

● Consideraciones sobre
la minería en el departamento del Chocó
● y recomendaciones para mejorar la gestión



Consideraciones sobre la minería en el departamento del Chocó y recomendaciones para mejorar la gestión

© WWF - Colombia
© GEF
© Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo – PNUD

El proyecto GEF “Conservación de la biodiversidad en paisajes impactados por la minería en la región del Chocó Biogeográfico” fue financiado por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (Minambiente) con recursos del Fondo para el Medio Ambiente Mundial (Global Environment Facility, GEF por su sigla en inglés), implementado por el programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD) y ejecutado por el Fondo Mundial para la Naturaleza (WWF-Colombia), junto con organizaciones y entidades a nivel regional y local. Este proyecto se desarrolló en el Departamento del Chocó y en la franja occidental de los departamentos de Antioquia, Risaralda, Valle del Cauca y Cauca. Tenía como objetivo principal proteger la biodiversidad de los impactos directos e indirectos de la explotación minera de oro, plata y platino.

Participaron en la discusión y elaboración de los contenidos:

Geopatrimonio:
Jennifer Ángel Amaya y Milena Constanza Ordoñez Potes

Universidad de Cartagena:
Jesús Olivero Verbel

Consultora independiente
Cristina Echavarría Usher

IIAP:
Helcías Ayala

WWF-Colombia:
Mauricio Cabrera Leal.

Revisión:

WWF-Colombia:
Mauricio Cabrera Leal.

WWF-Colombia consultores:
Beatriz Agüera de Pablo-Blanco y Alfonso Escolar González.

Coordinación editorial:

WWF-Colombia:
Carmen Ana Dereix.

Dirección creativa:

La imaginada:
Álvaro del Castillo Ayala.

Diseño:

La imaginada:
Oscar Pinchao Cepeda y Sara Solarte.

Fotografías: Ronald de Hommel: páginas 8, 12, 14, 15, 16, 17, 19, 52, 54, 55 izq. **Cristina Echavarría:** páginas 18, 33 abajo, 55 izq. **Mauricio Cabrera Leal:** páginas 46, 48. **Jesús Oliveros - Verbel:** página 50.

ISBN digital: 978-958-8915-95-1

Octubre 2019.

Esta obra debe estar citada de la siguiente manera: J. Ángel, M. Ordoñez, J. Olivero, C. Echavarría, H. Ayala, M. Cabrera. (2019). Consideraciones sobre la minería en el departamento del Chocó y recomendaciones para mejorar la gestión. Geopatrimonio – Universidad de Cartagena – IIAP – WWF. Páginas 58. Cali – Colombia.

“Las denominaciones geográficas en esta publicación y el material que contiene no entrañan, por parte de WWF, juicio alguno respecto de la condición jurídica de Países, Territorios o Áreas, ni respecto del trazado de sus fronteras o límites”.

Las fotos utilizadas en esta publicación tomadas por Ronald de Hommel fueron una donación debido al carácter académico de este texto. No está permitido la comercialización o circulación de esta fotos con otros fines fuera de esta publicación. En caso de desear contactarlo pueden escribir al correo aronald@ronalddehommel.com.

Consideraciones sobre
la minería en el departamento del Chocó
y recomendaciones para mejorar la gestión



Contenido

Antecedentes	9
La problemática minero-ambiental	11
Enfoque para la gestión territorial de la minería	16
La geología y el origen del oro en el territorio	16
Minería subterránea de metálicos: Caso mina Carmen de Atrato	21
Introducción	22
Alcance	24
Conceptualización	25
Gestión del riesgo de desastres. Amenazas socio-naturales identificadas	25
Geoquímica de suelos, agua y rocas	26
Consideraciones	30
Puntos críticos identificados en el concepto técnico de seguimiento.	30
Análisis comparativo – Corporaciones Autónomas Regionales Priorizadas	31
Recomendaciones para gestión del riesgo	33
Priorización de los proyectos mineros objeto de seguimiento prospectivo de gestión de riesgo	34
Medidas prospectivas y correctivas en los proyectos mineros priorizados	36
Recomendación de fuentes de consulta según el nivel de información	38
Recomendaciones para caracterización geoquímica y medidas de manejo	39
Línea base	39
Caracterización de materiales	39
Minería ilegal de oro aluvial: Caso de contaminación por mercurio en la cuenca del río Atrato	45
Resumen	45
Análisis de mercurio en la cuenca del río Atrato	49
Mercurio en cabello humano	49
Mercurio en los sedimentos	50
Mercurio y elementos traza en peces.	52
Mercurio en aire de Quibdó.	53
Análisis de mercurio en Tadó	54
Mercurio en cabello de habitantes	54
Mercurio en achiote cultivado en zonas mineras.	54
Mercurio en peces cultivados en pozos derivados de minas abandonadas.	55
Recomendaciones	55
Bibliografía	57

Lista de figuras

Figura 1-Resguardos indígenas, territorios de Consejos Comunitarios afrocolombianos y áreas protegidas en el Chocó Biogeográfico de Colombia. Fuente: WWF (2016)	10
Figura2 – Los municipios del Chocó Biogeográfico Fuente: WWF, 2016	11
Figura 3 – Licencias ambientales vs títulos y solicitudes mineras 2014. Fuente WWF	13

Lista de tablas

Tabla 1 -Puntos críticos identificados con base en el concepto técnico de TERRAE (2017)-	30
Tabla 2 - Análisis comparativo Corporación Autónomas Regionales – CAR priorizadas.	32
Tabla 3 – Productos asociados al protocolo de inspección de obras para el seguimiento a las actividades mineras.	37
Tabla 4 – Fuentes de consulta según el nivel de información requerida.	38
Tabla 5 – Propuesta de actividades de caracterización geoquímica de materiales durante la etapa de seguimiento ambiental a proyectos mineros.	42

Lista de siglas

ABA	<i>Acid-Base Accounting</i> - Balance ácido-base
CAR	Corporaciones Autónomas Regionales
ASTM	<i>American Society of Testing Materials</i>
Cdgro	Consejo Departamental de Gestión de Riesgo
CDS	Corporaciones Autónomas de Desarrollo Sostenible
Cmgrd	Consejo Municipal de Gestión de Riesgo de Desastres
DAM	Drenaje ácido de minería
EIA	Estudios de Impacto Ambiental
ICA	Informe de Cumplimiento Ambiental
ICCI	Indicador Compuesto de Capacidad Institucional
IDDR	Indicador de disponibilidad de recursos
Ideam	Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales
IGAC	Instituto Geográfico Agustín Codazzi
Invemar	Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras
LM	Lixiviación de metales
NAG	<i>Net Acid Generation</i> - Generación neta de ácido
PMA	Plan de Manejo Ambiental
Pomca	Planes de Ordenación y Manejo de Cuencas Hidrográficas
POT	Plan de Ordenamiento Territorial
PTO	Plan de Trabajos y Obras
SGC	Servicio Geológico Colombiano
SIG-OT	Sistema de información geográfica para la planeación y el ordenamiento territorial
Simma	Sistema de Información de Movimientos en Masa
SPLP	<i>Synthetic Precipitation Leaching Procedure</i> - Procedimiento de lixiviación por precipitación sintética
TCLP	<i>Toxicity Characteristic Leaching Procedure</i> - Procedimiento de lixiviación característica de toxicidad



Antecedentes

El Chocó Biogeográfico de Colombia es reconocido globalmente por albergar algunos de los bosques más biodiversos del planeta, tanto en variedad, como en endemismo de especies

El Chocó Biogeográfico de Colombia es reconocido globalmente por albergar algunos de los bosques más biodiversos del planeta, tanto en variedad, como en endemismo de especies. Ello se debe al aislamiento geográfico de esta región, la cual está localizada al occidente del país, limitando al Norte con Panamá y al Sur con Ecuador, al Oriente con la cordillera Occidental y al Occidente con el litoral Pacífico. Es una región geográficamente separada de los valles interandinos por la Cordillera Occidental, a través de la cual es prácticamente inexistente la infraestructura vial y de telecomunicaciones, lo que agrega a esta región el aislamiento cultural que además dificulta

su articulación efectiva con los polos de desarrollo nacional ubicados en la zona andina (Bogotá, Medellín y Cali) y con el resto del mundo.

El territorio cuenta con bosques de manglar, bosques húmedos montañosos bajos y de piedemonte, herbazales de tierras bajas, bosques húmedos premontanos, montano alto y bajo, bosques y matorrales secos y páramos. (Gómez, L.F. *et al.* 2013 s.p.) Debido a su posición estratégica en el cruce de caminos de numerosas especies migratorias, el Chocó Biogeográfico y sus ecosistemas costeros albergan importantes poblaciones de tortugas marinas, aves costeras y ballenas jorobadas.

Además se registran unas 7.500 especies de plantas, 1.300 de ellas endémicas; 700 especies de mariposas y más de 1.500 especies de aves, 100 de ellas endémicas; se reportan 195 especies de anfibios – 88% de especies endémicas de reptiles y 180 especies de mamíferos – 6,6% de ellas endémicas y, en cuanto a riqueza piscícola dulceacuícola se han registrado 264 especies de peces dulce acuícolas; del río Atrato (116 especies, 12 endémicas) y el San Juan (96 especies, 5 endémicas) (Maldonado-Ocampo, *et al.* 2013).¹

La región ecorregional del Chocó-Darién², la cual coincide casi en su totalidad con el Chocó Biogeográfico, ha sido habitada históricamente y en su gran mayoría, por pueblos indígenas y afrocolombianos que han aprovechado los recursos naturales sin causar su degradación irreversible.³

Gran parte está titulado como territorios colectivos a grupos étnicos, a 2019 en la región del Chocó Biogeográfico corresponde a resguardos indígenas el 19,16% con 2.134.807,76 ha y a consejos comunitarios el 49,72% con 5.541.026,34 ha. No están tituladas a grupos étnicos unas 3.468.681,93 ha (31,13%).

1 Según la publicación citada hoy sólo se conoce el 25% de la composición de estas especies dulceacuícolas.
2 Las ecorregiones responden a un ranking global de WWF basado en estudios científicos. Identifica los hábitats terrestres, dulceacuícolas y marinos más importantes del planeta en términos biológicos. Proporciona un modelo crítico para la conservación de la biodiversidad a nivel global y por lo tanto son de altísima prioridad en acciones de conservación.
3 La población predominante en el Chocó Biogeográfico corresponde a un 90% a afrodescendientes y 5% a indígenas (Ayala, López y Ardila, 2005: 13).

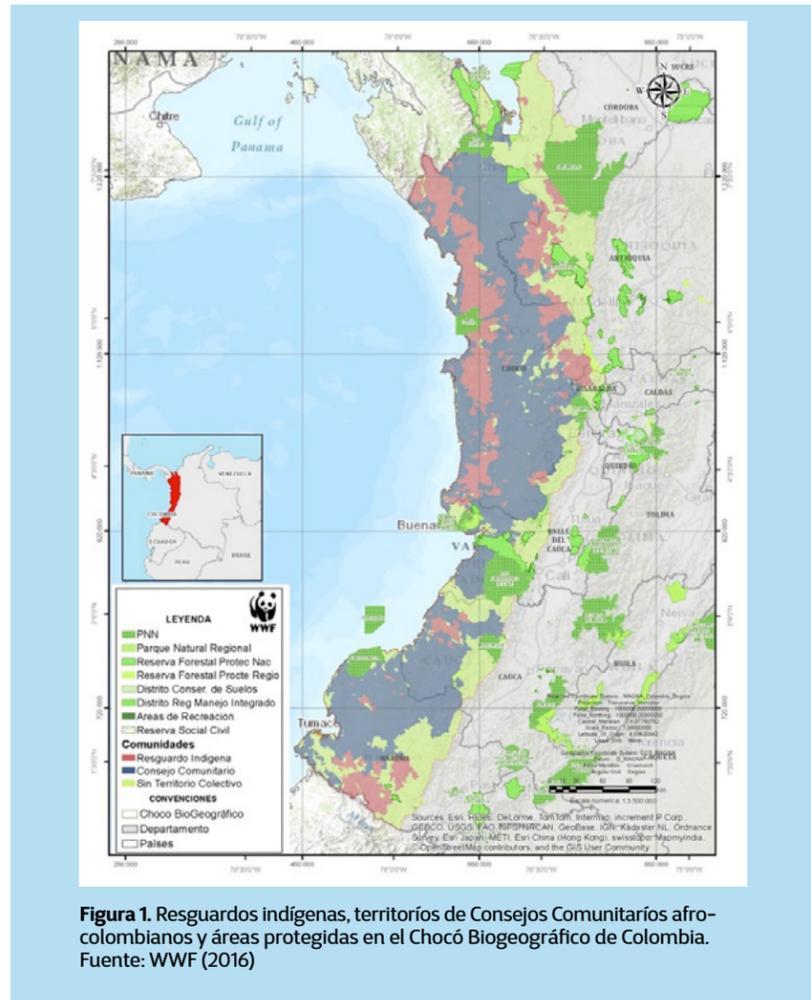


Figura 1. Resguardos indígenas, territorios de Consejos Comunitarios afrocolombianos y áreas protegidas en el Chocó Biogeográfico de Colombia. Fuente: WWF (2016)

Aproximadamente el 12,68% está protegido por Reservas Ecológicas y Parques Nacionales (ver Figura 2).

La superposición de resguardos indígenas y territorios colectivos de comunidades negras con algunos Parques Nacionales Naturales (PNN)⁴ configuran escenarios complejos de uso y tenencia de la tierra, no exentos de conflicto y frente a los cuales el acompañamiento de PNN

4 Por ejemplo: los parques Paramillo, Farallones, Katios y Utría, entre otros

ha favorecido en algunos casos la conservación de grandes áreas, al alinear los objetivos de conservación ambiental con los de conservación de los territorios colectivos y resguardos indígenas del Pacífico (WWF-Colombia, 2013:7).

