Oriente: Municipio de Santander de Quilichao.
- Occidente: Municipios de Suárez, López de Micay y Buenaventura (Valle del Cauca).

- Norte. Municipios de Jamundí, Buenaventura (Valle del Cauca).
- Sur: Municipios de Suárez y Morales y el río Ovejas al medio.

Los principales ríos que bañan el territorio municipal son: Cauca, Timba, Ovejas, Naya, Marilópez, Azul, Mina, Cedral, Jabón, Ríos La Teta y Mazamorrero.

### **2.5.2 Economía.**

El Municipio de Buenos Aires - Cauca, tiene basadas sus principales actividades económicas en el sector minero y agropecuario, actividades que se convierten en muchas ocasiones en complementarias para la economía familiar.

Los Corregimientos o zonas donde se desarrollan las actividades agropecuarias son: La Balsa, San Ignacio y el resguardo las Delicias, El Porvenir, Honduras, La Paila, El Ceral, Palo blanco, EL Naya y Timba.

Las actividades agropecuarias en estas zonas son básicamente de subsistencia, con rendimientos del 50%, aproximadamente, con respecto a las explotaciones tecnificadas. La actividad minera se desarrolla principalmente en las veredas de Chambimbe, Mirasoles, Corregimientos de Palo Blanco, Honduras, y en Timba y con poca dinámica en San Ignacio. Es de anotarse que la mayor parte de los moradores de Palo Blanco realizan sus actividades agrícolas, en el sector de El Porvenir, otro corregimiento de este municipio, habitado en un 80% por personas nativas en Palo Blanco <sup>21</sup>.

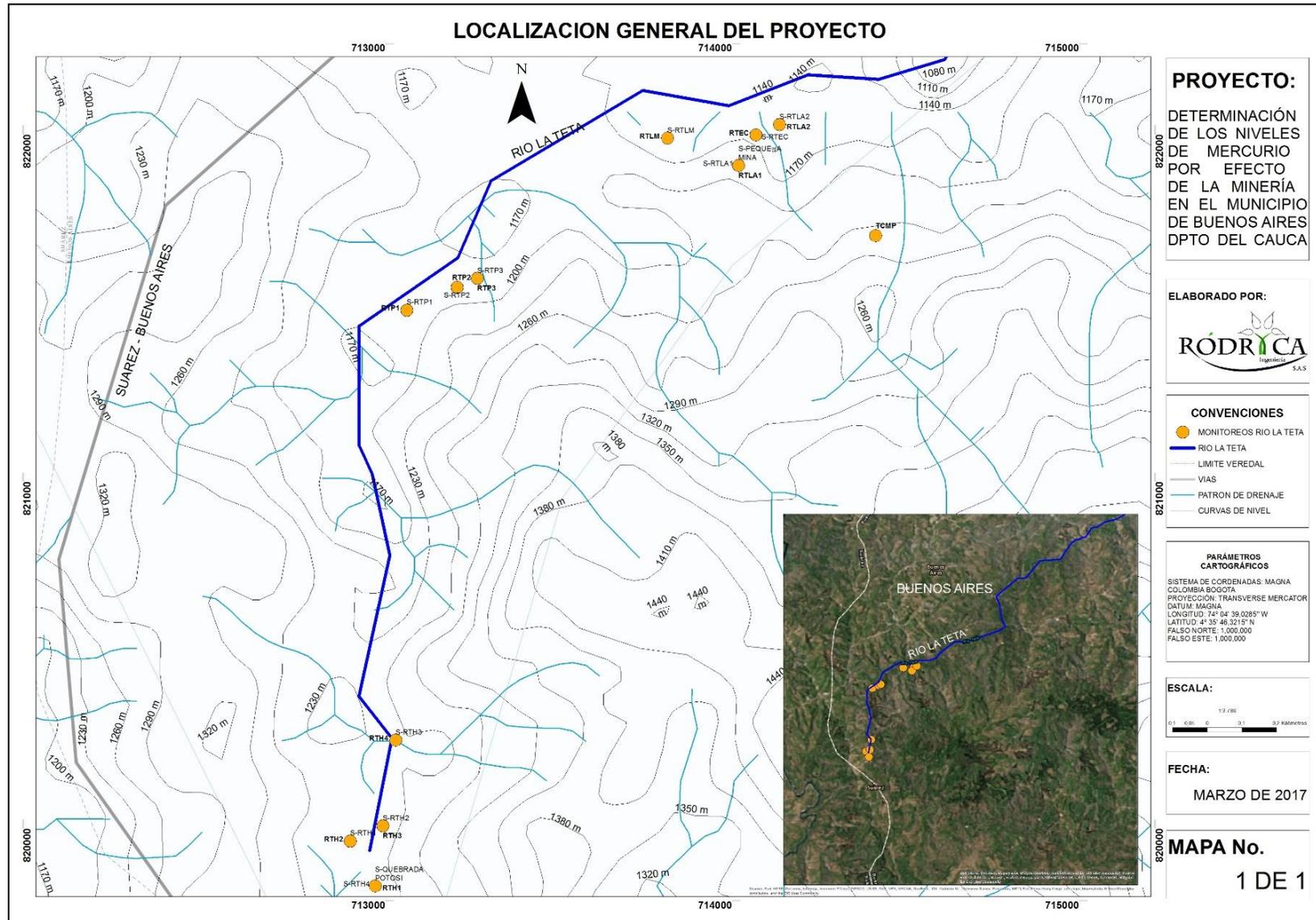
### **2.5.3 Vías de comunicación (terrestres).**

El Municipio de Buenos Aires se encuentra a una distancia de 116 kilómetros de la ciudad de Popayán, las carreteras con que cuenta son totalmente destapadas. La red vial es uno de los elementos claves para el desarrollo de cada municipio, pues a través de ella cada territorio se conecta con otros para realizar intercambios comerciales, este aspecto presenta una de las grandes dificultades en el municipio de Buenos Aires. Aunque existe un corredor vial que accede a todas las cabeceras de corregimiento (excepto el Naya) en su mayoría se trata de vías en mal estado que exceden las posibilidades del municipio en cuanto a mantenimiento se refiere. El principal medio de transporte es el automotor, el servicio de transporte de pasajeros lo prestan las empresas de Transur y Coomotoristas del Cauca, hacia el Valle del Cauca y el interior del Departamento del Cauca respectivamente<sup>21</sup>.

---

21. DIAGNOSTICO TERRITORIAL DEL MUNICIPIO DE BUENOS AIRES – 2015. Generalidades, localización. Recurso [Online]. pág. 53.

Figura 6. Sección mapa físico, Municipio de Buenos Aires, Cauca.



## 2.6 MATERIALES Y MÉTODOS

Con la identificación de trece (13) puntos estratégicos por contaminación con agentes químicos producto de la minería de oro filón, se procede a desplazarse a campo, con una frecuencia de dos (2) veces por mes, realizados durante los meses de Agosto y Septiembre, teniendo en cuenta la estabilidad geográfica de la zona del municipio de Buenos Aires.

Se realiza monitoreo de columna de agua del Rio La Teta, en efluente afectado por la descarga, en los puntos posteriormente señalados, considerando siempre la estrategia para toma de muestras de aguas residuales del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales – IDEAM. Atendiendo específicamente los requerimientos en:

**2.6.1 Personal.** Asesoría y dirección por parte del Dr. Gerardo Andrés Torres, tutor principal de la investigación.

Estudiantes del Programa de Ingeniería Ambiental de la Universidad del Cauca: Manuel Estiben Chindicué Arias y Nicolás Rivera Bravo.

Acompañamiento técnico de la Sociedad Minera del Sur. Ingeniero Nixon Hernández.

Acompañamiento de la Corporación Autónoma Regional del Cauca – CRC, en asesoría técnica de las zonas de afectación y desplazamiento.

### 2.6.2 Equipos y materiales para el desarrollo de la investigación.

- Geoposicionador.
- Muestreador (balde).
- Baldes plásticos de 7 L de capacidad para medición de caudal cuando se requiera.
- Tubo plástico para homogenización de la muestra compuesta.
- Probeta plástica graduada de 1000 mL.
- Cronómetro.
- Neveras de poliuretano con suficientes bolsas de hielo para mantener una temperatura cercana a 4°C.
- Frasco lavador.
- Cinta pegante y de enmascarar.
- Bolsa pequeña para basura.
- Esfero (bolígrafo) y marcador de tinta indeleble.
- Tabla portapapeles.
- Guantes.
- Recipientes plásticos y de vidrio. Varía según requerimientos de análisis.

- Formato de captura de datos en campo.
- Bolsa plástica para guardar los formatos.
- Documentos de identificación personal (carnet del Unicauca - CRC, de EPS y ARP).
- Ropa de trabajo cómoda, impermeable, botas de caucho.

**2.6.3 Procedimiento.** El proceso de colección de muestra para agua y sedimento, se realizó de la siguiente forma:

1. Se organizaron las botellas rotuladas.
2. En el punto de muestreo, se identificó y solicitó la colaboración necesaria para efectuar el muestreo.
3. Se diligenciaron los formatos de captura de datos con la información de ubicación temporo–espacial y observaciones respectivas.
4. Con ayuda del Geoposicionador se determinó la latitud, longitud y altitud del sitio exacto de vertimiento y se registró en el formato de captura de datos.
5. Se midió el caudal del efluente con la ayuda de molinete para aforos, y los vertimientos puntuales por el método volumétrico manual, empleando el cronómetro y uno de los baldes aforados.
6. Se colocó el balde bajo la descarga de tal manera que recibiera todo el flujo; simultáneamente se activó el cronómetro. Se tomó un volumen de muestra entre 1 y 7 L, dependiendo de la velocidad de llenado, y se midió el tiempo transcurrido desde el inicio hasta la finalización de la recolección de la descarga; siendo Q el caudal (en litros por segundo, L/s), V el volumen (en litros, L), y t el tiempo (en segundos, s), el caudal se calcula como  $Q = V / t$ , para ese instante de tiempo.
7. Se repitió el proceso por 5 veces más para obtener una muestra compuesta en el periodo de tiempo establecido.
8. Se colectó el sedimento de acuerdo al impacto del vertimiento, en cercanía del efluente del Río La Teta, en bolsas Ziploc de 250 mg de carga.
9. Se etiquetaron las botellas y las bolsas Ziploc antes del llenado. Los rótulos cuentan con la información de los analitos y la preservación respectiva. Diligenciando el nombre del punto de vertimiento y fecha.
10. Se taparon las botellas y las bolsas según fuera el caso.
11. Se dispusieron las botellas dentro de la nevera y previamente preparada con hielo suficiente para refrigerar.
12. Se dispusieron las bolsas Ziploc con el sedimento en ellas dentro de la nevera y previamente preparada con hielo suficiente para refrigerar.
13. Se conservaron de forma vertical para el caso de las botellas, hasta disponerlas entre una temperatura de 4° a 6°C en el Laboratorio Ambiental del Vivero La Florida de La Corporación Autónoma Regional del Cauca - CRC.

De otra parte, se consideraron previamente los requerimientos para conservación y almacenamiento de agua y sedimento propuestos por el IDEAM, establecidos como:

**Tabla No. 3.** Requerimientos para conservación y almacenamiento de muestras de aguas.

Parámetro a analizar	Conservación	Máximo almacenamiento Recomendado/Regulatorio.
Color	Refrigeración	48 h/48 h
DQO	Analizar tan pronto sea posible, o adicionar H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> a pH <2.0, refrigerar.	7 d/28 d
Conductividad eléctrica.	Refrigeración.	28 d/28 d
Metales en general.	Para metales disueltos filtrar inmediatamente, adicionar HNO <sub>3</sub> a pH <2	6 meses/6 meses
Mercurio	Adicionar HNO <sub>3</sub> a pH <2, refrigerar.	28 d/28 d
Nitrato	Analizar tan pronto como sea posible o refrigerar.	48 h/ 48 h
Nitrito	Analizar tan pronto como sea posible o refrigerar.	48 h/ 48 h
Solidos	Refrigeración.	7 d/ 2-7 d
Turbidez	Analizar el mismo día, guardar en oscuridad hasta 24 horas; refrigerar.	24 h/48 h

**2.6.4 Distribución espacio-temporal de los monitoreos.** Los trece (13) muestreos fueron distribuidos de la siguiente forma:

**Tabla No. 4.** Distribución espacio-temporal de los monitoreos realizados entre Agosto y Septiembre.

FECHA	ZONA	No MONITOREOS	Referencias monitoreadas		MATRIZ ANALIZADA	
			Agua	Sedimento	AGUA	SEDIMENTO
11/08/2016	LOMA ALTA	1	RTLA1	S-RTLA1	X	X
			RTLA2	S-RTLA2		
			RTLTM	S-RTLTM		
25/08/2016	LOMA ALTA	1	RTEC	S-RTEC	X	X
			TCMP	S-PEQUEÑA MINA		
1/09/2016	PAILAS	1	RTP1	S-RTP1	X	X
			RTP2	S-RTP2		
			RTP3	S-RTP3		
15/09/2016	HIGUERIL LOS	2	RTH1	S-RTH1	X	X
			RTH2	S-RTH2		
			RTH3	S-RTH3		
			RTH4	S-RTH4		

**2.6.5 Aforos en el Rio La Teta y vertimientos puntuales.** Se estableció de igual forma, los aforos para determinación de caudales, a través de las secciones del Rio La Teta monitoreadas, factor importante debido a que resulta de un producto hidrobiológico, el cual varía con la topografía, geología, clima, estación, vegetación y área de influencia. Para este caso y por las condiciones geográficas de la zona, se puede establecer como un efluente con flujo estable <sup>22</sup>.

El resultado de aforo \* para el Rio La Teta y descargas consideradas estratégicas para el monitoreo, se relacionan en la Tabla No 17 <sup>23</sup>.