No obstante, estos logros de conservación, debidos en gran parte a que durante muchos siglos se lograron mantener los usos ancestrales del territorio, presenciamos hoy el rápido deterioro y el em-

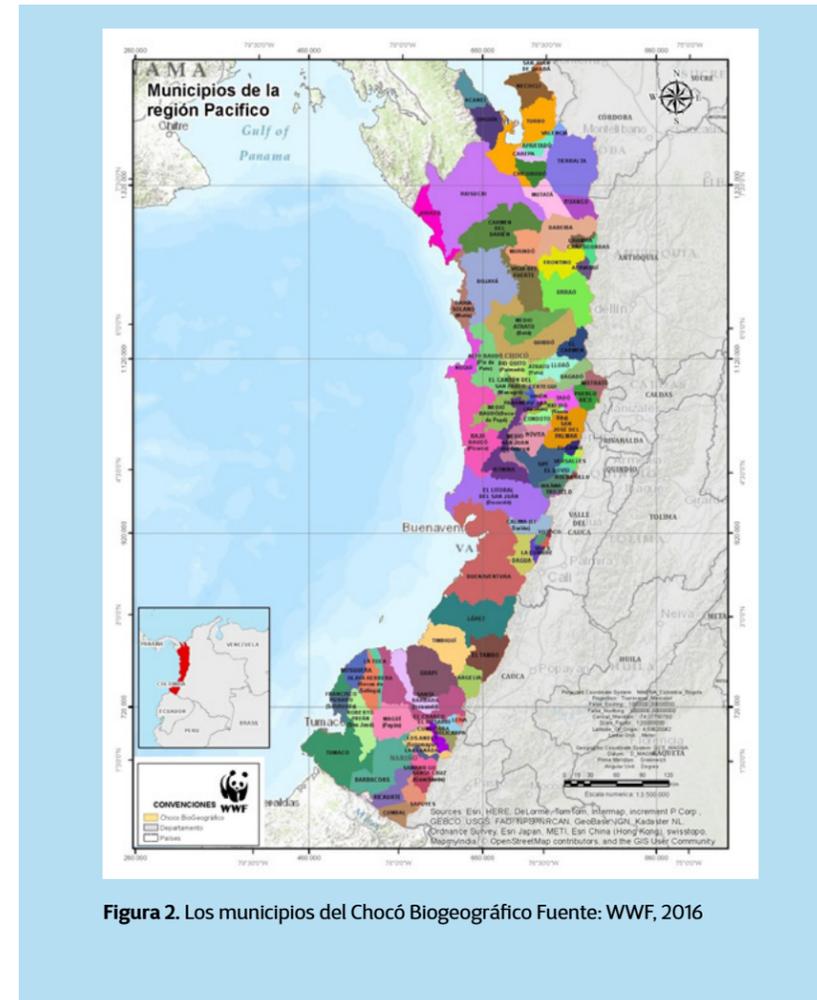


Figura 2. Los municipios del Chocó Biogeográfico Fuente: WWF, 2016

pobrecimiento de los ecosistemas naturales del Chocó Biogeográfico. No sólo por la explotación de bosques y de productos no maderables y por la minería ancestral, que se ha realizado durante siglos de modo informal, sino también por factores más recientes como la expansión de plantaciones forestales y plantaciones agroindustriales, junto con la minería ilegal mecanizada de aluvión, la semimecanización de la minería tradicional y las obras de

infraestructura (líneas de transmisión eléctrica, carreteras, puertos, etc.) (WWF-Colombia, 2013:12).

La gestión de la riqueza biológica y cultural del Chocó Biogeográfico es compleja, por cuanto compete a la jurisdicción de 7 departamentos (Chocó, Valle del Cauca, Cauca, Nariño, Antioquia, Risaralda y Córdoba) y a 92 municipios (Figura 3). Siete Corporaciones Regionales tienen jurisdicción sobre este extenso territorio: Codechocó, CVC, Corpourabá, CRC,

Corantioquia y Carder, correspondiendo casi el 55,89% a Codechocó.

La problemática minero-ambiental

La actividad minera en el Chocó Biogeográfico es principalmente la de oro y platino, aunque existen yacimientos de minerales como cobre, manganeso, cromo, zinc, antimonio, carbón, azufre, calizas, agregados y rocas ornamentales, algunos de ellos actualmente en explotación⁵ (Ayala, 2005).

La minería es históricamente una actividad productiva de subsistencia atada a los sistemas productivos ancestrales de las comunidades negras del Pacífico y regida por las formas tradicionales de organización social. Algunas regiones del Chocó Biogeográfico son de tradición minera desde tiempos de la Conquista, ya que a ellas fueron traídos africanos esclavizados a mediados del siglo XVII a trabajar en las minas de oro y platino de los españoles en los ríos San Juan, Napí, Timbiquí, Satinga, Naya y Raposo entre otros (Ayala, *et al.* 2005). Estos mineros esclavizados pudieron comprar su libertad con el producto de su trabajo minero durante el siglo XVIII. Para sus descendientes la minería continúa siendo una actividad productiva ancestral y tradicional, profundamente arraigada en la cultura, si bien se ha venido dando

5 Por ejemplo: Aprovechamiento de agregados en el trazado de la carretera Las Ánimas-Pereira (Municipio de Tadó); minería artesanal de carbón en el Palmar y Timba (Buenos Aires, Cauca); minería artesanal de manganeso en el territorio del Consejo Comunitario de Agua Clara; y una mina industrial de sulfuros de cobre en el Municipio de Carmen de Atrato, entre otros.



un proceso de semimecanización de las prácticas mineras ancestrales desde mediados de los años setenta.

De hecho, la minería fue reconocida por el Estado como una de las actividades productivas ancestrales de las comunidades negras, de tal forma que el uso y aprovechamiento tradicional de los minerales sirvió como prueba de poblamiento ancestral para la delimitación y otorgamiento de títulos colectivos a comunidades negras⁶. La minería tradicional es, una actividad productiva fundamental para la pervivencia de las comunidades en el territorio.

⁶ Ver: Decreto 1745 de 1995, reglamentario del Capítulo III de la Ley 70/1993; también com. personal Aristarco Mosquera, julio 2016.

Está regida por prácticas tradicionales ancestrales que refuerzan la no-dependencia de una sola actividad económica, la gestión territorial con diversificación productiva, el aprendizaje de los oficios en familia, la articulación de la actividad minera dentro de un sistema productivo diversificado que caracteriza la economía familiar y el cuidado de las fiestas religiosas y organizaciones familiares y comunitarias por encima del lucro económico.

Pero estos principios culturales, sociales y económicos han sufrido importantes transformaciones en los últimos 30-40 años debido al auge

de la minería ilegal mecanizada. El alza escalonada en los precios de los metales preciosos y los minerales en general a partir del nuevo siglo que pasó de \$1.201,79 a \$60.755,27 USD/kilogramo de 1970 a 2012, llevó simultáneamente a la expansión acelerada de la minería mecanizada ilegal, a la semimecanización de la minería tradicional y a la ampliación en el número de títulos mineros otorgados por el Estado a foráneos, en respuesta a la política de atracción de inversiones internacionales en el sector minero.

Entre finales de los años setenta y principios de los ochenta se introdujeron las minidragas de succión, que

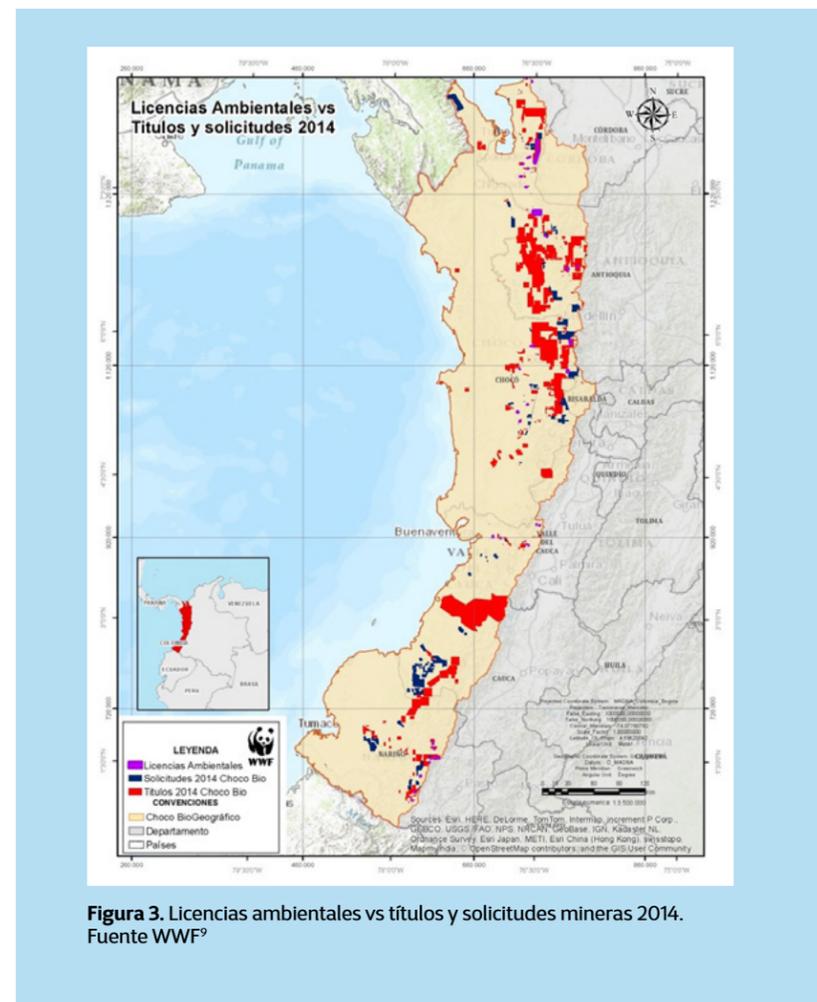


Figura 3. Licencias ambientales vs títulos y solicitudes mineras 2014. Fuente WWF⁹

fueron fácilmente asimiladas por las familias de nativos mineros afrocolombianos y aún siguen siendo operadas por ellos y articuladas con los sistemas de producción ancestrales (Ayala et al. 2005). Así mismo, la introducción de motobombas de achique, monitores y elevadores en los sistemas ancestrales de minería permitió la semimecanización paulatina de las labores mineras ancestrales desde mediados de los años setenta del siglo XX.

Achicar: Esta actividad consiste en retirar el agua que se almacena en los pozos construidos en la minería tradicional subterránea. Cuando no hay motobombas se realiza de forma manual con intercambio de bateas, usualmente un trabajo femenino.

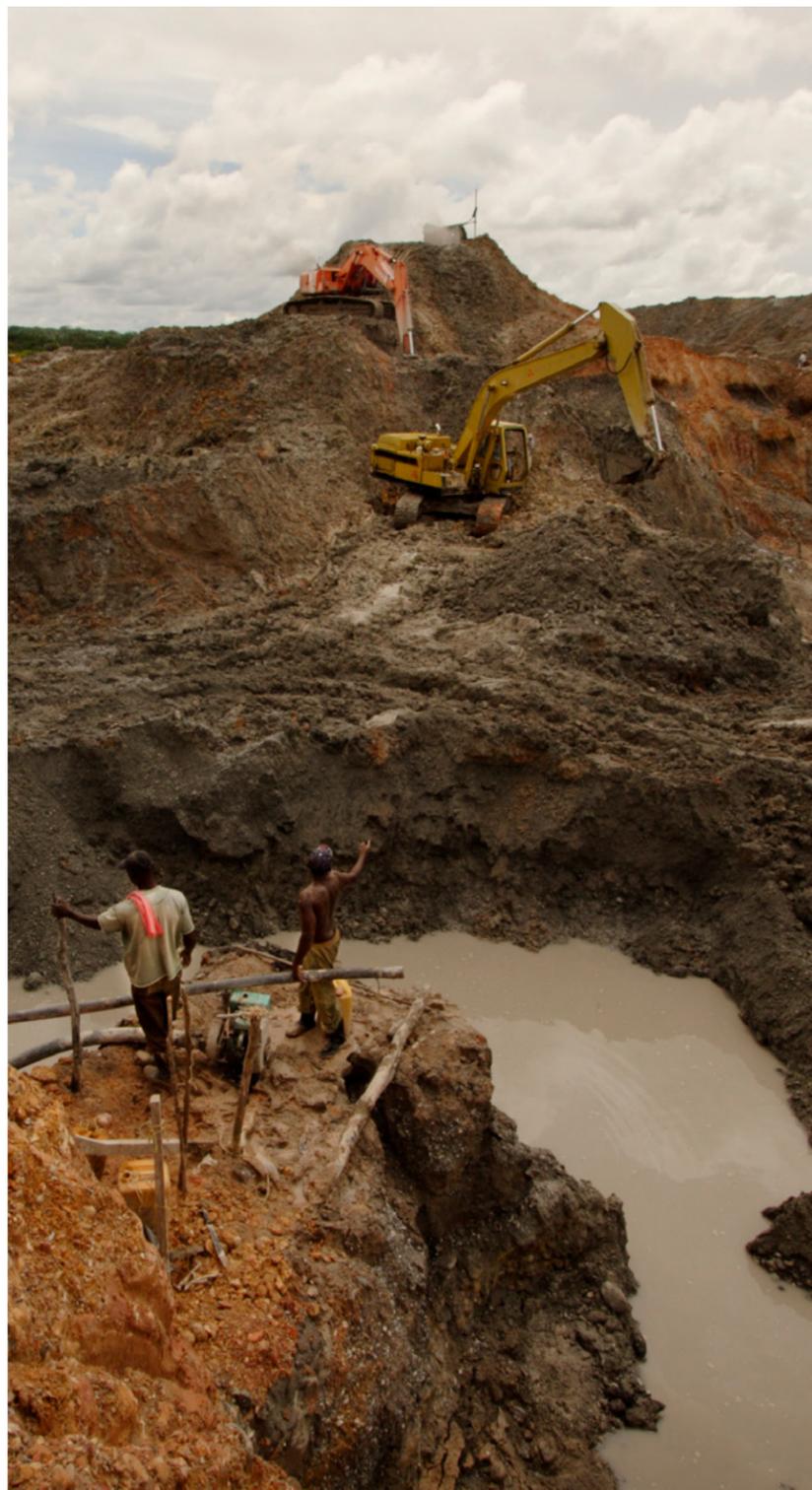
Monitor: Práctica minera de usar un chorro de alta presión contra un barranco o contra una pila de mineral para movilizar el material hacia canales, en los cuales se hace

una primera separación de metales preciosos, un primer concentrado.