---

22. GUIA PARA LA UTILIZACION DE VALIJAS VIAJERAS. ¿Qué es la velocidad de la corriente y caudal y por qué son importantes? – Red de monitoreo ambiental participativo de sistemas acuáticos. Versión 1.0/Junio 2007. pág. 1.

\* Los aforos se hicieron con molinete convencional. Unidades en m/s. Para vertimientos con tuberías dispuestas, se utilizó el método volumétrico con balde de 7 litros y cronometro.

23. INSTITUTO DE HIDROLOGIA, METEOROLOGIA Y ESTUDIOS AMBIENTALES. Subdirección de hidrología, grupo laboratorio de calidad ambiental. {En línea}. Instructivo para la toma de muestras de aguas residuales, 2007. p. 1 – 17.

**2.6.6 Distribución de monitoreos en el Rio La Teta.** En la Tabla No. 3 y No. 4 se relacionan las coordenadas y convenciones de monitoreo para calidad de agua y sedimento del Rio La Teta:

**Tabla No. 5.** Georreferenciación para monitoreos de la calidad del agua en el Rio La Teta. \*\*

<b>GEOREFERENCIACION - MONITOREOS AGUA RIO LA TETA</b>				
<b>No</b>	<b>REFERENCIA</b>	<b>COORDENADAS PLANAS</b>		<b>ALTURA (msnm)</b>
		<b>NORTE</b>	<b>ESTE</b>	
1	RTLA1	821622	1047660	1174
2	RTLA2	821740	1047778	1165
3	RTLTM	821700	1047455	1213
4	RTEC	821710	1047710	1165
5	TCMP	821421	1048055	1289
6	RTP1	821203	1046706	1186
7	RTP2	821269	1046850	1198
8	RTP3	821295	1046908	1184
9	RTH1	819545	1046619	1255
10	RTH2	819674	1046547	1257
11	RTH3	819718	1046641	1253
12	RTH4	819965	1046677	1260

**Tabla No. 6.** Georreferenciación para monitoreos de sedimento en el Rio La Teta. \*\*\*

<b>GEOREFERENCIACION - MONITOREOS SEDIMENTO RIO LA TETA</b>				
<b>No</b>	<b>REFERENCIA</b>	<b>COORDENADAS PLANAS</b>		<b>ALTURA (msnm)</b>
		<b>NORTE</b>	<b>ESTE</b>	
1	S-RTLA1	821622	1047660	1174
2	S-RTLA2	821740	1047778	1165
3	S-RTLTM	821700	1047455	1213
4	S-RTEC	821710	1047710	1165
5	S-PEQUEÑA MINA	821622	1047660	1174
6	S-RTP1	821203	1046706	1186
7	S-RTP2	821269	1046850	1198
8	S-RTP3	821295	1046908	1184
9	S-QUEBRADA POTOSI	819545	1046619	1255
10	S-RTH1	819674	1046547	1257
11	S-RTH2	819718	1046641	1253
12	S-RTH3	819965	1046677	1260
13	S-RTH4	819545	1046619	1255

\*\* Puntos de georreferenciación obtenidos con GPS Garmin 72H Ref. 010-00840-01.

\*\*\* Puntos de georreferenciación obtenidos con GPS Garmin 72H Ref. 010-00840-01.

## **2.7 MÉTODOS ESTÁNDAR PARA EL EXAMEN DE AGUAS Y AGUAS RESIDUALES.**

Los métodos estándar en su vigésima edición, se emplearon para representar mejor la práctica actual de los analistas de agua, y para ser aplicable en relación con los problemas ordinarios de la purificación del agua, eliminación de aguas residuales e investigaciones sanitarias.

En la medición de las propiedades físicas de una muestra, se distinguen las concentraciones de componentes químicos o biológicos. Muchas de las determinaciones incluidas, tales como el color, la conductividad eléctrica y la turbidez, encajan inequívocamente en esta categoría. Sin embargo, las propiedades físicas no pueden ser completamente divorciadas de la composición química, y algunas de las técnicas miden propiedades agregadas resultantes de la presencia de un número de constituyentes. Otros, por ejemplo, la saturación de carbonato de calcio, están relacionados o dependen de pruebas químicas. Sin embargo, por conveniencia se agrupan con las otras pruebas utilizadas para el lodo. La mayoría de los métodos incluidos son inherentemente o por lo menos tradicionalmente físicos, a diferencia de los métodos explícitamente químicos, radiológicos, biológicos o bacteriológicos de otras partes <sup>24</sup>.

### **2.7.1 Métodos estándar parte 4000, constituyentes no metálicos inorgánicos, métodos estándar para el examen de aguas y aguas residuales.**

Los métodos analíticos incluidos en esta parte hacen uso de técnicas químicas húmedas clásicas y sus variaciones automatizadas y técnicas instrumentales modernas tales como cromatografía iónica. Se presentan métodos que miden diversas formas de cloro, nitrógeno y fósforo. Los procedimientos están destinados a ser utilizados en la evaluación y control de la calidad del agua receptora, el tratamiento y suministro de agua potable y la medición de la operación y eficiencia del proceso en el tratamiento de aguas residuales. Los métodos también son apropiados y aplicables en la evaluación de las preocupaciones sobre la calidad del agua ambiental. La introducción de cada procedimiento contiene referencias a condiciones especiales de muestreo de campo, recipientes de muestras apropiados, procedimientos apropiados para muestreo y almacenamiento, y la aplicabilidad del método <sup>24</sup>.

### **2.7.2 Métodos estándar parte 5000, constituyentes orgánicos agregados, métodos estándar para el examen de aguas y aguas residuales.**

Los análisis de materia orgánica en agua y aguas residuales se pueden clasificar en dos tipos generales de mediciones: los que cuantifican una cantidad agregada de materia orgánica que comprende constituyentes orgánicos con una característica común y los que cuantifican compuestos orgánicos individuales.

Los Métodos para el carbono orgánico total y la demanda química de oxígeno se utilizan para evaluar la cantidad total de residuos orgánicos presentes, las fracciones brutas de la materia orgánica se pueden identificar analíticamente, como en la medición de la DBO, que es un índice de los compuestos orgánicos biodegradables presentes, aceite y grasa, que representa el material extraíble de una muestra mediante un disolvente no polar o haluro orgánico disuelto (DOX), que mide los halógenos unidos orgánicamente, el potencial de formación de trihalometano es una medida agregada de la concentración total de trihalometanos formada sobre cloración de una muestra de agua <sup>24</sup>.

Se realizan análisis de compuestos orgánicos para evaluar la concentración y composición general de la materia orgánica en el suministro de agua cruda, aguas residuales, efluentes tratados y aguas receptoras; Y determinar la eficiencia de los procesos de tratamiento <sup>24</sup>.

La demanda química de oxígeno (DQO) se define como la cantidad de un oxidante especificado que reacciona con la muestra bajo condiciones controladas, la cantidad de oxidante consumida se expresa en términos de su equivalencia de oxígeno, debido a sus propiedades químicas únicas, el ion dicromato ( $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ ) es el oxidante especificado en la sección de Métodos 5220 B, Sección 5220 C y Sección 5220 D; Se reduce al ion crómico ( $\text{Cr}^{3+}$ ) en estas pruebas. Los componentes orgánicos e inorgánicos de una muestra están sujetos a oxidación, pero en la mayoría de los casos el componente orgánico predomina y es de mayor interés. Si se desea medir la DQO orgánica o inorgánica solo, se deben tomar pasos adicionales no descritos aquí para distinguir uno de los otros.

La DQO es una prueba definida; El grado de oxidación de la muestra puede verse afectado por el tiempo de digestión, la concentración de reactivo y la concentración de DQO de la muestra. La DQO se utiliza a menudo como una medida de los contaminantes en aguas residuales y aguas naturales, Otros valores analíticos relacionados son la demanda bioquímica de oxígeno (DBO), el carbono orgánico total (COT) y la demanda total de oxígeno (DTO).

En muchos casos es posible correlacionar dos o más de estos Valores para una muestra dada.

- La DBO es una medida del oxígeno consumido por microorganismos bajo condiciones específicas.
- El COT es una medida de carbono orgánico en una muestra;
- DTO es una medida de la cantidad de oxígeno consumido por todos los elementos de una muestra cuando la oxidación completa (total) es Lograda.

### **2.7.3 Métodos estándar parte 3000, Metales, métodos estándar para el examen de aguas y aguas residuales.**

Los efectos de los metales en el agua y las aguas residuales van desde beneficiosos a peligrosos hasta peligrosamente tóxicos. Algunos metales son esenciales para el crecimiento de plantas y animales, mientras que otros pueden afectar negativamente a los consumidores de agua, sistemas de tratamiento de aguas residuales y aguas receptoras. Los beneficios frente a la toxicidad de algunos metales dependen de sus concentraciones en las aguas<sup>24</sup>.

#### **2.7.3.1 Mercurio Método estándar 3112 B Método de Espectrometría de Absorción Atómica de Vapor Frío**

La absorción atómica es el proceso mediante el cual el átomo en estado fundamental puede absorber energía de una radiación a una longitud de onda específica y pasar al estado excitado. La espectrofotometría de absorción atómica usa este proceso para cuantificar la cantidad de energía, en forma de fotones de radiación absorbidos por una muestra

El método de absorción atómica de vapor frío (Sección 3112B) es el método de elección para todas las muestras, también puede aplicarse con éxito en algunos casos, aunque el mercurio no esté específicamente listado como un analito en el método, el método de Ditzona puede ser usado para determinar niveles altos de mercurio ( $> 2 \mu\text{g} / \text{L}$ ) en aguas potables.

Debido a que el mercurio puede perderse fácilmente de las muestras, es necesario conservarlas tratando con  $\text{HNO}_3$  para reducir el pH a  $<2$ . Los recipientes de almacenamiento de vidrio son preferidos al plástico, ya que pueden extender el tiempo de retención a 30 días, en lugar de sólo los 14 días permitidos en recipientes de plástico <sup>24</sup>.

La característica de interés en las medidas por absorción atómica, es el monto de radiación que es absorbida, a la longitud de onda resonante,

cuando esta radiación pasa a través de una nube atómica. Conforme el número de átomos se incrementa el paso de la radiación, la cantidad que de esta será absorbida se incrementará en una forma proporcional. Se puede efectuar una determinación cuantitativa del analito presente, midiendo la cantidad de radiación absorbida. El uso de fuentes especiales de radiación y la selección cuidadosa de longitud de onda, permite la determinación específica de elementos individuales en la presencia de otros. En el caso del mercurio, dicha longitud de onda corresponde a 253,7 nm<sup>25</sup>.

La fuente de energía debe poder emitir esta longitud de onda específica, esto hace de la absorción atómica una técnica analítica con pocas interferencias espectrales. La lámpara de cátodo hueco es una excelente fuente de energía discreta para la mayoría de elementos determinables por absorción atómica. El cátodo de la lámpara es un cilindro hueco. El ánodo y el cátodo se encuentran en un cilindro de vidrio cerrado y lleno ya sea de neón o argón. Al extremo del cilindro se ha fundido una ventana transparente a la radiación emitida. Al aplicar un potencial eléctrico entre el ánodo y el cátodo, algunos de los átomos del gas de relleno se ionizan, los iones cargados positivamente se aceleran a través del campo eléctrico y colisionan con el cátodo cargado negativamente, desalojando átomos individuales del mismo proceso. Los átomos de metal desalojados son entonces excitados para la emisión, por los impactos subsecuentes que tienen con más iones del gas de relleno <sup>25</sup>.

Para la medición de la radiación específica se necesitan dos componentes, un monocromador y un detector. El primero puede dispersar las distintas longitudes de onda de radiación que es emitida de la fuente y separa la línea particular que se emplea para medir cierto elemento en presencia de otros. Una vez aislada la longitud de onda por el monocromador el detector, recibe esta radiación. Este segundo componente es un tubo fotomultiplicador, que produce una corriente eléctrica que depende de la intensidad de la radiación incidente. Finalmente, esta corriente será amplificada y procesada por componentes electrónicos <sup>25</sup>.

### **2.7.3.2 Método APA (Agencia de Protección Ambiental) 7471 B, mercurio en residuos sólidos o semisólidos (técnica manual de vapor-frío).**

El método 7471 está aprobado para medir el mercurio total (orgánico e inorgánico) en suelos, sedimentos, depósitos de fondo y materiales de tipo lodo. Todas las muestras deben ser sometidas a un paso de disolución apropiado antes del análisis. Si este procedimiento de disolución no es suficiente para disolver un tipo o muestra de matriz específico, entonces este método no es aplicable para esa matriz.

Antes del análisis, las muestras sólidas o semisólidas deben prepararse de acuerdo con los procedimientos discutidos en este método. Este método es un método de absorción atómica de vapor frío y se basa en la absorción de radiación a una longitud de onda de 253,7 nm por vapor de mercurio. El mercurio se reduce al estado elemental y aireado de la solución en un sistema cerrado. El vapor de mercurio pasa a través de una célula colocada en el trayecto de la luz de un espectrofotómetro de absorción atómica. La absorbancia (altura del pico) se mide en función de la concentración de mercurio <sup>26</sup>.

---

24. Clesceri L., Greenberg A., Eaton A., "Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater", 20th edition, American Public Health Association, American Water Works Association, Water Environment Federation. 1999.

25. DETERMINACIÓN DE MERCURIO POR GENERACIÓN DE VAPOR FRÍO Y DETECCIÓN VIA ABSORCIÓN Y FLUORESCENCIA ATÓMICA. Autor. Grecia Carolina García Niño. Universidad Simón Bolívar, decanato de estudios profesionales, coordinación de química, trabajo de grado para optar al título de Licenciada en Química, Sartenejas, Caracas, Venezuela, 2010.

26. Environmental Protection Agency, "METHOD 7471B MERCURY IN SOLID OR SEMISOLID WASTE" (Manual Cold-Vapor Technique), Sf.

### 3. RESULTADOS

#### 3.1 Resultados individuales.

El diagnóstico fisicoquímico en columna de agua y sedimento del Río La Teta, son los principales intereses de diagnóstico, se relacionan de forma independiente a continuación:

##### 3.1.1 Conductividad.

**Tabla No. 7.** Reporte de resultados para conductividad. METODO SM 2510 B

No	CODIGO DE MUESTRA	REFERENCIA	LUGAR DE MUESTREO	CONDUCTIVIDAD ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )
1	606	RTLA1	LOMA ALTA	159
2	607	RTLA2	LOMA ALTA	169
3	608	RTLTM	ENTABLE LA MONA	417
4	609	RTEC	ENTABLE CHEPE	489
5	610	TCMP	TANQUE CIANURACION PUCHIS	1135
6	669	RTP1	VEREDA PAILAS	77.6
7	670	RTP2	VEREDA PAILAS	91.2
8	671	RTP3	VEREDA PAILAS	95.1
9	693	RTH1	VEREDA HIGUERILLOS	40.2
10	694	RTH2	VEREDA HIGUERILLOS	40
11	695	RTH3	VEREDA HIGUERILLOS	49.7
12	696	RTH4	VEREDA HIGUERILLOS	50.6

##### 3.1.2 Color.

**Tabla No. 8.** Reporte de resultados para color. METODO SM 2120 C.

No	CODIGO DE MUESTRA	REFERENCIA	LUGAR DE MUESTREO	COLOR (UPC)
1	606	RTLA1	LOMA ALTA	160
2	607	RTLA2	LOMA ALTA	123
3	608	RTLTM	ENTABLE LA MONA	90
4	609	RTEC	ENTABLE CHEPE	112
5	610	TCMP	TANQUE CIANURACION PUCHIS	10
6	669	RTP1	VEREDA PAILAS	60
7	670	RTP2	VEREDA PAILAS	119
8	671	RTP3	VEREDA PAILAS	165
9	693	RTH1	VEREDA HIGUERILLOS	10
10	694	RTH2	VEREDA HIGUERILLOS	12
11	695	RTH3	VEREDA HIGUERILLOS	37
12	696	RTH4	VEREDA HIGUERILLOS	27

### 3.1.3 Turbiedad.

**Tabla No. 9.** Reporte de resultados para turbiedad. METODO SM 2130 B

No	CODIGO DE MUESTRA	REFERENCIA	LUGAR DE MUESTREO	TURBIEDAD (UNT)
1	606	RTLA1	LOMA ALTA	130
2	607	RTLA2	LOMA ALTA	126
3	608	RTLM	ENTABLE LA MONA	169
4	609	RTEC	ENTABLE CHEPE	110
5	610	TCMP	TANQUE CIANURACION PUCHIS	3.0
6	669	RTP1	VEREDA PAILAS	66.7
7	670	RTP2	VEREDA PAILAS	99.7
8	671	RTP3	VEREDA PAILAS	108
9	693	RTH1	VEREDA HIGUERILLOS	3.2
10	694	RTH2	VEREDA HIGUERILLOS	3.9
11	695	RTH3	VEREDA HIGUERILLOS	16
12	696	RTH4	VEREDA HIGUERILLOS	17.1

### 3.1.4 Solidos Suspendidos Totales (SST).

**Tabla No. 10.** Reporte de resultados para SST. METODO SM 2540D

No	CODIGO DE MUESTRA	REFERENCIA	LUGAR DE MUESTREO	SST (mg/L)
1	606	RTLA1	LOMA ALTA	230
2	607	RTLA2	LOMA ALTA	180
3	608	RTLM	ENTABLE LA MONA	78
4	609	RTEC	ENTABLE CHEPE	95
5	610	TCMP	TANQUE CIANURACION PUCHIS	<5
6	669	RTP1	VEREDA PAILAS	86.2
7	670	RTP2	VEREDA PAILAS	143
8	671	RTP3	VEREDA PAILAS	228
9	693	RTH1	VEREDA HIGUERILLOS	<5
10	694	RTH2	VEREDA HIGUERILLOS	6
11	695	RTH3	VEREDA HIGUERILLOS	42.3
12	696	RTH4	VEREDA HIGUERILLOS	34

### 3.1.5 pH.

**Tabla No. 11.** Reporte de resultados para pH. METODO SM 4500 – HB

No	CODIGO DE MUESTRA	REFERENCIA	LUGAR DE MUESTREO	UND. pH
1	606	RTLA1	LOMA ALTA	8.07
2	607	RTLA2	LOMA ALTA	8.06
3	608	RTLTM	ENTABLE LA MONA	6.98
4	609	RTEC	ENTABLE CHEPE	7.37
5	610	TCMP	TANQUE CIANURACION PUCHIS	8.1
6	669	RTP1	VEREDA PAILAS	6.94
7	670	RTP2	VEREDA PAILAS	7.35
8	671	RTP3	VEREDA PAILAS	7.56
9	693	RTH1	VEREDA HIGUERILLOS	7.62
10	694	RTH2	VEREDA HIGUERILLOS	7.58
11	695	RTH3	VEREDA HIGUERILLOS	7.62
12	696	RTH4	VEREDA HIGUERILLOS	7.59

### 3.1.6 Nitratos.

**Tabla No. 12.** Reporte de resultados para nitratos. METODO SM 4500-NO<sub>3</sub>- B

No	CODIGO DE MUESTRA	REFERENCIA	LUGAR DE MUESTREO	NITRATOS (mg NO <sub>3</sub> -N/L)
1	606	RTLA1	LOMA ALTA	2.67
2	607	RTLA2	LOMA ALTA	2.0
3	608	RTLTM	ENTABLE LA MONA	1.93
4	609	RTEC	ENTABLE CHEPE	2.78
5	610	TCMP	TANQUE CIANURACION PUCHIS	-----
6	669	RTP1	VEREDA PAILAS	1.84
7	670	RTP2	VEREDA PAILAS	3.29
8	671	RTP3	VEREDA PAILAS	2.53
9	693	RTH1	VEREDA HIGUERILLOS	0.58
10	694	RTH2	VEREDA HIGUERILLOS	0.58
11	695	RTH3	VEREDA HIGUERILLOS	0.65
12	696	RTH4	VEREDA HIGUERILLOS	0.64

### 3.1.7 Nitritos.

**Tabla No. 13.** Reporte de resultados para nitritos. METODO SM 4500-NO2- B

No	CODIGO DE MUESTRA	REFERENCIA	LUGAR DE MUESTREO	NITRITOS (mg NO <sub>2</sub> -N/L)
1	606	RTLA1	LOMA ALTA	0.08
2	607	RTLA2	LOMA ALTA	0.06
3	608	RTLTM	ENTABLE LA MONA	0.05
4	609	RTEC	ENTABLE CHEPE	0.07
5	610	TCMP	TANQUE CIANURACION PUCHIS	-----
6	669	RTP1	VEREDA PAILAS	0.05
7	670	RTP2	VEREDA PAILAS	0.07
8	671	RTP3	VEREDA PAILAS	0.08
9	693	RTH1	VEREDA HIGUERILLOS	<0.02
10	694	RTH2	VEREDA HIGUERILLOS	<0.02
11	695	RTH3	VEREDA HIGUERILLOS	<0.02
12	696	RTH4	VEREDA HIGUERILLOS	0.04

### 3.1.8 Demanda Química De Oxígeno (DQO).

**Tabla No. 14.** Reporte de resultados para DQO. METODO SM 5220D - MODIFICADO

No	CODIGO DE MUESTRA	REFERENCIA	LUGAR DE MUESTREO	DQO (mg/L)
1	606	RTLA1	LOMA ALTA	<15
2	607	RTLA2	LOMA ALTA	<15
3	608	RTLTM	ENTABLE LA MONA	<15
4	609	RTEC	ENTABLE CHEPE	15.8
5	610	TCMP	TANQUE CIANURACION PUCHIS	233
6	669	RTP1	VEREDA PAILAS	100
7	670	RTP2	VEREDA PAILAS	53
8	671	RTP3	VEREDA PAILAS	47.8
9	693	RTH1	VEREDA HIGUERILLOS	<15
10	694	RTH2	VEREDA HIGUERILLOS	<15
11	695	RTH3	VEREDA HIGUERILLOS	<15
12	696	RTH4	VEREDA HIGUERILLOS	<15

### 3.1.9 Mercurio (Agua).

**Tabla No. 15.** Reporte de resultados para mercurio en agua. METODO SM 3112 B

No	CODIGO DE MUESTRA	REFERENCIA	LUGAR DE MUESTREO	MERCURIO (µg/L)
1	606	RTLA1	LOMA ALTA	7.98
2	607	RTLA2	LOMA ALTA	8.99
3	608	RTLTM	ENTABLE LA MONA	13.6
4	609	RTEC	ENTABLE CHEPE	7.77
5	610	TCMP	TANQUE CIANURACION PUCHIS	5.09
6	669	RTP1	VEREDA PAILAS	0.59
7	670	RTP2	VEREDA PAILAS	3.19
8	671	RTP3	VEREDA PAILAS	4.54
9	693	RTH1	VEREDA HIGUERILLOS	2.62
10	694	RTH2	VEREDA HIGUERILLOS	1.11
11	695	RTH3	VEREDA HIGUERILLOS	1.19
12	696	RTH4	VEREDA HIGUERILLOS	0.7

### 3.1.10 Mercurio (Sedimento).

**Tabla No. 16.** Reporte de resultados para mercurio en sedimento. METODO SM 3112 B; 7471 EPA.

No	CODIGO DE MUESTRA	REFERENCIA	LUGAR DE MUESTREO	MERCURIO (µg/kg)
1	611	S-RTLA1	LOMA ALTA	5210
2	612	S-RTLA2	LOMA ALTA	6923
3	613	S-RTLTM	ENTABLE LA MONA	8557
4	614	S-RTEC	ENTABLE CHEPE	44698
5	615	S-PEQUEÑA MINA	PEQUEÑA MINA S. PUCHIS	6064
6	672	S-RTP1	VEREDA PAILAS	28211
7	673	S-RTP2	VEREDA PAILAS	21486
8	674	S-RTP3	VEREDA PAILAS	13751
9	675	S-QUEBRADA POTOSI	VEREDA PAILAS, DESCARGA EN MINA POTOSI	12153
10	697	S-RTH1	VEREDA HIGUERILLOS	5981
11	698	S-RTH2	VEREDA HIGUERILLOS	12146
12	699	S-RTH3	VEREDA HIGUERILLOS	91965
	700	S-RTH4	VEREDA HIGUERILLOS	36921

Los resultados que se relacionan en este informe hacen referencia únicamente a las muestras analizadas, no pueden ser reproducidos parcial o totalmente sin autorización.

FUENTE: CORPORACION AUTONOMA REGIONAL DEL CAUCA. LABORATORIO AMBIENTAL. Reporte de resultados – muestra de agua – muestra de sedimento. Código: FT-PDPA-LA027. Vivero CRC, Vereda González. Popayán.

**Tabla No. 17.** Aforos de los monitoreos en el Rio La Teta.

<b>AFOROS DE CAMPO</b>				
<b>BUENOS AIRES - CAUCA (SECTORES MINEROS)</b>				
<b>Sitio</b>	<b>USR</b>		<b>Altitud (msnm)</b>	<b>Qm (L/s)</b>
	<b>ESTE</b>	<b>NORTE</b>		
Higuerillos (Aforo volumetrico)	1046619	819545	1255 msnm	<b>3,29</b>
Higuerillos (Aforo con molinete, ancho 3.25 m)	1046619	819545	1255 msnm	<b>341,25</b>
Aforo volumetrico, Vereda Pailas "Mina Potosi"	1046806	821070	1256 msnm	<b>3,54</b>
Aforo volumetrico, Vereda Pailas, Quebrada Potosi	1046739	821215	1186 msnm	<b>2,49</b>
Aforo Rio Teta, Vereda Pailas con molinete (2.4 m ancho)	1046706	821203	1186 msnm	<b>393,75</b>
Aforo Entable Chepe, bocatoma de Loma Alta.	1047672	821621	1185 msnm	<b>0,147</b>
Aforo descarga Entable "Chepe"	1047710	821718	1242 msnm	<b>1,32</b>
Aforo de la descarga Entable La Mona, Loma Alta	1047456	821696	1777 msnm	<b>0,93</b>
Aforo con Molinete Rio Teta, Loma Alta (Ancho 2.5 m)	10448134	821735	1157 msnm	<b>267,5</b>

#### 4. DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

La actividad minera del Municipio de Buenos Aires, Departamento del Cauca, ha conllevado al detrimento de patrimonio ecosistémico de la región, trayendo consigo importantes problemas especialmente para el recurso hídrico y la dinámica de él con el medio y la población.

La principal razón es que *“aproximadamente el 80% de la población se dedica a la actividad agropecuaria, alternándola con la actividad minera. El tipo de minería que se explota es el oro filón y aluvión, además del carbón vegetal. La comercialización se hace principalmente en Suarez, Buenos Aires y Munchique”*.<sup>21</sup>

Este diagnóstico inicial, tal y como lo describen los objetivos del presente informe técnico de investigación, se convierte en un antecedente para establecer el estado actual del Rio La Teta, el cual inicia su cauce en cercanías del Cerro Catalina, cuya extensión alcanza los 146, 257 km<sup>2</sup>, con una elevación promedio de 1280,28 msnm; atravesando la Cabecera Municipal de Buenos Aires, el cual desde su nacimiento hasta su desembocadura en el Rio Cauca alcanza una longitud de 32,56 km <sup>21</sup>.