Elevador Hidráulico: Los elevadores de tierra son utilizados para arrancar y transportar material aluvial a un nivel que permita su lavado y concentración ya que el terreno no tiene la pendiente suficiente para que los efluentes mineros se evacúen. Son usados frecuentemente para explotación de lugares inundados, en la minería de retroexcavadora y dragas (o dragones) del Pacífico.

Para febrero de 2019 en la región del Chocó Biogeográfico habían 841.826,9 ha sujetas a títulos mineros. Sin embargo, el otorgamiento de títulos a foráneos no explica el auge de la explotación irracional e informal, ya que no son esos titulares mineros quienes promueven la minería mecanizada ilegal; más bien los titulares legales resultan incapaces de desarrollar sus títulos mineros por la expansión del conflicto armado y las redes criminales en este territorio, en torno del negocio minero mediante la extorsión, financiamiento y control sobre la cadena productiva de metales preciosos (Massé y Munevar, 2016).

El gran auge y la presión sobre los recursos minerales del Chocó Biogeográfico se incrementó así, de modo importante a mediados de los años ochenta cuando llegaron inversionistas del interior del país con equipos y maquinaria pesada, como retroexcavadoras, que desplazaron a los sistemas artesanales y semimecanizados asimilados por las familias mineras afrocolombianas, quienes no hicieron tránsito a la mecanización completa, sino que



involucionaron al barequeo detrás de las retroexcavadoras. Más recientemente han llegado las dragas (o dragones como se denominan localmente) operadas con frecuencia por brasileños (Quinto, 2011). Ya para el año 2006, el departamento del Chocó, era el segundo productor de oro a nivel nacional pasando de 1.192,29 kilogramos de oro a 8.138,11 kilogramos en el 2017⁷, con un pico de 27.915,13 kilogramos en el 2011.

La minería de retroexcavadoras y dragas, con su gran capacidad de movimiento de material, y su modus operandi regido por la ilegalidad, la extorsión, el control de las cadenas productivas mineras y la corrupción (Massé y Munevar, 2016; Defensoría del Pueblo, 2014; Tierra Digna, 2016), es la principal responsable de la destrucción de muchos ríos y de los yacimientos de los mineros ancestrales, reduciendo la oferta de minas apropiadas para la minería de las comunidades (Testimonios de los talleres con las comunidades, 2015 y 2016).

Este tipo de minería también ha generado desplazamientos, amenazas y violaciones de los derechos de las comunidades, ha causado cambios preocupantes en sus valores sociales, además de obstruir los procesos de fortalecimiento organizativo y de gobierno propio de los

⁷ Dato tomado de la sección de "Cifras del Sector Minero" Ministerio de Minas y Energía disponible en: https://www.minminas.gov.co/documents/10192/23966843/270218_produc_expo_metal_precio_2017.pdf/05fa40d4-91bc-4d85-9ea3-22f73c84ebf4 [Acceso 4/03/2019]

Consejos Comunitarios, generando divisiones internas y sometiendo a las comunidades y mineros a las reglas de los actores armados en casi todo el territorio (Perafán, 2013; Tierra Digna, 2016).

En ese sentido preocupa el cobro de extorsiones y el involucramiento de actores armados en la cadena de comercialización y financiamiento. Algunos de ellos están articulados con cultivos de uso ilícito y han expandido sus negocios a la extorsión de mineros y al comercio de metales preciosos, causando graves impactos ambientales, sociales y de gobernanza (Perafán, 2013; IIAP, 2014; Massé y Munevar, 2016). Uno de los desafíos principales para el Chocó Biogeográfico en el posacuerdo que se está llevando a cabo, es cómo las autoridades y los Consejos Comunitarios están intentando recobrar el control sobre la producción y comercialización responsable y trazable de metales preciosos en esta región. De ahí la importancia de considerar que el Estado tenga una presencia más visible y continuada en el Pacífico y otorgue herramientas para que los Consejos Comunitarios puedan administrar estos territorios de manera efectiva.

Se prevé que las dinámicas de crecimiento y producción minera continuarán en el mediano y largo plazo⁸ y es poco probable que los departamentos y municipios mineros del Pacífico estén en capacidad de poner freno a la minería, actividad

⁸ 30% de alza en el precio del oro en a julio de 2016, y expectativas de alza continuada como resultado del Brexit. En: Hablemos de minería Julio 6/2016 en: http://hablemosdemineria.com/2016/07/07/comprar-oro-mejor-voltee-las-mineras/22_preciosmetals/



que les reporta el mayor valor agregado. Ante las proyecciones de altos precios del oro, la gran debilidad de gestión y control de la minería ilegal por parte del Estado en todo el Chocó Biogeográfico representa una amenaza real para la integridad del Chocó Biogeográfico, para sus comunidades étnicas y su diversidad. La presencia del Estado, tanto en el control efectivo de la minería ilegal, como en el apoyo a los Consejos Comunitarios para la gobernanza de los territorios colectivos, es fundamental.

Si el Estado no actúa de manera efectiva y oportuna, especialmente en esta etapa del posacuerdo con las Fuerzas Armadas Revolucionarias de Colombia (FARC), para implementar un plan de formalización apropiado para el Chocó Biogeográfico, el impacto negativo sobre la biodiversidad, los ecosistemas y las comunidades será considerable, y en algunos casos, irreversible.

Adicionalmente, la pacificación de toda esta región, si se logra un eventual acuerdo con el ELN y otros grupos armados ilegales, puede potencialmente aumentar la presión de inversionistas y titulares mineros de mediana y gran escala sobre las áreas estratégicas mineras en el Pacífico (ANM, 2012). Ello demanda del Estado garantizar procesos de toma de decisiones que cumplan con la Consulta Previa y protejan el ejercicio de los derechos colectivos de los grupos étnicos del Pacífico (El Tiempo, 13/06/2016).

Actualmente es importante señalar que algunos mineros nativos han accedido a entables con retroexcavadoras, ya sea por vía de créditos directos o por vía de la administración de entables de foráneos (Halcías Ayala, comunicación personal, noviembre 2016). Varios de ellos tienen en trámite solicitudes de títulos mineros que aún esperan

respuesta de la Autoridad Minera (Comunicación personal Claudio Quejada Mena, abril 2016).

Durante los talleres con mineros en el Pacífico y salidas de campo se hizo evidente que algunos mineros nativos que han montado entabes de retroexcavadora tienen mucho interés en formalizarse y definir lineamientos de buenas prácticas mineras para dichas minas, así como producir oro y platino de modo responsable y legal, que les permita acceder a sistemas de certificación y mercados verdes internacionales (Talleres, entrevistas y visitas de campo 2015-2016).

Enfoque para la gestión territorial de la minería

Una de las principales razones para una amplia gama de prácticas mineras del pueblo afrodescendiente es la variedad de yacimientos de metales preciosos en el Chocó Biogeográfico. Debido a lo restringido

que son los estudios geológicos en esta zona por su carácter privado o simplemente por la inexistencia de estos, los mineros ancestrales en su devenir histórico en el territorio son quienes han ido identificando el tipo de lugares donde están los yacimientos de oro y platino. De hecho, los mineros ancestrales son los “exploradores descalzos” de la gran minería, ya sea de retroexcavadora o aun de mayor calado. En general la explotación tradicional se ha desarrollado en depósitos aluviales o paleoaluviones, que constituyen las terrazas a lado y lado del río.

La falta de estudios rigurosos de prospección y exploración representa uno de los mayores limitantes para desarrollar una minería responsable en el Pacífico, que garantice la conservación de los ecosistemas, del territorio y los derechos de los grupos étnicos que allí habitan.



Oro Chocoano producto de un mes de trabajo con un valor aproximado de 4000 dólares ©Ronald de Hommel

Por otra parte existen proyectos mineros industriales como el de la empresa Miner S.A. que corresponde a la única explotación de Cobre del país, localizada en el municipio de Carmen de Atrato, en donde se explota este metal por métodos subterráneos; las implicaciones ambientales y las necesidades de ajuste de los términos de referencia para mejorar este tipo de prácticas se analizarán en este documento.

La geología y el origen del oro en el territorio

Los metales preciosos como oro, platino y plata que son extraídos en los aluviones del Pacífico, vienen siendo erosionados por la fuerza del agua de la “roca madre” en yacimientos primarios que forman las montañas de la Cordillera Occidental desde hace 15 millones de años. Arrancados por la fuerza del agua y por los eventos telúricos del levantamiento de la Cordillera Occidental, han bajado por quebradas y ríos para finalmente depositarse en los lechos, terrazas y abanicos aluviales del andén Pacífico, formando yacimientos llamados secundarios, aluviales o placeres.

“Los depósitos aluviales cuaternarios que constituyen la mayor parte de material que se beneficia, están compuestos de guijarros en matriz arenosa pobremente seleccionada; estos varían entre 5 y 20 cm de diámetro y conforman cerca del 70 % del depósito. En general son bien redondeados, y consisten en dioritas, gabros, basaltos, andesitas, pórfidos andesíticos, chert, cuarzo lechoso

y esporádicamente se encuentran piroxenos” (EOT, Tadó 2000-2009, citado por Quinto, 2011).

Estos depósitos al haber sido arrasados por la acción fluvial no son estratos o capas continuas del mismo grosor sobre áreas extensas, sino que son dispares y discontinuos, siguiendo las rutas del agua. Saber ubicar estos yacimientos es todo un arte en el cual se mezcla la observación paciente con la creencia de que el oro tiene “vida”:

“En la cosmovisión de los mineros artesanales, el oro es concebido como una entidad viviente, que puede “aparecer” o “desaparecer”, que cambia de lugar...-El oro camina con la jagua, la jagua no camina sola ni el oro tampoco... El oro es muy vivo, puede pasar mucha agua, pero no se va, se va quedando asentado, se va lo menudito. El oro si camina yo

no lo he visto, pero si uno llega y cogió aquí y no cogió nada, ¿por qué coge más adelante?, es porque de aquí ya se corrió más allá. Hay gente que ha visto el oro andando, se para de filo dicen los que los que lo han visto y camina uno detrás de otro como la hormiga arriera-” (Fragmento HV, Minero artesanal de 77 años, en: Quinto, 2011).



“El oro en la tierra anda, uno no entiende los misterios de la vida, porque uno saca el oro y parece que se hubiera acabado, y después llega otro y encuentra, eso es una base que el oro anda (camina)”.

Juan Waldino Mosquera, minero de Manungará (Palacios, 2006:3).

Aparte de los metales que se encuentran en polvo, en “chispitas” y en “chicharrones” entre las gravas de estos lechos, terrazas antiguas y playas, existe en muchas zonas de Pacífico, un estrato de minerales de color grisáceo, ubicado hasta los 15 metros de profundidad, que tiene mayor antigüedad. Estos depósitos fueron traídos por el agua y por grandes deshielos de la cordillera Occidental. Allí se encuentran los principales depósitos de oro y platino en el Chocó Biogeográfico.

En resumen, el oro, el platino y la plata que aprovechan las comunidades se presentan en los siguientes tipos de lugares:

- En acumulaciones de gravas aluviales (de río) de color gris.
- En depósitos arcillosos de color rojo o pardo.
- En lechos fosilizados de color grisáceo (llamados caliche), que en algunas zonas se encuentran “colgados” en terrazas antiguas de los ríos a 20 metros o más de altura sobre el lecho actual de los ríos, y en otras se encuentran al nivel actual, como en la cuenca del Alto San Juan, Timbiquí, Iscuadé y Telembí, entre otros.
- También se encuentran en extensos depósitos dejados por flujos piroclásticos (nubes volcánicas) originados en la actividad volcánica antigua de la cordillera occidental, como en la llanura de Atrato – San Juan (Ayala et al. 2005:44).

Son estos depósitos superficiales, hallados en ríos, quebradas y playas antiguas los que han permitido durante muchos siglos el aprovechamiento simplificado con herramientas manuales, con técnicas como el mazamorreo, el zambullidero y las minas de agua corrida. Estas prácticas ancestrales conllevan saberes culturales sobre la geología y la minería, que aún persisten entre las comunidades afrodescendientes.

Los depósitos más profundos, hasta de 15 metros de profundidad, han sido aprovechados utilizando técnicas de minería subterránea como el hoyadero, los guaches (o cúbicos) y los timbos (voz Yurumanguí), es decir con pozos y socavones, como minería subterránea. Recientemente, también las retroexcavadoras



Perfil de un aluvión auroplatinífero en la Quebrada Las Ánimas (Condoto, Chocó, Colombia). Nótese la capa vegetal arriba y la capa gris oscura en la base con metales preciosos. ©C. Echavarría (2016)

han excavado grandes áreas en la búsqueda de este estrato, destruyendo de paso los depósitos de los mineros y mineras tradicionales y dejando graves impactos ambientales, sociales, culturales y de gobernanza en el Chocó Biogeográfico.

En la cordillera permanecen los grandes yacimientos polimetálicos que dan origen a los metales del andén Pacífico. Yacimientos cuya explotación en las cabeceras principales de los ríos del Pacífico requerirían de una tecnología muy compleja y de una gestión socioambiental muy costosa, dado los altos riesgos de operar minas industriales modernas en un ecosistema tan húmedo y diverso como el del Pacífico (Wokitel, 1961).



Minería subterránea de metálicos: Caso mina Carmen de Atrato

Con el fin de formular lineamientos específicos de seguimiento relacionados con los componentes de geoquímica y gestión del riesgo de desastres y fortalecer los procedimientos de seguimiento ambiental ejecutados por las autoridades ambientales a proyectos de minería subterránea de metálicos se tomó como referencia un estudio efectuado en el marco del proyecto a la mina subterránea de Cobre localizada en el municipio de Carmen de Atrato, evaluando la gestión ambiental de la empresa así como de los seguimientos efectuados por parte de las autoridades ambiental y minera y, a partir de esto, proponer ajustes para mejorar esta gestión.