Lo anterior lo constituye en un ecosistema estratégico para la zona norte del Departamento del Cauca, donde la afectación encontrada por actividades antropogénicas relacionadas con minería, son consideradas de suma importancia por la movilidad natural y conexión con las cuencas del Rio Cauca.

En el desarrollo de la investigación, se tuvieron en cuenta los componentes macro del Rio Teta: AGUA Y SEDIMENTO, para lo cual previamente se estableció la metodología compuesta para la determinación de los niveles de concentración de mercurio en cada uno, junto a los parámetros fisicoquímicos básicos que determinan la calidad de agua contaminada por actividad minera, a grande, mediana y pequeña escala.

En el año 2007, para el mes de Enero; la Corporación Autónoma Regional del Cauca, entrego un diagnóstico completo sobre la *“CONTAMINACION POR MERCURIO Y OTROS DISTRITOS MINEROS DE BUENOS AIRES CAUCA”*<sup>22</sup> convirtiéndose en el único antecedente científico sobre esta actividad en el Norte del Departamento del Cauca.

---

21. DIAGNOSTICO TERRITORIAL DEL MUNICIPIO DE BUENOS AIRES – 2015. Dimensión ambiental. pág. 46 - 199

Se contemplaron los análisis bajo la normativa vigente de la época, el DECRETO 1594 del año 1984, el cual en la actualidad se encuentra complementado con el DECRETO 3930 del 25 de Octubre del año 2010 y con la nueva norma en materia de niveles máximos permisibles de vertimientos, La RESOLUCION 631 del 17 de Marzo de 2015, así como todos los lineamientos en el área ambiental establecidos por el Decreto Único Reglamentario para el Medio Ambiente No 1076 del año 2015, se hace imprescindible generar actualización del diagnóstico minero ambiental, en relación a la afectación del ecosistema estratégico del Rio La Teta.

Resumiendo, los resultados obtenidos del estudio “CONTAMINACION POR MERCURIO Y OTROS DISTRITOS MINEROS DE BUENOS AIRES CAUCA”, se encontró que:

**Tabla No. 18.** Cuadro resumen de cumplimiento de parámetros fisicoquímicos producto del monitoreo en el Rio La Teta.

<b>PARAMETRO</b>	<b>OBSERVACION</b>
Temperatura	Cumple. Oscila entre 20.6°C y 23.05°C
SST	No cumple. Ligado al grado de molienda y de sedimentación en plantas de beneficio.
Mercurio	30-80 veces superior a la norma del momento.
Cianuro	No hay neutralización, niveles oscilan entre 0.8 – 1 kg de Cianuro por m <sup>3</sup> de solución. De 500 a 800 veces por encima del límite permisible. No cumple.
pH	Cumple. Oscila entre 5 – 9 UND pH.

Dando muestra argumentada en análisis fisicoquímico y cualitativo, la marcada afectación a los recursos naturales del medio.

La caracterización fisicoquímica del agua de la Subzona hídrica del Rio La Teta, inicia con la determinación del estado fisicoquímico, partiendo de los monitoreos realizados en campo.

## 4.1 MERCURIO

Debido al carácter persistente del mercurio, es considerado uno de los metales más tóxicos de la naturaleza; con la capacidad de distribuirse en suelo, aguas naturales, alimentos, etc. sumado a la contaminación por origen antropogénico, en los sistemas ambientales acuáticos, lo ha convertido en un problema creciente debido a su toxicidad, bioacumulación, biomagnificación, generando innumerable eventos dañinos en cuerpos del medio natural, entre ellos el ser humano <sup>27</sup>.

Todas las muestras colectadas de este trabajo investigativo, presenta trazas de mercurio, en altas o bajas concentraciones, lo cual reafirma el carácter persistente de este metal.

De manera general, en los resultados obtenidos se encuentra presencia de Mercurio entre 0,59 µg/L y 8,99 µg/L para la columna de agua y entre 5210 µg/kg y 44698 µg/kg a lo largo del monitoreo realizado en el Rio La Teta.

Y es que más allá del incumplimiento de la norma colombiana y/o internacional en torno al mercurio, se debe entender que pasa previamente en los sistemas naturales, contaminados por este metal.

Según el “Estudio de la cadena del Mercurio en Colombia, con énfasis en la actividad minera del Oro – Tomo 2” del año 2014, menciona claramente el riesgo que genera el carácter fisicoquímico de éste; donde el riesgo asociado con la contaminación mercurial está determinado por el tipo de exposición, la especie de mercurio presente y los factores geoquímicos y ecológicos que influyen en su tránsito por el medio ambiente; cabe aclarar que este estudio desconoce el porcentaje de mercurio liberado al ambiente durante el beneficio del Oro que se constituye efectivamente como contaminante.

Se considera por tanto en este estudio, que la fuente principal de polución en la industria minera corresponde a las emanaciones del Mercurio gaseoso, mayormente como mercurio metálico ( $Hg^0$ ); durante la quema de amalgamas y que se precipita con la lluvia sobre los suelos circundantes como mercurio divalente ( $Hg^{2+}$ ), donde en la superficie del suelo se da el paso de  $Hg^{2+}$  a  $Hg^0$ ; adicionalmente se conoce que el mercurio sufrirá procesos de fotoreducción que también aportaran mercurio gaseoso, convirtiendo lo anterior en un constante ciclo.

---

27. MERCURY IN RIVER, ESTUARINE AND SEAWATERS. Daniela S. Tavares. Contents lists available at ScienceDirect. [www.elsevier.com/locate/watres](http://www.elsevier.com/locate/watres). [Online]. 2016.

De otra parte, se tiene que la **RESOLUCIÓN 631 DEL AÑO 2015**, en la Sección: **ACTIVIDADES DE MINERÍA** y en su **ARTÍCULO 10** da los parámetros permisibles máximos para vertimientos provenientes de las actividades mineras, que para el caso de “EXTRACCION DE ORO Y OTROS METALES PRECIOSOS”, se da un valor máximo de Mercurio de **0,002 mg/L** (2 µg/L), como límite de concentración de vertimiento puntual a cuerpos de aguas superficiales por efecto de la minería, sin especificar qué tipo de minería.

Con el siguiente cuadro comparativo, se da verificación al cumplimiento respecto a la norma colombiana de vertimientos:

**Tabla No. 19.** Comparación de resultados de monitoreo de agua del Rio La Teta vs Resolución 631 del 2015, en materia de vertimientos.

REFERENCIA	CONCENTRACION MERCURIO mg/L	LIMITE MAXIMO PERMISIBLE R. 631 DE 2015 (mg/L)	CUMPLE SI/NO
<b>RTLA1</b>	0.00798	0.002	NO
<b>RTLA2</b>	0.00899	0.002	NO
<b>RTLM</b>	0.0136	0.002	SI
<b>RTEC</b>	0.00777	0.002	NO
<b>TCMP</b>	0.00509	0.002	NO
<b>RTP1</b>	0.00059	0.002	SI
<b>RTP2</b>	0.00319	0.002	NO
<b>RTP3</b>	0.00454	0.002	NO
<b>RTH1</b>	0.00262	0.002	NO
<b>RTH2</b>	0.00111	0.002	SI
<b>RTH3</b>	0.00119	0.002	SI
<b>RTH4</b>	0.0007	0.002	SI

Para sedimentos, no existe norma que regule de forma clara los niveles máximos permisibles de concentración de mercurio. Los antecedentes de control ambiental europeos en referencia a este componente del recurso hídrico, suponen una buena referencia teórica de comparación. Es así como el **REAL DECRETO 817 DEL AÑO 2015 del Parlamento Europeo y del Consejo**, sobre las normas de calidad ambiental en el ámbito de la política de aguas, del Ministerio de Agricultura, alimentación y medio ambiente europeo, establece las normas de calidad, seguimiento y evaluación de las aguas superficiales, en términos de calidad ambiental.

A continuación, se relacionan la tabla de NORMA DE CALIDAD AMBIENTAL (NCA), para los diferentes niveles máximos admisibles de contaminantes en agua, biota y sedimento:

Unidades: µg/L para las NCA-MA y NCA-CMA en aguas y µg/kg de peso húmedo para NCA en biota y sedimento.

**Tabla No. 20.** NCA Europea para el Mercurio y sus compuestos.

No	No CAS (1)	Nombre de la sustancia (2)	Clase de sustancia (3)	NCA-MA (4). Aguas superficiales continentales (5).	NCA-MA (4). Otras aguas superficiales.	NCA-MA (6). Aguas superficiales continentales (5).	NCA-MA (6). Otras aguas superficiales.	NCA Biota, Sedimento (7)
21	7439-97-6	Mercurio y sus compuestos.	Peligrosa prioritaria.	-	-	0.07	0.07	<b>20</b>

(1) CAS: Chemical Abstracts Service

(2) Cuando se hayan seleccionado grupos de sustancias, a menos que estén explícitamente señalados, determinados representantes típicos se definen en el contexto de la fijación de NCA.

(3) Se distinguen tres clases de sustancias: prioritarias, peligrosas prioritaria y otros contaminantes. Las sustancias prioritarias son las que presentan un riesgo significativo para el medio acuático comunitario, o a través de él, incluidos los riesgos de esta índole para las aguas utilizadas para la captación de agua potable, y reguladas a través del artículo 16 de la Directiva 2000/60/CE, del Parlamento Europeo y del Consejo, de 23 de octubre. Entre estas sustancias se encuentran las sustancias peligrosas prioritarias (artículo 16.3 de la Directiva 2000/60/CE). Otros contaminantes: no son sustancias prioritarias sino contaminantes para los cuales las NCA son idénticas a las establecidas en la legislación sobre sustancias peligrosas aplicable antes de la aprobación de la Directiva 2008/105/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 16 de diciembre de 2008, relativa a las normas de calidad ambiental en el ámbito de la política de aguas.

(4) Este parámetro es la NCA expresada como valor medio anual (NCA-MA). Salvo que se especifique otra cosa, se aplica a la concentración total de todos los isómeros.

(5) Las aguas superficiales continentales incluyen los ríos y lagos y las masas de agua artificiales o muy modificadas conexas.

(6) Este parámetro es la NCA expresada como concentración máxima admisible (NCA-CMA). Cuando en la columna NCA-CMA se indica "No aplicable", se considera que los valores NCA-MA protegen contra los picos de contaminación a corto plazo en el caso de los vertidos continuos, ya que son significativamente inferiores a los valores calculados sobre la base de la toxicidad aguda.

(7) Salvo que se indique de otro modo, las NCA de la biota se refieren a los peces. Sustitutivamente podrá hacerse el seguimiento de otro taxón de la biota u otra matriz, siempre que las NCA aplicadas ofrezcan un nivel equivalente de protección. Para las sustancias con los números 15 (fluoranteno) y 28 (HAP), la NCA de la biota se refiere a crustáceos y moluscos.

**Tabla No. 21.** Comparación de resultados de monitoreo de sedimento del Rio La Teta vs NCA Europea del año 2015.

REFERENCIA	CONCENTRACION MERCURIO $\mu\text{g}/\text{kg}$	LIMITE MAXIMO PERMISIBLE R. NCA EUROPEA ( $\mu\text{g}/\text{kg}$ )	CUMPLE SI/NO
S-RTLA1	5210	20	NO
S-RTLA2	6923	20	NO
S-RTLTM	8557	20	NO
S-RTEC	44698	20	NO
S-PEQUEÑA MINA	6064	20	NO
S-RTP1	28211	20	NO
S-RTP2	21486	20	NO
S-RTP3	13751	20	NO
S-QUEBRADA POTOSI	12153	20	NO
S-RTH1	5981	20	NO
S-RTH2	12146	20	NO
S-RTH3	91965	20	NO
S-RTH4	36921	20	NO

De los resultados anteriores, presentados en la Tabla No. 21 para monitoreo del agua, se presenta marcado incumplimiento en materia de mitigación de vertimiento con mercurio a las aguas superficiales del Rio La Teta, junto a un esperado fenómeno, que desde la perspectiva cualitativa se infiere que los puntos de referencia que presentan incumplimiento con la Resolución 631 de 2015, son justamente los monitoreos realizados en la descarga, expresamente los siguientes: (RTLA1, RTLA2, RTEC, TCMP, RTP2, RTP3, RTH1); cada uno de los cuales, tienen tuberías de descargas directas, organolépticamente aguas con color y olor aparente y actividad minera continua.

Por otro lado, para los demás puntos, referentes a zonas antes de la descarga y después de la descarga para los casos de: (RTEC, RTP1, RTH2, RTH3, RTH4), se muestra cumplimiento con los resultados del análisis fisicoquímico en relación al mercurio.

Lo anterior, es una clara evidencia de la capacidad de auto restauración del Rio La Teta, y esto se debe principalmente al restablecimiento del régimen hidrológico el cual siempre es cercano al régimen natural, especialmente en lo que concierne la magnitud, frecuencia, duración, y tasa de cambio del efluente, siendo lo anterior el primer paso en la consecución de actuaciones naturales que le devuelven al rio su estructura ecosistémica <sup>28</sup>.

Otra relación encontrada para este caso, según la publicación realizada por la UNIVERIDADE DA CORUÑA, en su tratado de “Calidad de Aguas en Ríos – Autodepuración <sup>29</sup>”, en la cual relaciona que la evolución de cada contaminante a partir del punto de vertido, variara en función de sus propias características y de su capacidad de asimilación al medio. Si bien el mercurio es un metal toxico que por su característica persistente no presenta asimilación, al considerarse una “SUSTANCIA CONSERVATIVA”, indica que aquellos componentes cuya concentración no varía como consecuencia de procesos químicos o bioquímicos, y únicamente lo hacen como consecuencia del transporte, la dilución o la aportación a través de nuevos vertidos como es el caso del Rio La Teta, se suele admitir entonces que las entradas de caudal y contaminación están relacionadas solo a través de afluentes y vertidos, y es aquí donde las quebradas utilizadas como transporte de vertimientos hacia el Rio La Teta y los vertidos puntuales, generan movilidad, pero la capacidad de dilución que tiene el rio, hace que los niveles desciendan transcurrida cierta distancia, es por esto que se presenta éste fenómeno, dando razón a lo ocurrido con la movilidad y las trazas de mercurio presente en el agua.

En referencia a la movilidad que presenta el mercurio en la columna de agua, se toma como precedente la tesis llamada “SIPNOSIS NACIONAL DE LA MINERIA AURIFERA ARTESANAL Y DE PEQUEÑA ESCALA”, propuesta por el programa de naciones unidas para el medio ambiente publicada en el año 2012, donde se relacionan las liberaciones liquidas producto de la minería en aguas superficiales que provienen de procesos de amalgamación de minerales primarios y de aluvión, de sistemas abiertos o semicerrados, el mercurio y parte de las amalgamas son arrastradas por la fuerza del agua; el mercurio va también en los lodos formados, dado el carácter iónico del mercurio ( $Hg^+$ ), presenta alta atracción con los lodos (arcillas en forma aniónica) por su carga eléctrica opuesta, favoreciendo que las finísimas gotas de mercurio a pesar de su alto peso, se desplacen sobre la superficie del flujo del agua utilizado en el proceso; una parte de este mercurio es atrapado en los desarenadores y pozos de sedimentación pero otra, se escapa a las corrientes de agua natural <sup>8</sup>.

---

28. RESTAURACION DE RIOS. Guía metodológica para la elaboración de proyectos. Marta González del Tánago, Diego García de Jalón. Universidad Politécnica de Madrid. pág. 4 - 10

29. CALIDAD DE AGUA EN RIOS, AUTODEPURACION. MASTER EN INGENIERIA DEL AGUA. UNIVERSIDADE DA CORUÑA- [Online]. Consultado: 18 de septiembre de 2016.

8. SIPNOSIS NACIONAL DE LA MINERIA AURIFERA ARTESANAL Y DE PEQUEÑA ESCALA. PROGRAMA DE LAS NACIONES UNIDAS PARA EL MEDIO AMBIENTE Y EL MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE. BOGOTA, DICIEMBRE DE 2012. [Online]. [http://www.minambiente.gov.co/images/AsuntosambientalesySectorialyUrbana/pdf/mercurio/Sinopsis\\_Nacional\\_de\\_la\\_ASGM.pdf](http://www.minambiente.gov.co/images/AsuntosambientalesySectorialyUrbana/pdf/mercurio/Sinopsis_Nacional_de_la_ASGM.pdf). pág. 22; 49.

En relación a los resultados de monitoreos para análisis de mercurio presente en los sedimentos del lecho del Rio La Teta y en comparación con la NCA (Norma de Calidad Ambiental) Europea, se evidencia INCUMPLIMIENTO en materia de mitigación de vertimientos al cauce del Rio La Teta, superando los límites en proporciones de hasta dos mil (2000) veces más que el límite permitido.

La principal fuente de disposición de estos lodos y arenas son las molindas de los plantas de beneficio y entables, los cuales previamente han sido sometidos a procesos de amalgamación para extracción el oro tipo filón, normalmente, estos lodos son vertidos o almacenados en depósitos rudimentarios, sin tratamientos adecuados que dan origen además de la disposición de este metal en el lecho del Rio, a la persistencia, movilidad y polución con vapor de mercurio, que bajo determinadas condiciones ambientales, permite la producción del metilmercurio, principal toxico para la vida acuática y terrestre <sup>30</sup>.

Se le suma al problema de disposición final del mercurio en el lecho de los ríos, la implicación de carácter fisicoquímico que produce después de estar ahí y tal como se mencionó anteriormente la especie más toxica es el metilmercurio (CH<sub>3</sub>Hg), en cuyo origen intervienen bacterias sulfato reductoras en ambientes sedimentarios que permiten su ingreso a la cadena alimenticia. Y es así que, debido a la velocidad de ingesta de los animales, superando los niveles de excreción, se produce el efecto denominado "BIOMAGNIFICACION", que podrá levantar concentraciones muy bajas de mercurio hasta llevarlas a niveles amenazantes para la salud. Partiendo de esto se considera que la contaminación por mercurio en el ser humano se produce por dos vías: La ingesta de alimentos contaminados con metilmercurio y la inhalación del vapor de mercurio (Hg<sup>0</sup>)<sup>31</sup>.

Como se había mencionado anteriormente el mayor o menor efecto toxico del mercurio depende de su forma química y de la vía de exposición: el metilmercurio y el dimetil mercurio, se consideran las formas orgánicas más toxicas que afectan al sistema inmunológico, alteran los sistemas genéticos y enzimáticos y dañan al sistema nervioso, incluyendo la coordinación y el sentido del tacto, el gusto y vista, así mismo a nivel cerebral, ADN y cromosomas, dejando como primera evidencia defectos congénitos de nacimientos y abortos no deseados, entre otros <sup>30</sup>.

---

30. ESTUDIO DE LA CADENA DEL MERCURIO EN COLOMBIA CON ENFASIS EN LA ACTIVIDAD MINERA DEL ORO, TOMO 2. Ministerio de minas y energía, Unidad de planeación minero energético y Universidad de Córdoba. Noviembre de 2014. pág. 5 -17

31. WWW.RAPALURUGUAY.ORG. MERCURIO, CIANURO, MINERÍA Y CONTAMINACIÓN. Montevideo Paraguay. [Online]. [http://www.rapaluruquay.org/agrotoxicos/COPs/Prensa/Mercurio\\_cianuro\\_mineria\\_contaminacion.pdf](http://www.rapaluruquay.org/agrotoxicos/COPs/Prensa/Mercurio_cianuro_mineria_contaminacion.pdf). Consultado 28 de Agosto de 2016.

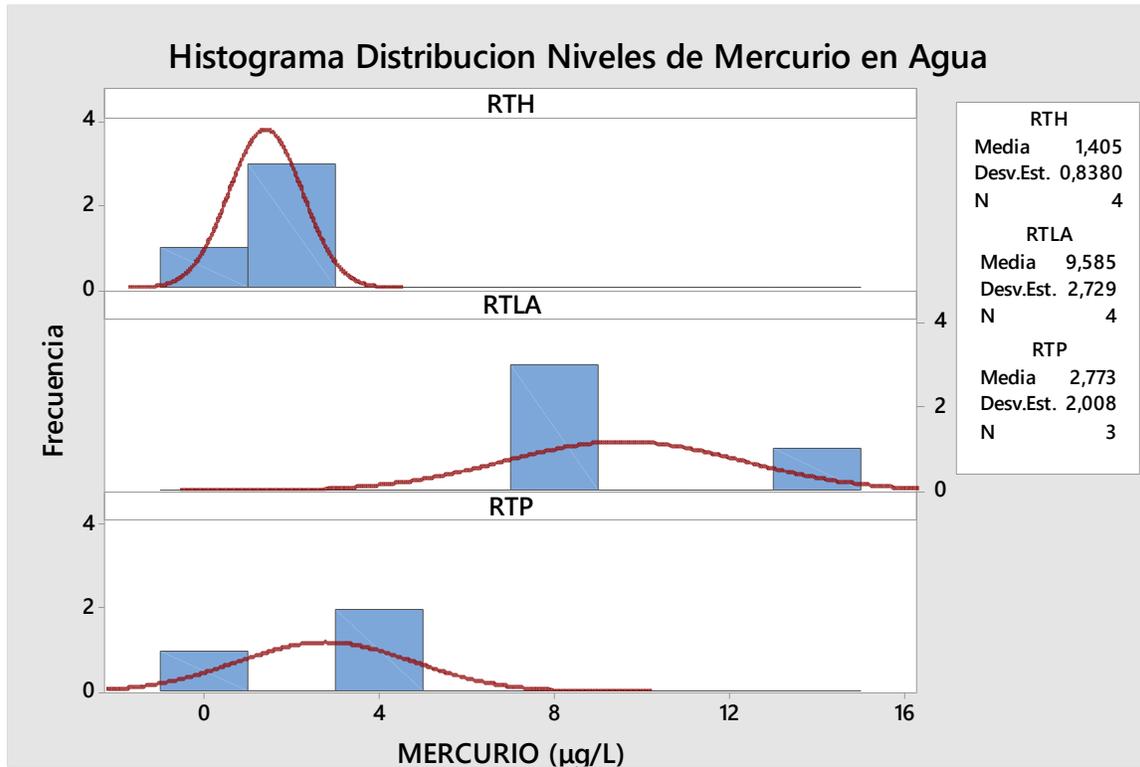
#### 4.1.1 Estadística descriptiva de Mercurio en Agua y Sedimento.

**Tabla No. 22.** Estadística descriptiva de Mercurio en Agua y Sedimento.

<b>MERCURIO EN AGUA</b>														
LUGAR	Conteo	N	N*	Media	Desv.Est	Varianza	CoefVar	Suma	Mínimo	máximo	Mediana	Modo N	moda	Asimetría
RTH	4	4	0	1,405	0,838	0,702	59,64	5,620	0,700	2,620	1,150	*	0	1,59
RTL	4	4	0	9,59	2,73	7,45	28,47	38,34	7,77	13,60	8,48	*	0	1,78
RTP	3	3	0	2,77	2,01	4,03	72,39	8,32	0,59	4,54	3,19	*	0	-0,89
<b>MERCURIO EN SEDIMENTO</b>														
LUGAR	Conteo	N	N*	Media	Desv.Est	Varianza	CoefVar	Suma	Mínimo	máximo	Mediana	Modo N	moda	Asimetría
RTH	4	4	0	36753	39161	1533604534	106,55	147013	5981	91965	24534	*	0	1,38
RTL	5	5	0	14290	17043	290474979	119,26	71452	5210	44698	6923	*	0	2,21
RTP	4	4	0	18900	7426	55138776	39,29	75601	12153	28211	17619	*	0	0,62

\*ANÁLISIS BIOESTADÍSTICO DEL SOFTWARE LIBRE Minitab® 17.2.1 © 2013, 2015 Minitab, Inc. All rights reserved. Minitab®, Quality. Analysis. Results. ®, and the Minitab® logo are all registered trademarks of Minitab, Inc., in the United States and other countries. See [minitab.com/legal/trademarks](http://minitab.com/legal/trademarks) for more information. La mayoría de los análisis estadísticos requieren que se complete una serie de pasos, con frecuencia orientados por un conocimiento previo o por el área de estudio que se investiga. Software especializado en: • Explorar datos con gráficas • Realizar análisis estadísticos • Evaluar la calidad • Diseñar un experimento.

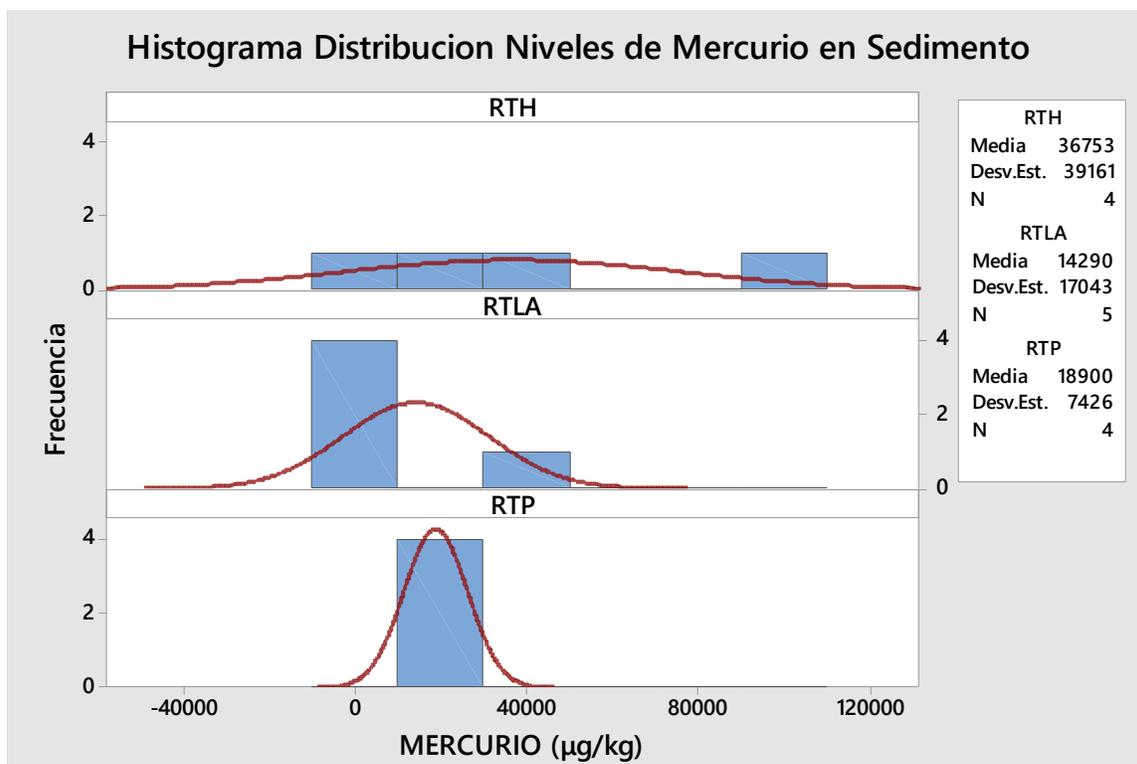
Gráfica No. 1. Histograma con curva normal para la concentración de mercurio de la caracterización hecha en agua.