Introducción

Las actividades de minería subterránea de metálicos en la fase de explotación incluyen la disposición final de sobrantes de mina, los vertimientos directos a cuerpos de agua y el avance del frente de explotación. A pesar de que estas actividades están contempladas dentro de la licencia ambiental, deben ser objeto de control y seguimiento con una frecuencia específica, tanto por parte del titular de la mina, como por parte de la autoridad ambiental competente, con el fin de prevenir afectaciones generadas por fallas geotécnicas o imprevistos propios de este tipo de actividades, tales como colapso en las bocaminas o en los diques de relaves. Estas son

eventualidades que no sólo pueden comprometer la funcionalidad de los ecosistemas, sino que, principalmente pueden generar afectaciones a los asentamientos humanos localizados dentro del área de influencia del proyecto minero, como sucedió en dos ocasiones en Brasil, en los municipios de Bento Rodrigues en 2015 y de Brumadinho en 2019.

La mina El Roble, localizada en la Cuenca Alta del río Atrato, en el municipio de El Carmen de Atrato (Chocó), es la única mina de cobre en explotación subterránea en Colombia. La Corporación Terrae, en convenio con WWF (IE89 y DU31), elaboró un concepto técnico para

identificar los impactos principales de esta mina y proponer ajustes a los términos de referencia para los seguimientos de autoridades mineras y ambientales en sus Planes de Trabajos y Obras (PTO) y Planes de Manejo Ambiental (PMA).

En el marco de dicho concepto técnico, se identificaron procesos de movimientos en masa activos en las estructuras de las presas de relaves y en el área de influencia de las mismas, los cuales comprometen su estabilidad a corto y mediano plazo, generando así condiciones de riesgo a la población localizada aguas abajo de estas estructuras, tanto por movimiento de masas como por avenidas torrenciales (por las características hidrológicas y morfométricas) del cauce de la quebrada. Esto demuestra la necesidad de avanzar en la conceptualización y ejecución de acciones de seguimiento y control de las actividades de minería subterránea y sus medidas de manejo y control, las cuales son competencia de las autoridades mineras y ambientales, en términos de gestión de riesgo de desastres, planteada en la Ley 1523 de 2012⁹ y en los decretos reglamentarios mineros y ambientales.

Adicionalmente, a partir de información suministrada por Codechocó, por *Atico Mining Corporation* (Miner S.A) e información primaria, Terrae identificó significativos incrementos en parámetros como la conductividad, contenido de sólidos, concentración de sulfatos y concentración de metales pesados y metaloides

⁹ Por la cual se adopta la política nacional de gestión del riesgo de desastres y se establece el Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres

(zinc, cromo, plomo y arsénico) en el río Atrato, aguas abajo de la mina, y en el área intervenida de la quebrada El Roble. Los parámetros físico-químicos del agua y del suelo son buenos indicadores de los procesos relacionados con cambios en los ecosistemas, como la exposición en superficie de grandes volúmenes de roca que en un principio se encontraban en el subsuelo. Dependiendo de la composición mineralógica y geoquímica de las rocas que están siendo expuestas, se pueden liberar y movilizar, en las aguas superficiales y subterráneas, especies químicas que pueden llegar a ser tóxicas para el ser humano o los ecosistemas. Estos efectos geoquímicos requieren de énfasis en las actividades de seguimiento a minería subterránea de metálicos.

Adicionalmente, en dicho estudio, se identificó la necesidad de reforzar el control y seguimiento de la actividad minera, particularmente de la minería subterránea de metálicos. Esta consideración se basa en los análisis realizados a partir de información suministrada por la empresa minera y las autoridades competentes (Codechocó y la Agencia Nacional de Minería – ANM) y el levantamiento de información primaria en campo, concluyendo que existe debilidad en los términos de referencia bajo los cuales se expide el licenciamiento ambiental, así como en las actividades de seguimiento y control que las autoridades llevan a cabo durante la etapa de explotación.



Alcance

Los lineamientos que se describen a continuación, son resultado del análisis detallado realizado a los productos del convenio WWF y la Corporación TERRAE (IE89 y DU31), en los que se identificaron puntos críticos que deben ser parte del proceso de seguimiento y control de la minería subterránea de metálicos.

El objetivo es prevenir escenarios de riesgos de desastres que afecten a la población del área de influencia directa de la explotación minera, especialmente en aquellas zonas donde se localizan los diques de relaves y sistemas de conducción, elementos de estudio en el documento anteriormente referido. Se debe tomar como marco de referencia la Ley 1523 de 2012, por la cual se adopta la política nacional de gestión del riesgo de desastres y se establece el Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres.



La actividad minera es considerada en la legislación colombiana como una actividad que genera alto impacto sobre el ambiente, razón por la cual, es objeto de licenciamiento ambiental; en este aparte se plantea una propuesta para avanzar hacia la identificación y caracterización de la actividad minera, como una *amenaza socio-natural*¹⁰, con-

siderando que la falla de alguno de los elementos que conforman la actividad, especialmente en la fase de explotación y cierre, como estructuras de contención y taludes de las presas de relaves, pueden representar un peligro para la vida y seguridad de la población a corto, mediano y largo plazo.

¹⁰ Ley 1523 de 2012

Conceptualización

Gestión del riesgo de desastres. Amenazas socio-naturales identificadas

La construcción de lineamientos referentes a la gestión del riesgo, se realiza con base en lo estipulado en la Ley 1523 de 2012, tomando como base, las definiciones y alcance planteados por dicha ley, señaladas a continuación:

“Gestión del riesgo: Es el proceso social de planeación, ejecución, seguimiento y evaluación de políticas y acciones permanentes para el conocimiento del riesgo y promoción de una mayor conciencia del mismo, impedir o evitar que se genere, reducirlo o controlarlo cuando ya existe y para prepararse y manejar las situaciones de desastre, así como para la posterior recuperación, entendiéndose: rehabilitación y reconstrucción. Estas acciones tienen el propósito explícito

de contribuir a la seguridad, el bienestar y calidad de vida de las personas y al desarrollo sostenible”

“Alerta: Estado que se declara con anterioridad a la manifestación de un evento peligroso, con base en el monitoreo del comportamiento del respectivo fenómeno, con el fin de que las entidades y la población involucrada activen procedimientos de acción previamente establecidos”.

“Amenaza: Peligro latente de que un evento físico de origen natural, o causado, o inducido por la acción humana de manera accidental, se presente con una severidad suficiente para causar pérdida de vidas, lesiones u otros impactos en la salud, así como también daños y pérdidas en los bienes, la infraestructura, los medios de sustento, la prestación de servicios y los recursos ambientales”.

“Análisis y evaluación del riesgo: Implica la consideración de las causas y fuentes del riesgo, sus consecuen-

cias y la probabilidad de que dichas consecuencias puedan ocurrir. Es el modelo mediante el cual se relaciona la amenaza y la vulnerabilidad de los elementos expuestos, con el fin de determinar los posibles efectos sociales, económicos y ambientales y sus probabilidades. Se estima el valor de los daños y las pérdidas potenciales, y se compara con criterios de seguridad establecidos, con el propósito de definir tipos de intervención y alcance de la reducción del riesgo y preparación para la respuesta y recuperación”.

“Emergencia: Situación caracterizada por la alteración o interrupción intensa y grave de las condiciones normales de funcionamiento u operación de una comunidad, causada por un evento adverso o por la inminencia del mismo, que obliga a una reacción inmediata y que requiere la respuesta de las instituciones del Estado, los medios de comunicación y de la comunidad en general”.





Geoquímica de suelos, agua y rocas

Como factores determinantes para ser tenidos en cuenta en las evaluaciones mineras se consideran:

Drenaje ácido de minería (DAM):

Efluente de agua ácida de minas de metálicos. Generación de acidez, a partir de la exposición al agua y aire de las rocas y materiales de exca-

vación, como consecuencia de la oxidación de sulfuros metálicos (con frecuencia pirita y sulfuro de hierro).

Lixiviación de metales (LM): Proceso de extracción de un elemento a partir del mineral que lo contiene, a través de su transformación en sales solubles mediante procesos naturales o artificiales. Alta lixiviación es asociada a drenajes ácidos, debido

a la solubilidad de los metales en pH menores a 5,5. Sin embargo, pH neutros no necesariamente previenen la lixiviación de metales, por ejemplo, mientras que la solubilidad de aluminio, hierro y cobre disminuye en pH neutros, elementos como antimonio, arsénico, cadmio, molibdeno, selenio y zinc son solubles y pueden presentarse en concentraciones significativas.

Ámbito internacional

En el ámbito internacional se plantea la necesidad de efectuar caracterizaciones geoquímicas más detalladas respecto a las que han venido siendo usadas para evaluar los impactos de la minería y así plantear acciones más adecuadas para su manejo y control.

Es así como, según el manual para la evaluación de impactos ambientales de la minería, publicado por la Alianza Mundial de Derecho ambiental¹¹, hay una serie de requerimientos de caracterización geoquímica que deben ser tenidos en cuenta para efectuar una de caracterización geoquímica detallada, indicando que se debe:

“Caracterizar la geología y mineralogía de las rocas en el lugar a ser intervenido, incluyendo la determinación del tipo de roca, alteración, mineralogía primaria y secundaria, disponibilidad de minerales capaces de producir ácido y neutralizar y metales que pueden lixivarse”.

“Caracterizar la ubicación y dimensiones de zonas oxidadas y no oxidadas para todo tipo de desechos, paredes del tajo y trabajos subterráneos. Y realizar una prueba de escala de referencia del mineral, lo cual involucra la creación de relaves y/o materiales de lixiviados en un laboratorio.” (AMDA, 2010; p.44).

¹¹ Guidebook for Evaluating Mining Project EIAs. Alianza Mundial de Derecho Ambiental (2010)

Con relación a la identificación de posibles contaminantes dicho manual, indica que se debe efectuar una descripción de los materiales intervenidos en las actividades mineras, así como las predicciones cuantitativas de las concentraciones de contaminantes de interés (por ejemplo, arsénico, plomo, cadmio, níquel, cromo y mercurio) en el agua, con el objeto de anticipar las liberaciones al ambiente.

“Estas predicciones cuantitativas deben usarse para anticipar los cambios en la calidad de las aguas subterráneas y superficiales causadas por el proyecto minero.” (AMDA, 2010; p. 46).

Para suelo, se recomienda llevar a cabo la caracterización, análisis y evaluación del estado inicial (sin proyecto), incluida la evaluación del grado de contaminación con base en información primaria y secundaria.

Para sedimentos activos, se presentan de manera clara las exigencias, considerando que, en las mediciones en agua, no siempre se identifica la presencia total de las sustancias químicas disponibles, ya que muchas se quedan sedimentadas en los fondos del cauce.

Con relación al muestreo, el Manual plantea que los puntos de colecta de material sean coincidentes con los puntos donde se ha adelantado la caracterización de vertimientos y que sean medidos en los sedimentos, al menos, zinc, cobre, cromo, níquel, mercurio, plomo, selenio, vanadio, cadmio y bario. Sin embargo, se debe aclarar que es necesario revisar las concentraciones químicas prome-

dio en roca y suelo para establecer, si se requiere, la medición de otras sustancias, considerando las particularidades geológicas o paragénesis de las rocas de la zona minera.

Por su parte, en el documento de lineamientos para el drenaje de rocas ácidas en las minas de Columbia Británica¹² se indican políticas y procedimientos para predecir, prevenir, mitigar y contener lixiviación de metales (LM) y drenaje ácido de mina (DAM), bajo los siguientes principios:

Habilidad e intención: Un proponente de una mina debe demostrar que tiene el conocimiento, la capacidad técnica, los recursos y la intención de operar de manera que proteja el ambiente.

Condiciones particulares: La regulación se basa en que cada mina tiene sus condiciones geológicas y ambientales particulares y, por tanto, el potencial de LM y DAM debe evaluarse teniendo en cuenta esas condiciones específicas.

Programa de LM/DAM: Siempre que se requiere de la excavación y exposición de materiales¹³, el proponente es responsable de desarrollar e implementar un programa de LM/DAM. El programa debe incluir estrategias de predicción, prevención, mitigación y monitoreo.

¹² Guidelines for metal leaching and acid rock drainage at minesites in British Columbia. Ministry of Energy and Mines (1998).

¹³ La cantidad mínima de material removido para el cual es necesaria la predicción de ML/DAM es de 1000 t. Sin embargo, este volumen mínimo debe ser reducido si se trata de material altamente reactivo dispuesto cerca de un ambiente altamente sensible.

Predicción y prevención: El principal objetivo del programa es la prevención. Este objetivo se alcanza a través de la predicción, diseño e implementación de estrategias adecuadas de mitigación.

Contingencia: Trabajo adicional de mitigación o planes de contingencia serán requeridos cuando los planes existentes creen un riesgo inaceptable al ambiente, como resultado de la incertidumbre en la predicción o las medidas primarias de mitigación.

Principio de precaución: Condiciones regulatorias cauteloso-

sas, que se basen en asunciones conservadoras, que deben ser aplicadas cuando la evaluación de LM/DAM o el conocimiento sea deficiente.

Garantía: La evaluación de LM/DAM debe ejecutarse de una forma que minimice el riesgo ambiental y garantice que el Estado no tendrá que pagar los costos de la mitigación.

Seguridad financiera: Como condición de la autorización para realizar minería, un seguro financiero debe ser requerido para asegurar los fondos para cubrir las obligaciones, como, por ejemplo, los costos

a largo plazo por monitoreo, mantenimiento, mitigación, colecta y tratamiento de aguas contaminadas.

Como se indica en los dos documentos referidos la caracterización geoquímica más detallada es necesaria para procurar tomar medidas de manejo consistentes con los impactos previstos, aún más cuando las transformaciones geoquímicas ocurren en el trópico, en donde las condiciones de meteorización se acentúan en virtud de diversas variables como precipitación y temperatura.