De acuerdo a la estadística descriptiva de la concentración de mercurio en agua y sedimento, a lo largo de cada región, encontramos que el número de datos no permite identificar con claridad la forma de la distribución, por la falta de repetitividad y reproducibilidad (*facultad para repetir de manera uniforme la misma medición, utilizando el mismo sistema de medición, bajo las mismas condiciones*). Con el propósito obtener una muestra representativa mayor y que ilustre mejor el comportamiento del mercurio en cada región.

La desviación estándar y la varianza para los datos relacionados con concentración de mercurio en agua, se encuentran dispersos y son significativamente diferentes con respecto a la media y se evidencia que cuanto mayor sea la media, mayor será la dispersión de los datos. Por su parte el histograma de mercurio en agua, presenta anomalía en la distribución de las concentraciones (*Dispersión*), indicando que la intensidad, frecuencia y desarrollo del beneficio aurífero en cada zona, son muy diferentes entre sí. Además, presenta formas asimétricas en las zonas Loma Alta (RTLA) y Pailas (RTP).

Gráfica No. 2. Histograma con curva normal para la concentración de mercurio de la caracterización hecha en sedimento.



A diferencia del comportamiento de mercurio en el agua, la presencia de mercurio en sedimento presenta una distribución más cercana a la simétrica, debido a la marcada persistencia gravimétrica que presenta el mercurio en el lecho del Rio La Teta. La mayoría de entables artesanales, usan el proceso físico denominado “molienda”, en el que se emplean cilindros giratorios, con el fin de reducir mediante granulometría el tamaño del material proveniente del socavón, logrando partículas más pequeñas del mismo. Por tradición, la mayoría de mineros emplean determinado volumen de mercurio, con el fin de obtener oro libre de forma rápida y efectiva, conocimiento empírico cuestionado y que actualmente se sabe que no es del todo cierto.

Sin duda alguna, y tomando como referencia el manual de minería limpia de la Unidad de Planeación Minero Energética, no es necesario sobremoler el material relacionado al oro<sup>13</sup>, debido a que se generan partículas ultrafinas, que además de permitir la suspensión o sedimentación de los materiales, favorece en *menor medida* la movilidad de los mismos, entre ellos el mercurio.

#### 4.1.2 Cálculo de índice del riesgo de la calidad del agua – metodología IRCA.

**Tabla No. 23.** Matriz de comparación de valores medidos versus valores Resolución 2115 de 2007.

PARÁMETRO	RESOLUCIÓN 2115/2007	PUNTAJE DE RIESGO IRCA	MEDIDO	VALORACIÓN
COLOR (UPC)	15	6	77	15
TURBIEDAD (UNT)	2	15	71,05	15
pH	6,5 – 9,0	1,5	7,6	0
NITRATOS (mg NO <sub>3</sub> -/L)	10	1	1,7	0
NITRITOS (mg NO <sub>2</sub> -/L)	0,1	3	0,06	0
<b>SUMATORIA</b>		<b>26,5</b>		<b>30</b>

El Índice del Riesgo de la Calidad del Agua, está dado por la siguiente expresión:

$$\% \text{ IRCA} = \frac{\sum \text{Puntajes de riesgo asignado a las características no aceptables.}}{\sum \text{Puntajes de riesgo asignados a todas las características analizadas.}} \times 100$$

$$\% \text{ IRCA} = \frac{30}{26,5} \times 100$$

$$\% \text{ IRCA} = 113,2 \%$$

De acuerdo a la ponderación establecida por la Resolución 2115 del 2007, el porcentaje de riesgo obtenido para este índice es (113,2 %) indicando que es: **INVIALE SANITARIAMENTE.** \*

En éste caso se establece técnicamente que el agua proveniente del Rio La Teta, tomada después del sector de Higuerrillos y aguas abajo, no es apta para el consumo humano, el porcentaje calculado da advertencia del riesgo que implica

sanitariamente para la población del Municipio de Buenos Aires, donde la administración municipal y/o entidades de la competencia deberá hacer gestión, con el fin de dar control y vigilancia a la problemática del agua, todo esto da complemento a la caracterización y diagnóstico del Rio La Teta, que además de ser empleado para actividades económicas para minería, también es un recurso de sustento diario para el abastecimiento general de la comunidad.

## 4.2 pH

El monitoreo realizado en el cauce a lo largo de los 10 km de análisis, presentan en relación a la normatividad Colombiana, RESOLUCION 631 DE 2015, cumplimiento en cuanto a los valores de esta propiedad fisicoquímica. En resumen, el pH se encuentra en un rango de 6.94 a 8.07 unidades de pH, mientras que la norma lo exige entre el rango de 6 a 9 unidades de pH. En cuanto a estos resultados, se conoce que el pH es uno de los principales actores que controla la movilidad de los metales, la mayoría son más móviles en condiciones acidas.

En general los pH del Rio La Teta, tienen tendencia de ser más neutros a medianamente básicos, por lo que indican baja movilidad del mercurio por causa de esta característica. En este sentido se tiene que para los presentes resultados, cercanos o iguales al valor neutro, la movilidad de mercurio no es favorable, ni tampoco tiene implicación en transformaciones mineralógicas donde el principal procesos fisicoquímico se da por la hidrolisis de los sulfuros que relaciona a su vez la acumulación de mercurio por parte del sedimento, cuyo resultado puede estar relacionado con los altos contenidos de materia orgánica que presenta el lecho del Rio La Teta, así como la presencia de arcillas y capacidad de intercambio catiónico, las cuales son el principal facilitador de la persistencia en los sedimentos, es por eso que los resultados sobrepasan en 2000 veces más la norma permitida (NCA) <sup>32</sup>.

---

\* RESOLUCION No 2115 DEL 22 DE JUNIO DE 2007. MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL. Por medio de la cual se señalan características, instrumentos básicos y frecuencias del sistema de control y vigilancia para la calidad del agua para consumo humano

13. PRODUCCION MÁS LIMPIA EN LA MINERIA DEL ORO EN COLOMBIA, MERCURIO CIANURO Y OTRAS SUSTANCIAS. Unidad de planeación minero energética, Republica de Colombia, Ministerio de Minas y Energía. 2007. pág. 32. FRACCIONAMIENTO DE SUELOS CONTAMINADOS CON MERCURIO EN EL SUR DE LA SIERRA GORDA DE QUERETARO-MEXICO. Autor. Rodrigo Javier Martínez Pérez. Universidad Nacional Autónoma de México, Programa de Posgrados en Ciencias de la Tierra – Centro de Geociencias. pág. 30 - 33

### 4.3 CONDUCTIVIDAD

La conductividad es un parámetro fisicoquímico que va de la mano con el pH, como se mencionó anteriormente, la tendencia es medianamente a tener carácter básico y en mayor proporción básico en las condiciones de agua.

La **RESOLUCION 2115 DEL AÑO 2007**, señala características, instrumentos básicos y frecuencias del sistema de control y vigilancia para la calidad de agua para consumo humano; según menciona esta resolución, para Colombia, el valor máximo aceptable para Conductividad en el agua, puede ser hasta de 1000  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , dejando entre ver que solo el monitoreo para el tanque de cianuración presenta alto contenido de sales, la razón, es que el tanque de contención de residuos de cianuro, es la última operación para el beneficio del oro, cuyo valor es procedente con seguridad de la sales disueltas producto de la litología, durante el proceso de molienda sumado a las actividades antrópicas del proceso de extracción del oro de filón <sup>33</sup>.

Para el caso de las referencias (40  $\mu\text{S}/\text{cm}$  para RTH2 y 40.2  $\mu\text{S}/\text{cm}$  para RTH1), supone que presenta menos contenido de materia orgánica respecto a las demás, que según análisis organoléptico hecho en el sitio, se concluye que es debido a que los vertimientos producto de minería ilegal son hechos en la franja protectora de una quebrada innominada, la cual fue monitoreada, en esta no había presencia de cobertura vegetal, solo barros, arenas y sedimentos con colores aparentes producto de la molienda a pequeña escala para la extracción del oro <sup>34</sup>.

---

33. RESOLUCION 2115 DEL AÑO 2007. MINISTERIO DE LA PROTECCION SOCIAL, MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL. Por medio de la cual se señalan características, instrumentos básicos y frecuencias de sistema de control y vigilancia para la calidad de agua para consumo humano. [Online]. [http://www.aguasyaguas.com.co/calidad\\_agua/images/descargas/res\\_2115\\_220707.pdf](http://www.aguasyaguas.com.co/calidad_agua/images/descargas/res_2115_220707.pdf). Consultado: 16 Octubre de 2016.

34. ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO Y DISTRIBUCION DEL MERCURIO PRESENTE EN MUESTRAS DEL SUELO RECOGIDAS EN LA RIVERA DEL RIO VALDEAZOGUES. M. A. Lominchar, M. J. Sierra, J. Rodríguez, R. Millán; Departamento del Medio Ambiente. Octubre de 2010. pág. 30-45.

#### 4.4 COLOR Y TURBIEDAD

Este aspecto no está regulado por la normatividad de vertimientos colombiana, sin embargo, es una característica importante que revela la movilidad los sedimentos y partículas en suspensión del Rio La Teta.

En éste orden, se puede considerar que las referencias: RTLA1, RTLA2, RTLM, RTEC, RTP2 Y RTP3, presentan un nivel elevado de turbiedad en relación a los demás puntos monitoreados, la primera relación a este efecto es que son punto donde la descarga es directa, las plantas de beneficio funcionan diariamente siete (7) días a la semana, y contienen la mayor concentración de pequeños mineros en la rivera del Rio La Teta.

Las referencias: RTH1, RTH2, RTH3 y RTH4, corresponden al sector de Higuerrillos, zona cercana al nacimiento del Rio La Teta, donde el nivel de autodepuración es mucho más fuerte debido a que no presenta gran volumen de sólidos en suspensión, los demás puntos, son la secuencia de vertimientos a lo largo de los 10 km monitoreados del Rio La Teta.

El contenido de solidos muy finos en suspensión es usualmente medido como solidos totales en suspensión (SST) o nombrados también como unidades de turbidez. Los niveles elevados de los SST en los efluentes descargados por las minas al Teta, son el resultado de la retención por tiempo limitado y sedimentación en pequeños depósitos, algo característico de este rio a lo largo de su cauce <sup>35</sup>.

En relación al color, se considera una de las primeras propiedades físicas que dan el indicio del estado “aparente” de una fuente de agua superficial, en este caso se conoce que el agua proveniente del Rio La Teta se usa para actividades industriales por las diferentes minas y entables dispuestos junto al cauce del rio; debido a la poca presencia de materia orgánica tal y como lo indican parámetros anteriores, se puede inferir en este aspecto que la presencia de diferentes metales como hierro, mercurio, cobre, entre otros; suponen un resultado de corrosión, el cual influye directamente con el color del agua, según la Organización Mundial de la Salud (OMS), el nivel permisible de la presencia de color debe estar por los 15 UPC o menos; para la presente investigación la zona de Higuerrillos, demarcada con la referencia RTH1, RTH2, RTH3, RTH4 Y TCMP, suponen baja presencia de humus, materia orgánica coloreada y metales disueltos, los antecedentes dan razón a este resultado debido a que la actividad minera en gran cantidad se da aguas debajo de esta zona y el tanque contenedor de los residuos de cianuración debido a que ha tenido tratamiento previo en remoción de los sólidos en suspensión.

---

35. ORGANIZACIÓN PANAMERICANA DE LA SALUD. Guía ambiental para el manejo de relaves mineros. Área de desarrollo sostenible y salud ambiental. [Online]. <http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/cd27/compendio-manejo.pdf>. Consultado: 30 de Octubre de 2016.

#### **4.5 NITRATOS Y NITRITOS**

La Organización Mundial de la Salud (OMS), recomienda que los niveles máximos de concentración que no ponen en riesgo la salud humana son de 50 mg/L para Nitratos y de 3 mg/L para Nitritos, aludiendo a una exposición de corto plazo.

En este sentido, las concentraciones por este concepto, no exceden los valores límites permisibles, por lo tanto, no se consideró riesgo ambiental ni para consumo en el caso de bocatomas aguas arriba del Rio La Teta; “el nitrato y el nitrito son iones de origen natural que forman parte del ciclo del nitrógeno.

El nitrato se utiliza principalmente en fertilizantes inorgánicos, y el nitrito sódico como conservante alimentario, especialmente para las carnes curadas. La concentración de nitrato en aguas subterráneas y superficiales suele ser baja, pero puede llegar a ser alta por filtración o escorrentía de tierras agrícolas o debido a la contaminación por residuos humanos o animales como consecuencia de la oxidación del amoníaco y fuentes similares. Las condiciones anaerobias pueden favorecer la formación y persistencia del nitrito. La cloraminación podría ocasionar la formación de nitrito en el sistema de distribución si no se controla debidamente la formación de cloramina. La formación de nitrito es consecuencia de la actividad microbiana y puede ser intermitente <sup>36</sup>.

#### **4.6 DEMANDA QUIMICA DE OXIGENO (DQO)**

Esta propiedad química, también se encuentra regulada por la RESOLUCION 631 DEL AÑO 2015, en la sección de ACTIVIDADES MINERAS. En relación con la extracción de oro y otros metales preciosos, la norma determina que el valor límite máximo permisible para la Demanda Química de Oxígeno no deberá superar los 150 mg/L.

Se encuentra por tanto que el contenido total de materia orgánica oxidable, sea biodegradable o no, cuenta con cantidades de oxígeno consumido por los cuerpos reductores presentes en el agua sin la intervención de organismos vivos, en niveles bajos.

La referencia RTP1 cuya concentración alcanzo los 100 mg/L, cuenta con vertimientos directos al efluente del Rio La Teta, con alta presencia de pequeños mineros situados en la franja natural del rio, lo cual es un causal directo del resultado.