Ámbito nacional

En el ámbito nacional se tomaron como referencia cuatro documentos que plantean perspectivas sobre el licenciamiento ambiental relacionado con minería, que son:

- Manual de seguimiento ambiental de proyectos. Ministerio del Medio Ambiente. Criterios y procedimientos (2002)
- Términos de referencia para la elaboración del estudio de impacto ambiental –(EIA) de proyectos de explotación minera (ANLA, 2016)
- Evaluación de operaciones de las Corporaciones Autónomas Regionales (CAR) y de Desarrollo Sostenible (CDS), que mida la capacidad con la que cuentan para lograr sus objetivos y proponer acciones de mejora para el fortalecimiento integral de las mismas y el mejoramiento de la gestión ambiental en el país (DNP, 2016).
- Productos “Convenio IE-89. Corporación Geoambiental TERRAE – World Wildlife Fund. “Elaborar concepto técnico sobre impactos físicos de la explotación minera en el Alto Atrato” (2017)

En el Manual de seguimiento ambiental de proyectos (Ministerio del Medio Ambiente, 2002)¹⁴ se plantearon criterios y procedimientos para la evaluación y seguimiento de la actividad minera que debían ser adoptados por los equipos

¹⁴ Manual de seguimiento ambiental de proyectos. Ministerio de Ambiente y Vivienda Sostenible. Criterios y procedimientos (2002)



técnicos encargados, procurando disminuir o eliminar la discrecionalidad y estableciendo los aspectos más relevantes para ser objeto de revisión. Se establecieron: *i)* Responsabilidades del equipo encargado del seguimiento ambiental, *ii)* Criterios y condiciones para priorizar las visitas de seguimiento y su clasificación, *iii)* Definición del proceso general de evaluación del impacto ambiental del proyecto, *iv)* Flujograma técnico y/o equipo para el seguimiento ambiental del proyecto y, *v)* Formatos de evaluación y seguimiento.

Posteriormente, la Autoridad Nacional de Licencias Ambientales ANLA incluyó en los términos de referencia de proyectos de explotación minera (ANLA, 2016)¹⁵ la necesidad de contar con un programa de manejo ambiental, un Plan de seguimiento y monitoreo, un Plan de gestión del riesgo y el Plan de desmantelamiento y abandono.

Un documento de referencia que se consideró necesario tener en cuenta fue la evaluación efectuada por el DNP a las operaciones de las CAR para determinar su capacidad (DNP, 2016)¹⁶ que procuró establecer las

¹⁵ Términos de referencia para la elaboración del estudio de impacto ambiental –(EIA) de proyectos de explotación minera (ANLA, 2016)

¹⁶ Evaluación de operaciones de las Corporaciones Autónomas Regionales (CAR) y de Desarrollo Sostenible (CDS), que mida la capacidad con la que cuentan para lograr sus objetivos y proponer acciones

condiciones con que cuentan las autoridades ambientales regionales para cumplir adecuadamente con sus funciones y se analizó este aspecto frente a la minería. El DNP describe los resultados arrojados por la evaluación de capacidades, a través del Indicador Compuesto de Capacidad Institucional (ICCI), el cual demuestra las diferencias existentes entre las corporaciones en términos de: *i)* la estructura organizacional y distribución de funciones; *ii)* la capacidad física; *iii)* la capacidad financiera; *iv)* las políticas de personal y gestión de talento humano; *v)* la planificación, coordinación y administración del territorio; *vi)* la autoridad ambiental y; *vii)* la ejecución de programas y proyectos de inversión.

El último documento de referencia fue el resultado de la consultoría efectuada por la Corporación Geoambiental TERRAE para WWF relacionado con la evaluación ambiental de aspectos físicos de la explotación minera en el alto Atrato (TerraE, 2017)¹⁷ que efectuó una caracterización de la operación minera de cobre en Carmen de Atrato e hizo recomendaciones con base en la información recolectada.

de mejora para el fortalecimiento integral de las mismas y el mejoramiento de la gestión ambiental en el país (DNP, 2016)

¹⁷ Productos “Convenio IE-89. Corporación Geoambiental TERRAE – World Wildlife Fund. “Elaborar concepto técnico sobre impactos físicos de la explotación minera en el Alto Atrato” (2017).

Consideraciones

Puntos críticos identificados en el concepto técnico de seguimiento

En el concepto técnico sobre la mina de metálicos subterránea “El Roble”- Convenio WWF y la Corporación TERRAE (IE89 y DU31)- se identificaron aspectos sensibles, o críticos, en relación con la gestión del riesgo, que deben ser objeto de especial atención en el proceso de seguimiento ambiental (Tabla 1).

Tabla 1 -Puntos críticos identificados con base en el concepto técnico de TERRAE (2017)-

Procesos de gestión de riesgo de desastres. Ley 1523 de 2012	Puntos críticos identificados – Concepto técnico Mina El Roble (Chocó)
<p>Conocimiento</p> <p>Numeral 7, Artículo 4.</p> <p><i>“(…) proceso de la gestión del riesgo compuesto por la identificación de escenarios de riesgo, el análisis y evaluación del riesgo, el monitoreo y seguimiento del riesgo y sus componentes y la comunicación para promover una mayor conciencia del mismo que alimenta los procesos de reducción del riesgo y de manejo de desastre”.</i></p>	<p>En área de influencia directa – Laderas naturales y cuerpos de agua lóticos.</p> <p>Carencia de información relacionada con las características geológicas, geomorfológicas, hidrológicas, hidráulicas y geotécnicas, que permitan establecer si el área donde se localizan las estructuras del sistema de relaves (dique y sistema de conducción), corresponde a una zona de amenaza alta, media o baja por movimientos en masa, avenidas torrenciales o inundaciones.</p> <p>Lo anterior, consecuentemente, limita el conocimiento del nivel de vulnerabilidad y riesgo en el que se encuentra la población localizada aguas abajo del sistema de relaves, ante la falla o colapso de éste. Es decir, se desconocen las condiciones de amenaza y/o riesgo por movimientos en masa, avenidas torrenciales o inundaciones, en el área donde se localizan los sistemas de relaves.</p> <p>En las presas de relaves</p> <p>Ausencia de información relacionada con las condiciones de estabilidad de taludes de las presas de relaves (factores de seguridad, condiciones de saturación, propiedades geotécnicas, entre otros). Así como de los procesos de movimientos en masa y socavación, que presentan las presas de relaves.</p> <p>Carencia de instrumentación geotécnica que permita medir y controlar los niveles de deformación, esfuerzos y saturación de los taludes que conforman las presas de relaves.</p> <p>En el área de estudio, no se encontró información referente a los niveles limnimétricos que permitan medir las variaciones de la altura de la lámina de agua en los cuerpos de agua localizados en cercanía a las presas de relaves.</p>
<p>Reducción</p> <p><i>“(…) medidas de mitigación y prevención que se adoptan con antelación para reducir la amenaza, la exposición y disminuir la vulnerabilidad de las personas, los medios de subsistencia, los bienes, la infraestructura y los recursos ambientales, para evitar o minimizar los daños y pérdidas en caso de producirse los eventos físicos peligrosos”.</i></p>	<p>Ausencia de medidas correctivas por parte del responsable de la licencia ambiental, frente a los eventos de movimientos en masa y de socavación identificados en campo (TERRAE, 2017a).</p> <p>Inexistencia de mecanismos de protección financiera, que realicen retención intencional o transferencia del riesgo que establecen en forma <i>ex ante</i>, con el fin de acceder de manera <i>ex post</i> a recursos económicos oportunos para la atención de emergencias y la recuperación (numeral 19, artículo 2, Ley 1523 de 2015).</p> <p>Ausencia de intervenciones prospectivas, que prevengan nuevas situaciones de riesgo a través de acciones de prevención.</p> <p>Carencia de planes de contingencia frente a un evento de movimiento en masa o avenida torrencial, que afecte la estabilidad de las presas de relaves y/o a la población localizada aguas abajo, que involucren a los actores locales: gobernadores, alcaldes, consejo municipal de gestión de riesgos de desastres y comunidades.</p>

Fuente: Elaboración propia, a partir del Producto 4 TERRAE, 2017



Análisis comparativo – Corporaciones Autónomas Regionales Priorizadas

Con el fin de establecer el nivel de avance en materia de seguimiento y control a la minería de metálicos por parte de las corporaciones autónomas, se realizó un análisis de información secundaria disponible en tres corporaciones (incluida Codechocó), que fueron seleccionadas debido a que, dentro de su jurisdicción, se realiza la explotación subterránea de metálicos y además poseen indicadores de disponibilidad de recursos (IDRR¹⁸) y capacidad institucional (ICC¹⁹) contrastantes.

18 IDRR: Indicador de disponibilidad relativa de recursos (IDRR). Recursos financieros y humanos, para atender sus recursos naturales o sus factores de presión de uso o transformación. Porcentaje de 0% - 100% (DNP, 2019, Pág. 2)

19 ICC: Indicador Compuesto de Capacidad Institucional. indicador cubre siete dimensiones: i) la estructura organizacional y distribución de funciones, ii) la capacidad física, iii) la capacidad financiera, iv) las

El énfasis del análisis se realizó en los programas de control y seguimiento en las presas de relaves y sistemas de conducción (como elementos dentro de la actividad de explotación) que pueden configurarse en una amenaza socio – natural para la población localizada dentro del área de influencia directa del proyecto.

Los contrastes de capacidad institucional y de disponibilidad de recursos se reflejan en la información disponible de base con la que cuentan las autoridades en el momento de realizar el seguimiento de la actividad minera, que cuenta con licenciamiento ambiental dentro de su jurisdicción, así como, en la información relacionada con la zonificación de amenazas en su jurisdicción, como se describe en la Tabla 2.

políticas de personal y gestión de talento humano, v) la planificación, coordinación y administración del territorio, vi) la autoridad ambiental y, vii) la ejecución de programas y proyectos de inversión (DNP, 2018).

Consecuentemente, corporaciones con baja capacidad administrativa y financiera, carecen de información base (localización de títulos mineros, por ejemplo) para hacer el seguimiento a la actividad minera, e incluso a cualquier tipo de actividad que genere impactos sobre el agua, suelos y los ecosistemas; así como de los niveles de amenaza y/o riesgo en que se encuentra la población localizada dentro del área de influencia directa de dichos proyectos.

Por otra parte, corporaciones con altos valores de IDRR y ICC, como es el caso de las corporaciones seleccionadas Carder y CRQ, poseen información cartográfica disponible y abierta, que permite conocer, no solamente la ubicación de títulos mineros objeto de licenciamiento

ambiental, sino información temática, como mapa de pendientes, Pomcas, zonificación de amenazas, etc., indispensable para analizar las condiciones de susceptibilidad en que se encuentran las áreas con títulos mineros.

Tabla 2 - Análisis comparativo Corporación Autónomas Regionales - CAR priorizadas.

Corporación	Área (ha) aproximada.	No. Municipios	IDRR	ICC	Información disponible para realizar el seguimiento a los instrumentos ambientales
Codechocó	6.937.384	30	25,9%	33%	La información cartográfica oficial de la corporación no puede ser consultada en la web. No fue posible identificar si la corporación cuenta con información cartográfica donde se localicen los títulos mineros que cuentan con licencia ambiental. Según el documento - Producto3: "En el caso de la mina "El Roble", en la resolución No. 30 de 2001 de Codechocó se menciona la expedición de unos términos de referencia para el PMA de esta mina, pero durante la visita realizada a la Corporación y la revisión de las carpetas disponibles del expediente ambiental no fue posible encontrar dichos términos. Igualmente se revisó la página web de la Corporación (http://www.Codechocó.gov.co/) con el fin de buscar si existían algunos términos genéricos para minería, pero tampoco se encontraron."
CRQ - Quindío	710.490	24	100%	66%	Cuenta con un SIG disponible en línea para consultas. Cartografía temática, donde se localizan los títulos mineros que cuentan con licenciamiento dentro de su jurisdicción. Según información disponible en la página web de la corporación, ésta no cuenta con términos de referencia específicos para el seguimiento a licencias para minería de metálicos que contemplan presas de relaves.
Carder - Risaralda	1.045.199	33	100%	76%	La información cartográfica oficial de la corporación puede ser consultada y descargada directamente del portal de datos abiertos en formato <i>Shapefile</i> , <i>KML</i> , <i>KMZ</i> o <i>GeoJson</i> . La cartografía temática incluye mapas de pendientes, zonificación de amenazas, Pomcas y la localización de títulos mineros http://siae.carder.gov.co/suelo Según información disponible en la página web de la corporación, ésta no cuenta con términos de referencia específicos para el seguimiento a licencias para minería de metálicos que contemplan presas de relaves.

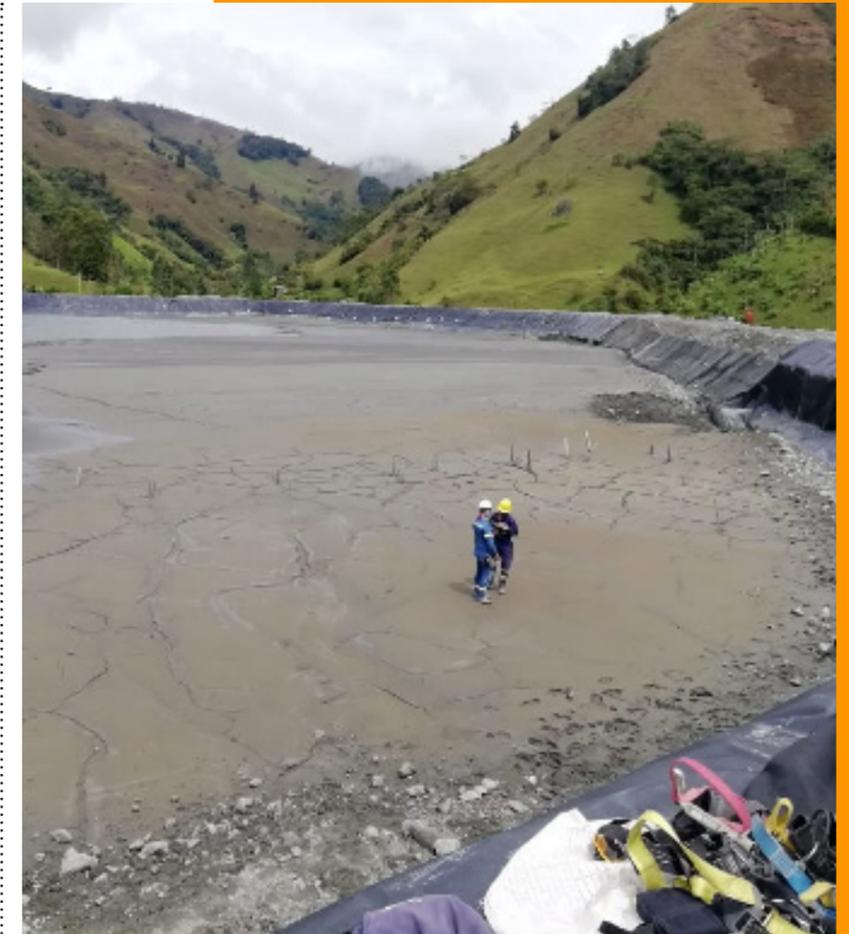
Fuente: Elaboración propia

Recomendaciones para gestión del riesgo

A continuación se proponen lineamientos específicos de seguimiento, relacionados con los componentes de gestión del riesgo de desastres, con el objetivo de fortalecer los procedimientos de seguimiento ambiental a proyectos de minería de metálicos. Estos lineamientos buscan ser útiles a las corporaciones con valores de IDRR o ICC bajos, como también a aquellas que cuentan con una capacidad técnica y financiera alta, lo que les permite contar con información actualizada y geoespacializada de los títulos mineros objeto de seguimiento y control ambiental. Se parte de las siguientes premisas:

Las acciones que se realicen en materia de gestión de riesgo de desastres, se deberán realizar en el marco de la Ley 1523 de 2012, razón por la cual las acciones que se desarrollen deben basarse en los principios de protección, precaución, gradualidad, coordinación, concurrencia y principio de oportuna información (artículo 2, Ley 1523 de 2012).