El tanque de almacenamiento final de los residuos productos de la cianuración, referencia TCMP, sobre pasa los niveles permitidos por la norma (233 mg/L), aludiendo a importante causal de contaminación en el Rio La Teta, debido a que después de este tanque se genera el vertimiento al cauce, coincidiendo con la recepción de la carga en el punto RTP1 con una concentración de 100 mg/L, y

disminuyendo considerablemente en el punto RTP2 donde las condiciones ya son aceptables, reafirmando el poder auto depurador que naturalmente contiene el Rio La Teta.<sup>37, 38, 39</sup>

---

36. GUIA PARA LA CALIDAD DEL AGUA POTABLE. ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD. [Recurso electrónico]. [http://www.who.int/water\\_sanitation\\_health/dwq/gdwq3\\_es\\_full\\_lowres.pdf](http://www.who.int/water_sanitation_health/dwq/gdwq3_es_full_lowres.pdf). Consultado: 30 de Octubre de 2016. pág.38

37. GUIA PARA LA CALIDAD DEL AGUA POTABLE. ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD. [Recurso electrónico]. [http://www.who.int/water\\_sanitation\\_health/dwq/gdwq3\\_es\\_full\\_lowres.pdf](http://www.who.int/water_sanitation_health/dwq/gdwq3_es_full_lowres.pdf). Consultado: 30 de Octubre de 2016. pág. 48-50.

38. APHA, AWWA, WPCF. Métodos Normalizados para el Análisis de Aguas Potables y Residuales. 1992

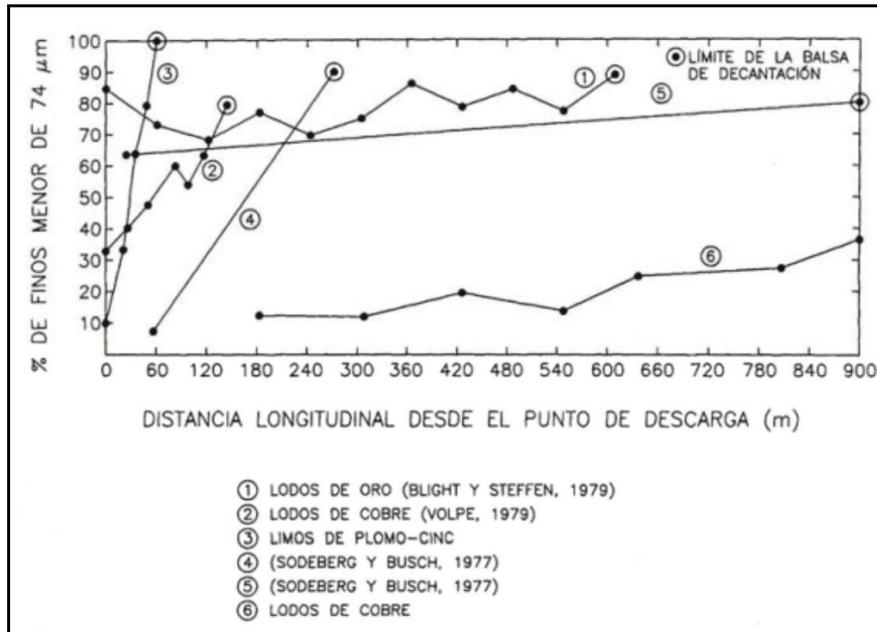
39. [www2.inecc.gob.mx](http://www2.inecc.gob.mx). EVALUACION DE LA CALIDAD DEL AGUA. Enrique Mejía Maravilla, Fernando Rosales Cristerna, José Alfredo Rojas García, Carolina Molina Segura. [Online]. [http://www2.inecc.gob.mx/emapas/download/lch\\_calidad\\_del\\_agua.pdf](http://www2.inecc.gob.mx/emapas/download/lch_calidad_del_agua.pdf). Consultado: 12 Noviembre de 2016.

#### **4.7 SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES (SST)**

Todos los monitoreos realizados en el Río La Teta, presentan incumplimiento al rebasar el límite permisible impuesto por la RESOLUCION 631 DEL AÑO 2015, donde se establece la concentración de Sólidos Suspendidos Totales (SST) en máximo 50 mg/L, para actividades de extracciones de oro y otros metales. Es un índice que las plantas que realizan el proceso de remoción de los sólidos suspendidos no presentan operaciones y procesos aptos que garanticen la estabilidad natural y ambiental del Río La Teta. Este cauce, organolépticamente da presencia crítica de material suspendido en la columna de agua, pero más allá físicamente, todo se reduce a que los factores que influyen la concentración gravimétrica de estos sólidos en el agua, por concepto de molienda de minería de filón, es debido a que el lodo genera una alta viscosidad de la pulpa, afectando particularmente la recuperación de oro fino o de las láminas, por lo tanto en este caso es necesario lavar o lo que coloquialmente se denomina “deslamar” antes de concentrar <sup>13</sup>.

Es necesario entender el término físico denominado granulometría, donde en la descarga convencional de lodos, las partículas más gruesas o arenas se depositan rápidamente formando una playa junto al dique de la presa si es ahí donde se encuentra el punto de descarga, mientras que el resto de partículas fluyen como lamas (tamaño de partículas inferiores a 0,1 mm) hacia el interior de la presa. En la siguiente figura se muestra la disposición longitudinal de la sedimentación de los distintos tipos de lodos en función de su granulometría en la playa de una hipotética balsa o presa <sup>40</sup>.

Figura No.7 Clasificación granulométrica en función de la distancia al punto de descarga <sup>13</sup>.



La Figura No 7, permite contextualizar el efecto de tamaño de partícula y densidad, con la influencia directa en la distribución granulométrica que presenta el metal, dentro de los depósitos de relaves, sumado a propiedades tales como permeabilidad y retención de humedad por largo tiempo, pueden afectar preferencialmente la movilidad de cualquier especie metálica soluble; así mismo otro efecto del tamaño de partícula de sólidos ultra finos es que pueden mantenerse en continua suspensión lo que eleva los niveles de concentración de este parámetro físico <sup>40</sup>.

13. PRODUCCION MÁS LIMPIA EN LA MINERIA DEL ORO EN COLOMBIA, MERCURIO CIANURO Y OTRAS SUSTANCIAS. Unidad de planeación minero energética, Republica de Colombia, Ministerio de Minas y Energía. 2007. pág. 29.

40. RESIDUOS MINEROS, INGENIERIA AMBIENTAL 2006 -2007. Recurso [Online] sin autor. Consultado. 18 de Noviembre de 2016. pág. 38-40.

## 5. CONCLUSIONES

Las técnicas tradicionales de extracción del oro, en el Municipio de Buenos Aires Cauca, han dejado como consecuencia la persistencia en hábitos dañinos y perjudiciales tanto para los mineros como para el medio ambiente. La evidencia de asentamiento de más de un centenar de entables en una misma zona, deja entrever que el problema se acrecienta cada día más, debido a la reducida existencia de factores de producción que presenta la zona y que asegura de una u otra forma el sustento de las familias mineras de la zona.

Con la presente investigación y partiendo de los resultados fisicoquímicos de los puntos seleccionados para el análisis, se logró evidenciar que la falta de tecnificación de los procesos de beneficio del oro, es la principal causa del agente contaminante en relación al uso del Mercurio; desde la molienda hasta la recuperación, se usan cantidades exacerbadas de este metal tóxico, sin emplear relaciones peso/peso, ni consideraciones en tiempos de quema, amalgamación y molienda, lo que genera vertimientos directos a la fuente de agua superficial más cercana con altas concentraciones de mercurio, polución por mercurio orgánico a la atmosfera y efectos tóxicos por inadecuadas técnicas de manipulación, lo que acrecienta los problemas encontrados referente a la persistencia, movilidad y alteración de la dinámica ecosistémica del Rio La Teta con su entorno.

Se determinó que la concentración de mercurio en sedimento supera en 2000 veces las concentraciones permitidas según la Norma de Calidad Ambiental Europea (NCA – Europea), hallazgo que sin duda alguna alteró las condiciones de persistencia y movilidad del mercurio en el lecho y columna de agua del Rio La Teta, afectando de forma directa las demás propiedades fisicoquímicas del mismo, esto contribuyo a la nulidad de presencia de materia orgánica en el Rio, como respuesta a este fenómeno la presencia de sulfuros y conductividad favorece que el Mercurio se aloje en el sedimento y la posibilidad de desarrollo de condiciones orgánicas que permitan el mutualismo y por ende la vida del Rio La Teta, disminuyen con la presencia de cada entable que vierte en esta Subzona Hídrica del Municipio de Buenos Aires.

La limnología del Rio La Teta, especialmente la condición de depuración que posee el mismo, sumado a la inexistencia de planes y estrategias que permitan resarcir los daños causados al medio no son suficientes para recuperar el daño hecho por la actividad minera (de subsistencia, pequeña, mediana, grande), considerando la necesidad de establecer de forma inmediata un programa de uso eficiente y ahorro del agua, capacitación continua sobre la tecnificación de los procesos existentes en los diferentes entables, que aseguren la disminución del uso del mercurio con buenas prácticas de beneficio, en lo posible siguiendo los lineamientos de minería limpia especificados por la Unidad de Planeación Minero

Energética – UPME, en pro de alcanzar los límites máximos permisibles especificados por la norma Colombiana en la Ley 1658 del 2013, Resolución 631 del 2015, Decreto 3930 del 2010 y la Ley 1333 de 2009, todas en relación al uso del mercurio, manejo de vertimientos y procedimiento sancionatorio ambiental que garantice el actuar de quienes hacen uso de la minería como actividad productiva legal o ilegal y en cualquier grado de extracción.

La Resolución 2115 de 2007, permitió evidenciar que las condiciones sanitarias del Rio La Teta influenciado por la actividad de minería a pequeña, mediana y gran escala, no es apta para el consumo humano o similares, dejando entrever la urgencia de intervención por parte de las autoridades competentes en el diseño e implementación de un Plan de uso y manejo sostenible de los recursos naturales renovables presentes en el Rio La Teta.

## RECOMENDACIONES

En la actualidad existe legislación relacionada con el desarrollo de la actividad minera en general, que expone las posibles infracciones y alteraciones generadas al ambiente, en las que puede incurrir un usuario o empresa que se beneficie directa o indirectamente de la explotación del oro. Según la OMS el estándar para mercurio en aire es de 1.000 ng/m<sup>3</sup>, concentraciones superiores a esta, son consideradas nocivas para la salud. Sin embargo, en algunos sitios en donde se realiza la fundición no se exigen permisos de emisiones por parte de los organismos competentes, situaciones similares encontramos con la exigencia de licencias ambientales, permiso de uso de suelos, aprovechamiento forestal y concesiones para el uso de agua.

Es necesario la formulación e implementación de los planes de manejo de los territorios, con nuevas políticas minero ambientales para protección, formación y capacitación, durante la explotación minera. A través de una articulación con los instrumentos de planificación institucional, corporaciones autónomas regionales, y comunidad minera, solo así se evidenciara mejora en cuanto a ordenamiento territorial, articulación interinstitucional, conservación de áreas protegidas, declaratoria de nuevas áreas y restauración de áreas intervenidas por la minería.

Las alternativas productivas de la Biotecnología, podrían ser estrategias positivas que generen cambios en beneficio de la explotación industrial del oro, estrategias como *fitorremediación*, *ficorremediación*, *micorremediación*, permitirán a través de la degradación de aguas residuales de compuestos dañinos derivados del mercurio y cianuro generados por la minería, eliminar o controlar las diversas contaminaciones. Ahora bien, el diseño e implementación de métodos convencionales para la gestión de calidad de agua, serían una herramienta complementaria que puede emplearse.

Tecnologías relacionadas con procesos de coagulación y filtración, filtración con carbono activado granular, ablandamiento con cal y osmosis inversa, pueden generar desarrollo sostenible que permita la convergencia entre las necesidades productivas de la región y la obligación de cuidar el medio ambiente y sus recursos naturales como resultado del aprovechamiento de los mismos.

## BIBLIOGRAFIA

ALCALDIA DE BUENOS AIRES CAUCA. Nuestro Municipio, Información general [En línea]<[http://buenosaires-](http://buenosaires-cauca.gov.co/informacion_general.shtml#geografia)

[cauca.gov.co/informacion\\_general.shtml#geografia](http://buenosaires-cauca.gov.co/informacion_general.shtml#geografia)>[Citado el 6 de Marzo de 2016].

APHA, AWWA, WPCF. Métodos Normalizados para el Análisis de Aguas Potables y Residuales. 1992

CALIDAD DE AGUA EN RIOS, AUTODEPURACION. MASTER EN INGENIERIA DEL AGUA. UNIVERSIDADE DA CORUÑA- [Online]. Consultado: 18 de Septiembre de 2016.

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS, QUÍMICAS Y BIOLÓGICAS DE LAS AGUAS. Prof. Dr. Rafael Marín Galvín. Jefe de Control de Calidad, Calidad y Medio Ambiente Empresa Municipal de Aguas de Córdoba S.A. (EMACSA). Consultado Marzo de 2016.

Clescerl L., Greenberg A., Eaton A., “Métodos estándar para el examen de aguas y aguas residuales”, edición 20, Asociación Americana de Salud Pública, American Water Works Association, Water Environment Federation, 1999.

CONTRALORÍA GENERAL DE LA REPÚBLICA, “Informe del estado de los recursos naturales y del ambiente”, 2011-2012, p 161-163-165-177, 187,190-191-195-198-199-201

Díaz, F. A., Revista De Salud Pública, Volumen 16, 2014, “Mercurio en la minería del oro: impacto en las fuentes hídricas destinadas para Consumo humano”, (1/11-2016)

CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DEL CAUCA, “Distrito minero de Buenos Aires, programa de producción competitiva y limpia, contaminación por mercurio y otros”, 2007, (04/05/2013).