Las Corporaciones Autónomas Regionales como parte del Sistema Nacional de Gestión del Riesgo, "(...) Apoyarán a las entidades territoriales de su jurisdicción ambiental en todos los estudios necesarios para el conocimiento y la reducción del riesgo y los integrarán a los planes de ordenamiento de cuencas, de gestión ambiental, de ordenamiento territorial y de desarrollo.", según lo estipulado por el artículo 31 de la Ley 1523 de 2012.



Así mismo, el parágrafo 3 de este artículo señala:

“PARÁGRAFO 3o. Las corporaciones autónomas regionales como integrantes de los consejos territoriales de gestión del riesgo, en desarrollo de los principios de solidaridad, coordinación, concurrencia y subsidiariedad positiva, deben apoyar a las entidades territoriales que existan en sus respectivas jurisdicciones en la implementación de los procesos de gestión del riesgo de acuerdo con el ámbito de su competencia y serán corresponsables en la implementación”.

Los responsables de la explotación minera deberán elaborar análisis específicos de riesgo y planes de contingencia en los elementos que, por sus características, puedan significar riesgo de desastres para la sociedad (Artículo 42, Ley 1523 de 2012). Si bien en los TDR para elaboración de los EIA mineros se contemplan estudios de riesgos, se requiere que estas evaluaciones y zonificaciones de riesgo se realicen con escalas detalladas y siguiendo las metodologías más recientes.

Esta evaluación, se deberá realizar en escala mayor a la establecida en los términos de referencia ambientales, es decir escala 1:25.000. Se recomienda que se realice a escala 1:5.000 o mayor, y podrá realizarse durante la etapa de explotación de material, en el caso que la autoridad ambiental así lo considere. Para ello, se podrán seguir los insumos, metodologías y resultados definidos por el Decreto 1807 de 2014, hoy compilado en el Decreto 1077 de 2015.

El Ministerio de Ambiente debe elaborar términos de referencia específicos, ajustados a las condiciones de la corporación, en materia de seguimiento ambiental para la actividad minera de metálicos, especialmente relacionada con las presas de relaves y sistemas de conducción, ya que, en ninguna de las corporaciones priorizadas, se encontró información de referencia, donde se incluyan los aspectos anteriormente señalados.

Priorización de los proyectos mineros objeto de seguimiento prospectivo de gestión de riesgo

Para realizar esta priorización es necesario contar con la información relevante en materia de ordenamiento ambiental y desarrollo temático:

Recopilar información relacionada con la zonificación de amenazas, reporte de emergencia, Pomcas, POT y Planes Municipales de Gestión de Riesgo, entre otros, con el fin de identificar las condiciones de susceptibilidad o amenaza, en el caso de que exista la zonificación a escala 1:25.000 del área donde se localiza el proyecto minero, especialmente donde se localizan las presas de relaves.

En el caso en que se cuente con un profesional especializado en temas geográficos, geológicos, hidrológicos y/o geotécnicos en el equipo técnico de la corporación encargada del seguimiento y control de los instrumentos ambientales de los proyectos mineros, es posible identificar

procesos de movimientos en masa, inundaciones y avenidas torrenciales, a partir de imágenes satelitales gratuitas, dependiendo de la extensión y magnitud de los eventos. Lo anterior, con el fin de identificar si la explotación, especialmente las presas de relaves, se encuentran localizadas en áreas con condición de amenaza y/o riesgo por movimientos en masa, avenidas torrenciales o inundaciones.

Consolidar un sistema de información geográfica, donde se encuentre la cartografía base y temática relevante, entre otros, la localización del proyecto minero y los sistemas de relaves, cabeceras urbanas, centros poblados, viviendas rurales, e infraestructura vital (vías de acceso, bocatomas, etc.), aguas abajo del proyecto.

Esta base de datos puede visualizarse en una plataforma de acceso gratuito como Google Earth ® o en un Visor - SIG elaborado por la autoridad ambiental y/o la autoridad territorial, que posea imágenes satelitales de la mayor resolución posible. Esto dependiendo de los recursos físicos

disponibles y la capacidad técnica instalada en las corporaciones.

Definir criterios de priorización para establecer los proyectos mineros que serán objeto de seguimiento en materia de gestión de riesgo de desastres. Estos deben incluir la existencia de población o elementos vitales, en el área de influencia del proyecto, que podrían verse afectados ante un evento de colapso de las estructuras del sistema de relaves.

Se recomienda incluir, como mínimo, los siguientes criterios:

- Cercanía de las presas de relaves a los cuerpos de agua.
- Cercanía de las presas de relave a bocatomas o sistemas de acueductos (urbanos o rurales).
- Registro de emergencias reportadas ante la autoridad ambiental, el Consejo de Gestión de Riesgo de Desastres municipal o departamental, en cercanía al área donde se localizan las presas de relaves.
- Alta susceptibilidad / amenaza,

por procesos de movimientos en masa, inundaciones o avenidas torrenciales, según condiciones geológicas, geomorfológicas, hidrológicas y geotécnicas.

- Factores detonantes, como lluvias o sismos. Por ejemplo, alerta de temporada de lluvias en la microcuenca donde se localiza la presa de relaves.
- Denuncias de entidades locales o población localizada dentro del área de influencia directa del proyecto.

Medidas prospectivas y correctivas en los proyectos mineros priorizados

En caso de que el proyecto se encuentre localizado en un área de susceptibilidad alta o media, o amenaza alta o media, por movimientos en masa, inundaciones y/o avenidas torrenciales, es necesario realizar visita de campo de carácter extraordinario, por parte del equipo técnico de la corporación en conjunto con la ANM, en la que se tengan en cuenta las recomendaciones descritas en la Tabla 3. Esta información deberá ser suministrada por el titular de la explotación, principal responsable de garantizar la seguridad y estabilidad del proyecto minero, lo cual deberá ser verificado, por parte de las autoridades ambientales y mineras correspondientes, en el marco del licenciamiento ambiental y el Programa de Trabajo y Obras (PTO).

Instalar un sistema de monitoreo en los puntos críticos identificados, con el fin de hacer el registro, seguimiento y evaluación de la evolución de dicha condición. La información deberá ser suministrada por el titular de la explotación en los tiempos estipulados en la Tabla 3.

En el caso en que se identifiquen condiciones críticas que pongan en riesgo la vida y seguridad de las personas localizadas aguas abajo de las presas de relaves, se deberá reportar al Consejo Municipal para la Gestión del Riesgo de Desastres (CMGRD), al Consejo Departamental de Gestión del Riesgo de Desastres (CDGRD) y/o a la Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres (UNGRD), según sea el nivel de riesgo, así como a las autoridades mineras, para que, en el marco de sus competencias, realicen las acciones necesarias para prevenir y mitigar las condiciones de riesgo de desastres existentes.

Las zonas de explotación minera de metálicos que, por sus condiciones geológicas, geomorfológicas, hidrológicas y/o geotécnicas, sean consideradas por la autoridad ambiental como una amenaza socio-natural para la población localizada en el área de influencia directa, deben ser localizadas, priorizadas e incorporadas a los planes de ordenamiento territorial, según lo estipulado por el Parágrafo 2º, Artículo 2.2.2.1.3.1.3 del Decreto 1077 de 2015, ya sea en suelo urbano o rural, según sea el caso. Así mismo, deberán incluirse en el Plan Municipal de Gestión del Riesgo y en la Estrategia Municipal para la Respuesta a Emergencias, con el fin de que las autoridades locales y la población conozcan y prevean condiciones de riesgo a raíz de la actividad minera (Artículo 37, Ley 1523 de 2012).

Tabla 3 - Productos asociados al protocolo de inspección de obras para el seguimiento a las actividades mineras.

Análisis	Actividad	Unidad de Medida	Profesional Requerido	Documento Generado	Frecuencia	
					Condición Normal	Condiciones Críticas
Socavación	Medición del ancho del cauce en dos puntos cercanos a la zona de estudio.	Metros	Ingeniero Civil con dirección de un profesional especializado en geotecnia o hidráulica.	Se deberá generar un documento donde se esquematice la geometría del cauce en dos puntos con el objetivo de evaluar la dinámica fluvial en las zonas de interés. El documento deberá contener la tendencia de acumulación de sedimentos en las márgenes del cauce y las afectaciones o cambios que se observan sobre las estructuras de protección.	Semestral	Quincenal
	Medición de la profundidad máxima del cauce en dos puntos cercanos a la zona de estudio.	Metros				
	Inspección visual de las obras de protección de la orilla en la zona de estudio.	Reporte de Inspección				
	Identificación y cuantificación de sedimentos acumulados en las orillas.	Metros y Metros cuadrados				
Estabilidad de Taludes	Inspección visual de las condiciones actuales de los taludes que conforman las presas.	Reporte de Inspección	Ingeniero Civil con dirección de un profesional especializado en geotecnia.	El documento deberá tener la información recopilada con respecto a las condiciones de estabilidad, así como el seguimiento a las actividades propuestas para el control de posibles riesgos.	Semestral	Quincenal
	Medición de grietas e identificación de escarpes.	Metros				
	Identificación de procesos erosivos superficiales.	Reporte de Inspección				
	Seguimiento de la revegetalización de taludes.	Metros cuadrados revegetalizados				
Estabilidad de Laderas Naturales	Identificación de procesos de inestabilidad en laderas.	Reporte de Inspección	Ingeniero Civil o geólogo con dirección de un profesional especializado en geotecnia.	El documento deberá tener un inventario de los procesos identificados y la discriminación del grado de actividad y estudio de los posibles factores detonantes.	Anual	Semestral
	Cuantificación del grado de actividad y la posible afectación sobre las estructuras de interés.	Metros Cuadrados y grado de actividad				
	Identificación de posibles factores detonantes.	Reporte				
	Análisis de cobertura y uso del suelo.	Metros cuadrados				

Fuente: TERRAE, 2017.

Recomendación de fuentes de consulta según el nivel de información

En la Tabla 4 se presentan las fuentes de consulta recomendadas para reunir información relevante dentro de un proceso de seguimiento. Incluye información básica, relacionada con cartografía, hasta información específica o avanzada concerniente a la gestión de riesgos de desastres, sin que esta recomendación sea limitante a la hora de reunir información por parte de la autoridad ambiental.

Tabla 4. Fuentes de consulta según el nivel de información requerida.

Niveles de información	Tipo de información	Fuente
Básica	Localización de población y elementos vitales.	Cartografía base – IGAC / SIG-OT http://sigotn.igac.gov.co/sigotn/
	Google-Earth ®.	Página de descarga – https://www.google.com/intl/es/earth/
	Mapas de amenaza por movimiento en masa (1:500.000).	Simma – SGC
	Reporte de emergencias.	UNGRD
	Inventario de procesos de movimientos en masa.	Simma – SGC
	Caudales.	Ideam
Intermedia	Susceptibilidad a inundaciones.	Ideam
	Pomcas (1:25.000)	Corporaciones Autónomas
	POT revisados posterior al 2014 Cartografía en escala 1:25.000.	Secretaría de planeación municipal
Detallada	Información cartográfica – IGAC por departamento en escala 1:10.000.	Cartografía base – IGAC / SIG-OT http://sigotn.igac.gov.co/sigotn/
	Imágenes satelitales o fotografías aéreas en diferentes períodos para análisis multitemporal.	IGAC
	Inventario de procesos de movimientos en masa dentro del área del proyecto.	Guía SGC,
	Inventario de puntos afectados por socavación.	Guía SGC
	Análisis de estabilidad de taludes de las presas de relaves. Escala igual o mayor a 1:5.000.	Expediente ambiental
	Zonificación y evaluación de la amenaza por inundación en el área del proyecto. Escala igual o mayor a 1:5.000.	Expediente ambiental
	Zonificación y evaluación de la amenaza por avenidas torrenciales en el área de proyecto. Escala igual o mayor a 1:5.000.	POT municipios actualizado posterior al 2014 Expediente ambiental
Diseño de medidas de control o mitigación. Escala igual o mayor a 1:5.000.	Expediente ambiental	

Fuente: Elaboración propia.

Recomendaciones para caracterización Geoquímica y medidas de manejo

El principal objetivo de la caracterización de materiales geológicos debe enfocarse en la obtención de información respecto de las transformaciones que puedan sufrir los materiales cuando son intervenidos y sometidos a la oxidación.

Es posible identificar que, en los términos de referencia, no se considera de forma directa la caracterización química de materiales ni se define como necesaria a la hora de establecer los impactos que, sobre el medio ambiente, pueden generarse producto de la liberación de sustancias tóxicas por el desarrollo de actividades humanas que no solo incluyen las mineras.