CORPORACION AUTONOMA REGIONAL DEL CAUCA. LABORATORIO AMBIENTAL. Reporte de resultados – muestra de agua – muestra de sedimento. Código: FT-PDPA-LA027. Vivero CRC, Vereda González. Popayán.

Chakraborty P. et al., Marine Chemistry, “Effects of bottom water oxygen concentrations on mercury distribution and speciation in sediments below the oxygen minimum zone of the Arabian Sea”, 2016.

DETERMINACIÓN DE MERCURIO POR GENERACIÓN DE VAPOR FRIO Y DETECCIÓN VIA ABSORCIÓN Y FLUORESCENCIA ATÓMICA. Autor. Grecia Carolina García Niño. Universidad Simón Bolívar, decanato de estudios

profesionales, coordinación de química, trabajo de grado para optar al título de Licenciada en Química, Sartenejas, Caracas, Venezuela, 2010.

DIAGNOSTICO TERRITORIAL DEL MUNICIPIO DE BUENOS AIRES – 2015. Generalidades, localización. Recurso [Online]. pág. 46 - 199.

Environmental Protection Agency, “METHOD 7471B MERCURY IN SOLID OR SEMISOLID WASTE” (Manual Cold-Vapor Technique), Sf.

ESTUDIO DE LA CADENA DEL MERCURIO EN COLOMBIA CON ENFASIS EN LA ACTIVIDAD MINERA DEL ORO, TOMO 2. Ministerio de minas y energía, Unidad de planeación minero energético y Universidad de Córdoba. Noviembre de 2014. pág. 5 – 17

ESCTRUCTURA POBLACIONAL DE BACTERIAS SULFATO REDUCTORAS Y ARQUEAS METANOGENAS EN PERFILES SEDIMENTARIOS DE LAGUNAS DE AGUA BLANCAS Y AGUAS NEGRAS DE LA CUENCA AMAZONICA DEL RIO BENI. TESIS DE MAESTRIA. [Online]. Universidad de San Andres. Lic. Karina Salazar Chávez. La Paz Bolivia 2008.

ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO Y DISTRIBUCION DEL MERCURIO PRESENTE EN MUESTRAS DEL SUELO RECOGIDAS EN LA RIVERA DEL RIO VALDEAZOGUES. M. A. Lominchar, M. J. Sierra, J. Rodríguez, R. Millán; Departamento del Medio Ambiente. Octubre de 2010. pág. 30-45.

FRACCIONAMIENTO DE SUELOS CONTAMINADOS CON MERCURIO EN EL SUR DE LA SIERRA GORDA DE QUERETARO-MEXICO. Autor. Rodrigo Javier Martínez Pérez. Universidad Nacional Autónoma de México, Programa de Posgrados en Ciencias de la Tierra – Centro de Geociencias. pág. 30 - 33

GUIA PARA LA UTILIZACION DE VALIJAS VIAJERAS. ¿Qué es la velocidad de la corriente y caudal y por qué son importantes? – Red de monitoreo ambiental participativo de sistemas acuáticos. Versión 1.0/Junio 2007. pág. 1 - 10.

GUIA PARA LA CALIDAD DEL AGUA POTABLE. ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD. [Recurso electrónico]. [http://www.who.int/water\\_sanitation\\_health/dwq/gdwq3\\_es\\_full\\_lowres.pdf](http://www.who.int/water_sanitation_health/dwq/gdwq3_es_full_lowres.pdf). Consultado: 30 de Octubre de 2016.

González, L., Instituto de Estudios para el Desarrollo y la Paz- INDEPAZ, 2013, “Impacto de la minería de hecho en Colombia. Estudios de caso: Quibdó, Istmina, Timbiquí, López de Micay, Guapi, El Charco y Santa Bárbara”, (1/11/2016).

Gobernación del Cauca, Secretaria de Desarrollo Agropecuario y Desarrollo Económico. Actividad Minera. Popayán. Sf.

INSTITUTO DE HIDROLOGÍA, METEOROLOGÍA Y ESTUDIOS AMBIENTALES, “informe del estado del medio ambiente y los recursos naturales renovables”, 2010

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TECNICAS. Normas Colombianas para la presentación de trabajos de investigación. Sexta actualización. Santa Fe de Bogotá D.C.: ICONTEC, 2008. 126p. NTC1486

INSTITUTO DE HIDROLOGIA, METEREOLOGIA Y ESTUDIOS AMBIENTALES. Subdirección de hidrología, grupo laboratorio de calidad ambiental. [En línea]. Instructivo para la toma de muestras de aguas residuales, 2007. p. 1 – 17.

J. CATALÁN LAFUENTE. Química del Agua. Ed. Alonso S.A., Madrid (1.981).

J. CATALÁN LAFUENTE y J.M. CATALÁN ALONSO, Ríos. Caracterización y calidadde sus aguas. Ed. Dihidrox, Zamora (1.987).

MERCURY IN RIVER, ESTUARINE AND SEAWATERS. Daniela S. Tavares. Contents lists available at ScienceDirect. [www.elsevier.com/locate/watres](http://www.elsevier.com/locate/watres). [Online]. 2016.

MANCERA, N.J., ÁLVAREZ, R., ACTA BIOLÓGICA COLOMBIANA, VOL. 1, 2006, estado del conocimiento de las concentraciones del mercurio y otros metales pesados en peces dulce acuícolas de Colombia, (05/05/2013) p. 4-9-10-16

MINISTERIO DE MINAS Y ENERGÍAS. ESTUDIO DE LA CADENA DEL MERCURIO EN COLOMBIA, TOMO 3. noviembre de 2014. p. 81-83, 138-140

MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE. Resolución 0631. {En línea}. {06/03/2017}. Disponible en: ([http://www.minambiente.gov.co/images/normativa/app/resoluciones/d1-res\\_631\\_marz\\_2015.pdf](http://www.minambiente.gov.co/images/normativa/app/resoluciones/d1-res_631_marz_2015.pdf))

MINISTERIO DE AGRICULTURA, ALIMENTACIÓN Y MEDIO AMBIENTE. Real Decreto 817/2015, de 11 de septiembre, por el que se establecen los criterios de seguimiento y evaluación del estado de las aguas superficiales y las normas de calidad ambiental. {En línea}. {06/03/2017}. Disponible en: (<https://www.boe.es/boe/dias/2015/09/12/pdfs/BOE-A-2015-9806.pdf>).

NORDBERG, G., ET AL, “HANDBOOK OF THE TOXICOLOGIA DE METALES”, Copenhagen, Dinamarca, 2005.

Oliveri E. et al., Marine Chemistry, “Mobility of mercury in contaminated marine sediments: Biogeochemical pathways”, 2016.

ORGANIZACIÓN PANAMERICANA DE LA SALUD. Guía ambiental para el manejo de relaves mineros. Área de desarrollo sostenible y salud ambiental. [Online]. <http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/cd27/compendio-manejo.pdf>. Consultado: 18 de Octubre de 2016.

PRODUCCION MÁS LIMPIA EN LA MINERIA DEL ORO EN COLOMBIA, MERCURIO CIANURO Y OTRAS SUSTANCIAS. Unidad de planeación minero energética, Republica de Colombia, Ministerio de Minas y Energía. 2007. pág. 29.

RESTAURACION DE RIOS. Guía metodológica para la elaboración de proyectos. Marta González del Tánago, Diego García de Jalón. Universidad Politécnica de Madrid. pág. 4 - 10

RESOLUCION 2115 DEL AÑO 2007. MINISTERIO DE LA PROTECCION SOCIAL, MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL. Por medio de la cual se señalan características, instrumentos básicos y frecuencias de sistema de control y vigilancia para la calidad de agua para consumo humano. [Online]. [http://www.aguasyaguas.com.co/calidad\\_agua/images/descargas/res\\_2115\\_220707.pdf](http://www.aguasyaguas.com.co/calidad_agua/images/descargas/res_2115_220707.pdf). Consultado: 16 Octubre de 2016.

RESIDUOS MINEROS, INGENIERIA AMBIENTAL 2006 -2007. Recurso [Online] sin autor. Consultado. 18 de Noviembre de 2016. pág. 38-40.

SIPNOSIS NACIONAL DE LA MINERIA AURIFERA ARTESANAL Y DE PEQUEÑA ESCALA. PROGRAMA DE LAS NACIONES UNIDAS PARA EL MEDIO AMBIENTE Y EL MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE. BOGOTA, DICIEMBRE DE 2012. [Online]. [http://www.minambiente.gov.co/images/AsuntosambientalesySectorialyUrbana/pdf/mercurio/Sinopsis\\_Nacional\\_de\\_la\\_ASGM.pdf](http://www.minambiente.gov.co/images/AsuntosambientalesySectorialyUrbana/pdf/mercurio/Sinopsis_Nacional_de_la_ASGM.pdf). pág. 21 - 49.

Tavares D., Lopes C., Da-Silva D., Vale C., Trindade T., Pereira M., Water Research, "Mercury in river, estuarine and seawaters Is it possible to decrease realist environmental concentrations in order to achieve environmental quality standards", 2016.

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO. FRACCIONAMIENTO DE SUELOS CONTAMINADOS CON MERCURIO EN EL SUR DE LA SIERRA GORDA DE QUERÉTARO, MEXICO. Rodrigo Javier Martinez Pérez, MEXICO D.F. Enero de 2015. p. 5 - 6

WWW.VMAPS.COM. Mapa político y geográfico del Departamento del Cauca. [En línea]. <<http://www.vmapas.com/maps/4232->

[2/Mapa\\_Fisico\\_Politico\\_Cauca\\_Colombia\\_2003.jpg](#)> [Citado el 10 de Marzo de 2016].

Willacker, J., Eagles-Smith C., Lutz M., Tate M., Lepak J., Ackerman J., Science of the Total Environment, "Reservoirs and water management influence fish mercury concentrations in the western United States and Canada", 2016.

WWW.VMAPS.COM. Mapa político y geográfico del Departamento del Cauca. [En línea]. <[http://www.vmapas.com/maps/4232-](http://www.vmapas.com/maps/4232-2/Mapa_Fisico_Politico_Cauca_Colombia_2003.jpg)

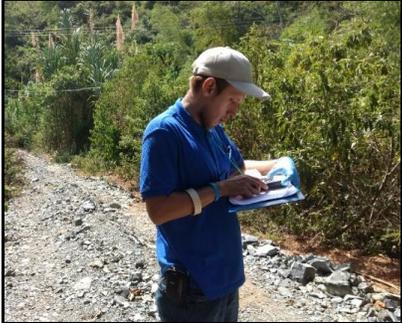
2/Mapa\_Fisico\_Politico\_Cauca\_Colombia\_2003.jpg>  
[Citado el 10 de Marzo de 2016].

WWW.RAPALURUGUAY.ORG. MERCURIO, CIANURO, MINERÍA Y CONTAMINACIÓN. Montevideo Paraguay. [Online]. [http://www.rapaluruaguay.org/agrotoxicos/COPs/Prensa/Mercurio\\_cianuro\\_mineria\\_contaminacion.pdf](http://www.rapaluruaguay.org/agrotoxicos/COPs/Prensa/Mercurio_cianuro_mineria_contaminacion.pdf). Consultado 28 de Agosto de 2016.

www2.inecc.gob.mx. EVALUACION DE LA CALIDAD DEL AGUA. Enrique Mejía Maravilla, Fernando Rosales Cristerna, José Alfredo Rojas García, Carolina Molina Segura. [Online]. [http://www2.inecc.gob.mx/emapas/download/lch\\_calidad\\_del\\_agua.pdf](http://www2.inecc.gob.mx/emapas/download/lch_calidad_del_agua.pdf). Consultado: 12 Noviembre de 2016.

## ANEXOS

Figura No. 8 Reporte fotográfico trabajo en campo.

REGISTRO	OBSERVACION
	<p style="text-align: center;">Georreferenciación Sector Pailas</p>
	<p>Reporte de unidades de almacenamiento de muestras producto de monitoreos.</p>
	<p>Proceso de colección de muestras, siguiendo protocolos técnicos IDEAM y de bioseguridad.</p>
	<p>Zona de estabilidad en el Rio La Teta, apta para toma de muestra de agua, sedimento y aforo.</p>

	<p>Identificación de quebradas tributarias al Rio La Teta, contaminadas por actividad minera. (Quebrada innominada Sector Loma Alta)</p>
	<p>Identificación de tubos para descarga de vertimientos, objetivo para análisis de aforo y calidad de agua. (Entable La Mona, Loma Alta)</p>
	<p>Identificación de cruce entre descarga del vertimiento y Rio La Teta, zona de mezcla.</p>
	<p>Identificación de concentración de actividad minera. (Industrial, pequeña escala y artesanal. Sector Higuerillos).</p>

Fuente: Archivo fotográfico, estudiantes de Ingeniería Ambiental a cargo de la investigación.

## RELACIÓN DE COLOR CON LOS EFLUENTES MONITOREADOS.

Figura No. 9 Evidencia de colores aparentes producto de actividad minera en El Rio La Teta.

	
<p>Zona Higuerrillos, previa a actividad minera. <b>Valor Reportado por Laboratorio: 10 UPC (RTH1)</b></p>	<p>Zona Higuerrillos, inicio de la actividad minera. <b>Valor Reportado por Laboratorio: 12 UPC (RTH2)</b></p>
	
<p>Tanque de almacenamiento de residuos de cianuración. <b>Valor Reportado por Laboratorio: 10 UPC (TCMP)</b></p>	<p>Zona Loma Alta, evidencia de color aparente por actividad minera. <b>Valor Reportado por Laboratorio: 165 UPC (RTP3)</b></p>