Línea base

Si la actividad no cuenta con línea base, la empresa debe presentar una valoración de información secundaria sobre condiciones geoquímicas de las matrices ambientales agua, rocas, suelos y sedimentos, además, de ser posible, una valoración en zonas no intervenidas con condiciones ambientales similares. En esta línea base, deben contemplarse las actividades que se han desarrollado a través del tiempo, no asociadas a la actividad minera.

El análisis y la valoración de impactos se deben tener en cuenta

en los aspectos de la línea base, especialmente los relacionados con la calidad del agua y del suelo, matrices que se ven afectadas por lixiviación y solución de elementos contaminantes.

De este modo, resulta necesario, para el establecimiento de las medidas de manejo, conocer primero las actividades que pueden generar algún tipo de impacto sobre el medio ambiente, entre ellas, debe considerarse la generación de DAM y la lixiviación de elementos químicos tóxicos de los materiales expuestos, por ejemplo, en las presas de relaves y en los frentes de explotación.

Caracterización de materiales

Para suelo, se recomienda llevar a cabo la caracterización, análisis y evaluación del estado inicial (sin proyecto), incluida la evaluación del grado de contaminación con base en información primaria y secundaria. Para esto, es necesaria la apertura de calcatas y cajuelas que permitan evaluar las características físicas y químicas del suelo. Además, se deben identificar los elementos considerados contaminantes en el suelo (como metales pesados, contaminantes inorgánicos y/o contaminantes orgánicos) y determinar niveles máximos de concentración que se generarán durante el desarrollo del proyecto. Es necesario hacer alusión a los contaminantes que se pueden liberar con la remoción de suelo, en caso de existir movilidad de elementos desde la roca o contaminación previa a las actividades mineras.

Respecto al muestreo para sedimentos activos, se debe solicitar que los puntos de recolección de material sean coincidentes con los puntos donde se ha adelantado la caracterización de vertimientos y que sean medidos en los sedimentos, al menos, zinc, cobre, cromo, níquel, mercurio, plomo, selenio, vanadio, cadmio y bario. Sin embargo, se debe aclarar, que es necesario revisar las concentraciones químicas promedio en roca y suelo, para establecer si se requiere la medición de otros elementos, considerando las particularidades geológicas o firma geoquímica de las rocas de la zona minera (por ejemplo, el tipo de depósito).

Se hace necesario requerir, al titular del proyecto minero, los análisis mineralógicos y petrográficos, con el objetivo de identificar la existencia de sulfuros y, en general, la asociación de minerales o paragénesis mineral; así como análisis químicos puntuales para establecer la composición química exacta de los mismos y la presencia de metales potencialmente móviles y tóxicos.

Durante las actividades mineras, se debe contemplar, en los programas del PMA, la caracterización de los procesos y de las zonas afectadas por lixiviación de sustancias tóxicas y/o generación de DAM, en las zonas de acopio como botaderos o diques de relaves y en los frentes de extracción. Existen diversos ensayos y análisis asociados para estudiar, detectar y pronosticar el potencial de generación de ácido en una actividad minera. Tal es el caso de los ensayos estáticos de conteo

ácido-base (ensayo ABA-*Acid-Base Accounting*), el ensayo de conteo de potencial de generación neto (ensayo NAG-*Net Acid Generation*) y las pruebas de lixiviación en columna (SPLP-*Synthetic Precipitation Leaching Procedure*, TCLP-*Toxicity Characteristic Leaching Procedure*), que representan la respuesta inmediata, de un momento particular, del sitio en estudio. Estos ensayos pueden y deben ser complementados con ensayos cinéticos, como son las celdas de humedad (Norma ASTM D5744-96). Es fundamental que, aun cuando se culminen las actividades mineras y se realice el cierre minero, la empresa o titular minero realice seguimiento y control a largo plazo, o incluso, a perpetuidad.

Se recomienda que la autoridad ambiental consulte el estudio de prefactibilidad y PTO para compilar información relevante sobre las particularidades geológicas de la zona de actividad minera y conocer los volúmenes de material que se espera intervenir durante el desarrollo del proyecto.

Calidad de agua

Es necesario que, en la caracterización de la calidad del agua, se contemple la totalidad de la cuenca o cuencas que serán intervenidas por las actividades mineras, es decir, aguas arriba, aguas abajo y en la mina, incluyendo los tributarios de primer y segundo orden.

De esta manera debe solicitarse, además de las caracterizaciones físico-química y biológica comúnmente conocidas, la medición de metales, metaloides y otros componentes, identificados en la óptima caracterización de las rocas que estarían siendo intervenidas en la actividad minera. Debe tenerse en cuenta que, aunque en los reportes de calidad de agua se dé a entender que estos elementos solo podrían encontrarse en las aguas subterráneas, es necesario que se midan también en aguas superficiales, ya que las condiciones geoquímicas del medio y los procesos de meteorización pueden favorecer su disponibilidad y movilización en condiciones superficiales.

Por otro lado, además de solicitar que los laboratorios que colecten y analicen las muestras de agua sean laboratorios acreditados por el Ideam, es necesario que se haga explícita la exigencia de que los límites de detección de cada técnica de medición sean los adecuados para cumplir con los límites establecidos por la normativa, con el fin de identificar, en cada parámetro evaluado, si se cumple o no con lo definido.

Así pues, se debe exigir la caracterización de la calidad del agua en los puntos donde se planea verter aguas residuales (domésticas e industriales), captar agua y ocupar cauces, así como aguas arriba y aguas abajo de los mismos. Esto permitirá identificar si las actividades relacionadas con la minería están generando cambios en la calidad del agua. Los demás puntos de monitoreo deberán establecerse

según las condiciones del área a intervenir, teniendo en cuenta las cuencas o microcuencas que están siendo intervenidas. Sin embargo, es fundamental que los puntos de vertimiento no se encuentren aguas arriba de los puntos de captación de agua (bocatomas), de acuerdo con lo establecido por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS, 2013²⁰).

Se debe requerir la caracterización físico-química de los residuos sólidos de los relaves, de manera que se determine si el residuo es o no peligroso, siguiendo los protocolos de la Resolución 0062 de 2007 del Ideam y en laboratorios acreditados. También se deben exigir las pruebas de toxicidad mediante procedimiento de lixiviación TCLP, que consideren, como mínimo, plomo, arsénico, mercurio y cadmio.

Se considera pertinente incluir, por lo menos, la medición de la concentración de sólidos disueltos, de metales pesados y otros elementos y/o compuestos tóxicos que estén asociados a la mineralización, que hagan parte de la paragénesis mineral de las rocas que son objeto de explotación y que se encuentren concentrados en el suelo por procesos de meteorización o introducidos, ya sea por actividades anteriores a la minería o por lixiviación desde los materiales intervenidos durante la explotación.

La recolección de muestras de agua debe hacerse con el protocolo del Ideam y las instrucciones del laboratorio encargado del análisis de las

²⁰ Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2013). El cuidado del agua. Pág 25.

muestras (laboratorios de carácter privado o de las autoridades ambientales). Para la preservación de muestras se recomienda utilizar ácido nítrico al 45%, el cual deberá ser aplicado *in situ* una vez tomada la muestra. En cuanto a la cadena de frío, deben acondicionarse permanentemente con conservadores de frío, como hielo o gel refrigerante, hasta su entrega al laboratorio encargado, procurando enviarlas lo más rápido posible (en lo posible dentro del mismo día del muestreo). En cualquier caso, debe evitarse el congelamiento de la muestra.

Los materiales que deberían ser empleados para la recolección de muestras de agua son:

- Tubos Falcon® de 50 ml.
- Envases de polietileno de 500 ml.
- Envases de polietileno de 4 L.

- Ácido nítrico [45%]²¹.
- Pipeta para disponer el ácido nítrico.
- Marcador tipo sharpie®.
- Nevera de icopor® o tanques de cierre hermético, con 20 litros de capacidad aproximadamente.
- Cinta metalizada para tuberías.
- Agua desionizada.

Finalmente, el método recomendado para la toma de la muestra es llegar al punto previamente identificado y allí seleccionar cuatro sectores, en un radio menor a 10 m, para tomar en cada uno una muestra de agua en un balde hasta quedar a tope. Desde las aguas del balde recolectar la muestra que consistirá en: disponer 49 ml en un tubo Falcon® y en envases de 500 ml y 4 litros rotulados. Inmediata-

²¹ Porcentaje en volumen (% v/v)

mente, y para la preservación de las mismas, se debe adicionar 1 ml de ácido nítrico (45%) aproximadamente, para alcanzar una concentración de entre 1 y 2%. Los diferentes volúmenes de muestras de agua se deben a los diferentes análisis que se realizarían, así que, el número de muestras y el volumen de cada una dependerá de los parámetros que van a ser medidos en el laboratorio.

En la Tabla 5 se sintetizan los lineamientos y herramientas de apoyo para la realización del seguimiento a proyectos de minería subterránea de metálicos en el componente de caracterización geoquímica de materiales. Se resalta la importancia de la información primaria o registrada directamente por la autoridad ambiental, para lo cual se requiere del fortalecimiento institucional, tanto en recurso humano como en infraestructura (principalmente laboratorios y rutinas de medición en campo).



Tabla 5 - Propuesta de actividades de caracterización geoquímica de materiales durante la etapa de seguimiento ambiental a proyectos mineros.

FASE	ACTIVIDAD	DESCRIPCIÓN	FUENTE
Documentales	Consulta de información disponible	Caracterizaciones químicas y mineralógicas en las matrices de roca, suelo, sedimento activo y desechos almacenados en diques de relaves, botaderos o zonas de acopio, realizadas como parte de la prospección geoquímica. Modelo geológico final resultado de los trabajos exploratorios. Caracterización de la calidad de agua. Verificación del registro sistemático de la información trimestral, en los puntos de monitoreo, conforme a lo establecido en el PMA aprobado por la autoridad ambiental.	Estudio de Prefactibilidad, PTO – Autoridad minera EIA- PMA; ICA – Autoridad ambiental Servicio Geológico Colombiano antiguo Ingeominas, el Instituto de investigaciones Marinas y Costeras Invemar, el Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC) y el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (Ideam). Universidades y centros de investigación
	Identificación de posibles contaminantes	Requerir el reporte de la composición química de las sustancias que se utilizan durante la etapa de extracción y beneficio mineral, con el objetivo de identificar posibles fuentes de contaminación (p.ej. por accidentes industriales), además de la exposición de los materiales geológicos.	EIA-PMA
	Valoración de la efectividad de medidas de manejo	Requerir la valoración de la efectividad de las medidas de la empresa para el manejo de impactos, como la generación de DAM y la lixiviación de sustancias químicas desde los frentes mineros, zonas de acopio, botaderos y/o diques de relaves. El programa de LM/DAM debe incluir estrategias de predicción, prevención, mitigación y monitoreo.	ICA – EIA -PMA
Visita de seguimiento (Mediciones -Información primaria)	Botaderos, zonas de acopio, diques de relaves	Describir los sitios de disposición final o temporal de material, identificando las medidas que son utilizadas para evitar la lixiviación de sustancias y la generación de drenaje ácido. Además, de ser posible, realizar la recolección de muestras de sedimentos dispuestos en los diques de relaves, botaderos o zonas de acopio.	Información primaria autoridad ambiental
	Muestreo y análisis de matrices ambientales	Materiales del área de influencia del proyecto, especialmente de aquellos que, producto de las actividades mineras, quedarían expuestos a condiciones ambientales (en los frentes mineros, botaderos, zonas de acopio, diques de relaves) y aquellos que serán utilizados para la construcción de infraestructura requerida durante el desarrollo del proyecto: Roca: frescas representativas de las unidades de roca y de la mineralización (ganga y mena). Suelo: de cada horizonte y cada unidad de suelo. Sedimentos activos: en los puntos de calidad de agua (incluidos vertimientos). Registrar los datos fisicoquímicos del agua al momento de la toma de la muestra (temperatura, pH, Eh, Conductividad, sólidos totales disueltos, sólidos en suspensión, etc.).	NTC-3656, NTC-3934, Resolución No. 0062 del Ideam. Especificaciones que para la recolección y conservación tiene el laboratorio que adelantará los ensayos.

FASE	ACTIVIDAD	DESCRIPCIÓN	FUENTE
Visita de seguimiento (Mediciones -Información primaria)	Verificación de calidad de agua	Realizar pruebas de contramuestreo. Medición de los principales parámetros fisicoquímicos en agua (temperatura pH, Eh, conductividad y sólidos totales disueltos) con ayuda de equipos de medición multiparámetro portátiles (el empleo de papel indicador de pH sirve para evitar errores de calibración de los medidores digitales). Los puntos serán los mismos propuestos por la empresa, aguas arriba y aguas abajo, y donde no se presenten actividades. Muestreo de aguas. Conservación con ácido nítrico al 45%, refrigerar con hielo y gel refrigerante, manteniendo cadena de frío (sin congelación) hasta su entrega en el laboratorio lo más pronto posible (en lo posible el mismo día del muestreo o en 24 horas). Incluir puntos de agua subterránea (manantiales, piezómetros, bocaminas y/o frentes de explotación).	Protocolos Ideam Instrucciones del laboratorio PMA
	Caracterización química y mineralógica de sólidos	Ensayos químicos y mineralógicos: -Petrografía (paragénesis mineral) de mineralización y roca encajante. -Contenido total de elementos traza, concentración soluble (para materiales meteorizados). -Ensayos estáticos y dinámicos para la determinación de LM/DAM: -Ácido-base: contenido de azufre (sulfuros y sulfatos), potencial neto de neutralización, contenido de carbonatos, ensayos ABA, NAG, SPLP, TCPL. -Análisis dinámicos: tasas de reacción en celdas de humedad. -Análisis de los mismos elementos en todas las matrices.	Laboratorios acreditados por el Ideam con límites de detección acordes a la normativa. Laboratorios especializados en petrografía, mineralogía y reactividad de materiales (suelos y rocas)- IGAC. EPA-US standard 1311 y 1312 Standard humidity cell testing (ASTM D5744-96)
Concepto técnico	Análisis de agua	Parámetros físico-químicos del agua en laboratorio. Medir los elementos identificados previamente en los materiales geológicos (metales, metaloides, sales), de acuerdo al tipo de yacimiento y/o paragénesis mineral.	Laboratorio acreditado por el Ideam administrado por la corporación, con límites de detección acordes a la normativa.
	Análisis de información	Se compara la información de las diferentes fuentes para: -Establecer elementos a monitorear, identificar anomalías, elementos indicadores según el tipo de depósito, elementos condicionantes de los parámetros indicadores de la calidad del medio físico como el pH. -Requerir que los elementos seleccionados sean monitoreados periódicamente por la empresa.	Resultados laboratorio (información primaria) ICA

Fuente: Elaboración propia

Minería ilegal de oro aluvial: Caso de contaminación por mercurio en la cuenca del río Atrato

Resumen

El mercurio (Hg según la nomenclatura de la tabla periódica) es uno de los elementos más tóxicos conocidos en la naturaleza y, dada su amplia liberación en los ecosistemas por diversas actividades antrópicas, así como su capacidad de bioacumularse en la cadena alimenticia, es considerado un contaminante global.



La toxicidad del mercurio afecta muchos sistemas orgánicos humanos a través de diversos mecanismos y el más impactado es el sistema nervioso central.

En su conjunto, las manifestaciones clínicas de la intoxicación por mercurio se conocen como enfermedad de Minamata²², que incluye daño sensorial en las extremidades, problemas de visión y oído, dificultad para caminar, retardo mental y parálisis, entre otros efectos. La presencia de mercurio en el organismo humano puede llegar a través de la dieta, la inhalación directa del aire o a través de la placenta, durante el embarazo, siendo el feto muy susceptible a su toxicidad.

²² Se denomina así porque la ciudad de Minamata, Japón, fue el centro de un brote de envenenamiento por metilmercurio en la década de los años 50. En 1956, el año en que se detectó el brote, murieron aproximadamente 45 personas.

El mercurio ha sido prohibido o restringido en varios países del mundo.

En Colombia, con la Ley 1658 de 2013, se prohibió su uso para minería a partir del 16 de julio de 2018 y para las demás actividades a partir de julio de 2023. Adicionalmente, el país entró a hacer parte del Convenio de Minamata a partir del 26 de agosto de 2019, cuando se ratificó la Ley 1892 de 2018.

Las leyes referidas complementan los instrumentos legales y técnicos para que el Estado proteja la salud humana y el medio ambiente de las emisiones y liberaciones antropogénicas de mercurio y sus compuestos y acceda a recursos y apoyo internacional, además de poder hacer parte de los controles al comercio que se

están implementando en el marco de este convenio.

A pesar de la buena voluntad internacional, el mercurio sigue siendo empleado en muchos países, para la extracción artesanal del oro tanto legal como ilegal, lo mismo que en actividades industriales como la fabricación de bombillos, en equipos médicos, baterías y calzas dentales, entre otras. Además, existen en Colombia y en otros países extensas áreas abandonadas de antiguas explotaciones mineras de oro, legales e ilegales, que presentan altas concentraciones de mercurio dado que durante siglos su uso fue indiscriminado y plenamente validado como el medio adecuado para la obtención de este metal precioso.

El mercurio elemental tiene una propiedad que es su fácil aleación con algunos metales, como el oro, conocida como *amalgama*, y esta propiedad es empleada para concentrar el metal precioso en explotaciones mineras artesanales e industriales.

En los procesos mineros de trituración, molienda y lavado de oro en los que se ha usado el mercurio hay pérdidas de este metal que van a los cuerpos de agua o se volatiliza dada su baja temperatura de evaporación o los procesos de quema de amalgama para obtener el oro recolectado; Este procedimiento provoca, no sólo contaminación del aire, sino también la precipitación de mercurio en agua y suelo a grandes distancias debido a las dinámicas atmosféricas. Ya en el agua, el mercurio se sedimenta y es



metabolizado por microorganismos a metilmercurio, compuesto tóxico fácilmente absorbible por el plancton, desde donde es transferido a través de la cadena alimenticia a los peces y a los humanos.

En muchas regiones de Colombia, incluyendo Chocó, Antioquia, el Sur de Bolívar, Nariño, Santander y el Amazonas, entre otras, aún se emplea mercurio para la extracción del oro. Dado que una de las principales regiones del país en donde se ha utilizado el mercurio en la actividad minera es el Chocó, departamento de alta biodiversidad habitado mayoritariamente por comunidades afrocolombianas se hizo un estudio de contaminación por mercurio a través del análisis de diversas muestras de cabello de personas, pescado comercial, aire y sedimentos, siguiendo los protocolos de la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos para cada una de los tipos de muestras recolectadas.

Análisis de mercurio en la cuenca del río Atrato

Mercurio en cabello humano

La evaluación de las concentraciones de mercurio en personas, fue realizada a partir de muestras de cabello de habitantes de las poblaciones de Quibdó y Paimadó. Quibdó, capital del departamento del Chocó, está ubicada a orillas del río Atrato, uno de los sistemas fluviales con mayor precipitación del mundo. Por su parte, Paimadó, es la cabecera municipal del municipio de río Quito, afluente del Atrato. Ambas

poblaciones están rodeadas de grandes extensiones de bosque húmedo tropical, siendo la minería, la agricultura, la pesca y la explotación maderera, las principales actividades productivas.

En Quibdó fueron colectadas 248 muestras de cabello de participantes voluntarios, entre noviembre de 2015 y enero de 2016, mientras que en Paimadó, se obtuvieron 112 muestras, entre febrero y marzo de 2016. Se hizo un muestreo aleatorio, incluyendo personas de distinto género, edad y ocupación, en diferentes zonas de la ciudad. Durante la obtención de las muestras, los participantes suministraron información socioeconómica y de su estado de salud, firmando previamente un consentimiento informado. Los procedimientos fueron llevados a cabo de acuerdo con pautas nacionales e internacionales de Bioética y el aval del comité de ética de la Universidad de Cartagena.

Una pequeña muestra de cabello de la región occipital de la cabeza de cada voluntario fue obtenida y almacenada en un sobre rotulado. Las muestras fueron procesadas por la Universidad Industrial de Santander y por la Universidad de Cartagena²³.

El promedio de los niveles de mercurio total en cabello humano en voluntarios en Quibdó fue de $6,72 \pm 0,89$ partes por millón (ppm), con valores mínimo y máximo de 1,26 y 116,40 ppm, respectivamente. En Paimadó, el promedio de mercurio

en cabello fue de $0,87 \pm 0,08$ ppm, con valores que oscilaron entre 0,07 y 6,47 ppm. Diversas agencias internacionales, entre ellas la Organización Mundial de la Salud y la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos, han sugerido que, para proteger la salud de los daños del mercurio, las personas no deben tener más de 1 ppm de mercurio en el cabello. Los análisis estadísticos revelaron que las concentraciones promedio de mercurio en cabello en Quibdó son significativamente superiores a los de las personas de Paimadó.

En Quibdó, el 52,8% de los voluntarios analizados presentaron concentraciones de mercurio en cabello por encima de los límites recomendados a nivel internacional para proteger la salud de las personas (1 ppm).

En esta ciudad, el 19,35% de las personas evaluadas presentaron niveles de mercurio superiores a 10 ppm y 3,2% mostraron concentraciones mayores a 40 ppm; dos personas presentaron niveles superiores a 90 ppm.

Los resultados promedio encontrados en Quibdó sugieren exposiciones a mercurio superiores a las registradas en otras regiones de Colombia, tales como el Distrito Minero de San Martín de Loba (Bolívar) (2,12 ppm), Ayapel (Córdoba) (2,18 ppm) y Caimito (Sucre) (4,91 ppm).

²³ Las muestras de cabello fueron cortadas con tijeras de acero inoxidable, hasta alcanzar un tamaño aproximado de 1 mm, y examinadas en el analizador de mercurio Lumex RA-915+.

Si bien los participantes del muestreo no manifestaron sentir afectaciones por mercurio al hacerles un ensayo de coordinación neurológica se les identifican afectaciones al 15,8% de las personas analizadas en Quibdó, mientras que, en Paimadó, este resultado fue obtenido para el 3,6% de los evaluados. Otras manifestaciones neurológicas, tales como temblores en las manos, fueron similares para ambas localidades, con reportes de 16,2% y 14,3%, respectivamente. Es de interés mencionar que, los niveles de mercurio total, fueron superiores en los hombres que manifestaron ingerir bebidas alcohólicas, en relación con aquellos que reportaron lo contrario. Por su parte, las mujeres en edad reproductiva que manifestaron haber tenido abortos, registraron concentraciones superiores de mercurio en cabello, en comparación con aquellas que dijeron no haberlos tenido.

Mercurio en los sedimentos

Los sedimentos de los ríos son considerados reservorios de elementos y compuestos químicos, que resultan tanto de los procesos de meteorización de las rocas, como de los materiales introducidos de manera antrópica, que pueden actuar como fuentes de contaminación de los cuerpos de agua. De allí, la importancia de determinar las concentraciones de los diferentes elementos potencialmente contaminantes en los sedimentos. Esta información puede ser empleada como un trazador del origen de dicha contaminación, permitiendo predecir los impactos sobre la biota, ya que los sedimentos



pueden actuar como *vehículos* de los elementos tóxicos, entre ellos el mercurio.

A lo largo del río Atrato, desde Quibdó, hasta su desembocadura en el Golfo de Urabá, fueron colectadas 50 muestras de sedimentos en febrero de 2016, las cuales fueron liofilizadas, tamizadas a un tamaño de partícula menor a 0,75 μm y analizadas para determinar el contenido total de mercurio y otros

elementos traza. En el río Atrato, los niveles de mercurio en los sedimentos presentaron una distribución relativamente homogénea, con un promedio de $0,08 \pm 0,03$ ppm ($n=50$, Rango: 0,03–0,14 ppm); los valores más altos fueron detectados entre Quibdó y la parte media del río, en particular en cercanías a San José (0,14 ppm), frente al hospital en Quibdó (0,13 ppm), río Puné (0,12 ppm), desembocadura del río Quito

al Atrato (0,12 ppm) y frente a la población de Buchadó (0,11 ppm). (Universidad de Cartagena, 2016). Estas concentraciones de mercurio total en los sedimentos de fondo del río son relativamente bajas; sin embargo, es probable que se deba al proceso de metilación²⁴, ya que de

²⁴ Transformación química del mercurio inorgánico (Hg^{2+}) a mercurio orgánico (metilmercurio MeHg) - la forma más tóxica del metal - por acción de microorganismos. El metilmercurio es fácilmente absorbible por organismos acuáticos y se bioacumula en la cadena trófica.

esta forma el mercurio es incorporado en la cadena trófica. Por lo tanto, aunque las concentraciones en los sedimentos no indiquen altos niveles de contaminación por mercurio, el efecto identificado en las muestras del río Atrato, es que este tóxico se biomagnifica una vez que se incorpora en los ciclos biológicos de las especies de plantas y animales, incluyendo a la especie humana.

Para entender el ciclo geoquímico del mercurio, es decir la forma en que se transporta en los sedimentos, se colectaron muestras de agua del río Quito y del río Atrato a la altura de Quibdó, junto con los sólidos que son transportados en suspensión. Cantidades trazas de mercurio pueden ser solubles en los cuerpos de agua, sin embargo, el efecto de dilución debido al alto caudal del río Quito ($315 \text{ m}^3/\text{s}$) en virtud de las altas precipitaciones, hacen que sean casi indetectables. En contraste, los sedimentos en suspensión, es decir partículas de tamaño limo fino (2 a 20 μm), pueden tener hasta 0,21 ppm de mercurio total, por lo que se concluye que existe una asociación del mercurio con minerales de arcilla y amorfos finos que viajan largas distancias y de forma más reactiva. En la medida en que la carga de sedimentos del río aumenta hasta en un 21,5% (alcanzando 3544 ton/día), como consecuencia de la pérdida de cobertura boscosa y la remoción de las terrazas aluviales para extraer el oro, la concentración de mercurio siendo transportada a lo largo del río Quito hasta su desembocadura en el Atrato, puede llegar a ser de 200 kg/año (Geopatrimonio, 2018).

Además del mercurio, fueron encontrados en los sedimentos del río Atrato otros elementos potencialmente tóxicos como plomo, arsénico, cobre, cadmio, estroncio y bario, entre otros.



Las concentraciones de la mayoría de estos elementos traza es altamente variable en las muestras analizadas, sin embargo es posible determinar que la fuente de estos elementos está relacionada con los acelerados procesos de descomposición de los minerales que los contienen, durante su exposición a la atmósfera como consecuencia de la remoción mecánica de los sedimentos durante la extracción de oro, ya sea a gran escala por retroexcavadoras o dragas, o a pequeña escala por técnicas como el maza-morreo, donde el efecto puede ser menor. Este disturbio de las terrazas del río genera ambientes geoquímicos propicios para la liberación de metales pesados en el agua,

impactando la dinámica hidráulica de toda la cuenca del río Atrato, a partir de la pérdida de cobertura vegetal, la modificación del cauce y la intensa remoción de sedimentos en la llanura aluvial del río, como fue medido para la sub-cuenca del río Quito, afluente del Atrato (Corporación Geopatrimonio, 2018).

Mercurio y elementos traza en peces

Las muestras de peces (261 especímenes) fueron colectadas con la ayuda de pescadores, o adquiridos directamente a los mismos, en 11 sitios a lo largo del río Atrato, desde Neguá hasta Marriaga, incluyendo ciénagas y afluentes del Atrato, durante el mes de febrero del 2016.

Las concentraciones promedio más altas de mercurio total para todas las muestras de peces colectados en el río Atrato fueron detectadas en Bagre sapo (*Pseudopimelodus schulzi*) (2,01 ppm), Doncella (*Ageneiosus pardalis*) (0,95 ppm), Beringo (*Sternopygus aequilabiatus*) (0,87 ppm), Barbudo (*Rhamdia quelen*) (0,68 ppm) y Quicharo (*Hoplias malabaricus*) (0,62 ppm).

Estos peces carnívoros son consumidos con frecuencia por la población, en muchos casos como única fuente de proteína, lo cual representa un riesgo de exposición a mercurio.

La Comisión Europea y el Comité Experto en Aditivos de Alimentos de la FAO/WHO (JECFA) sugieren que el músculo de los peces no debe contener más de 0,5 ppm de mercurio total.

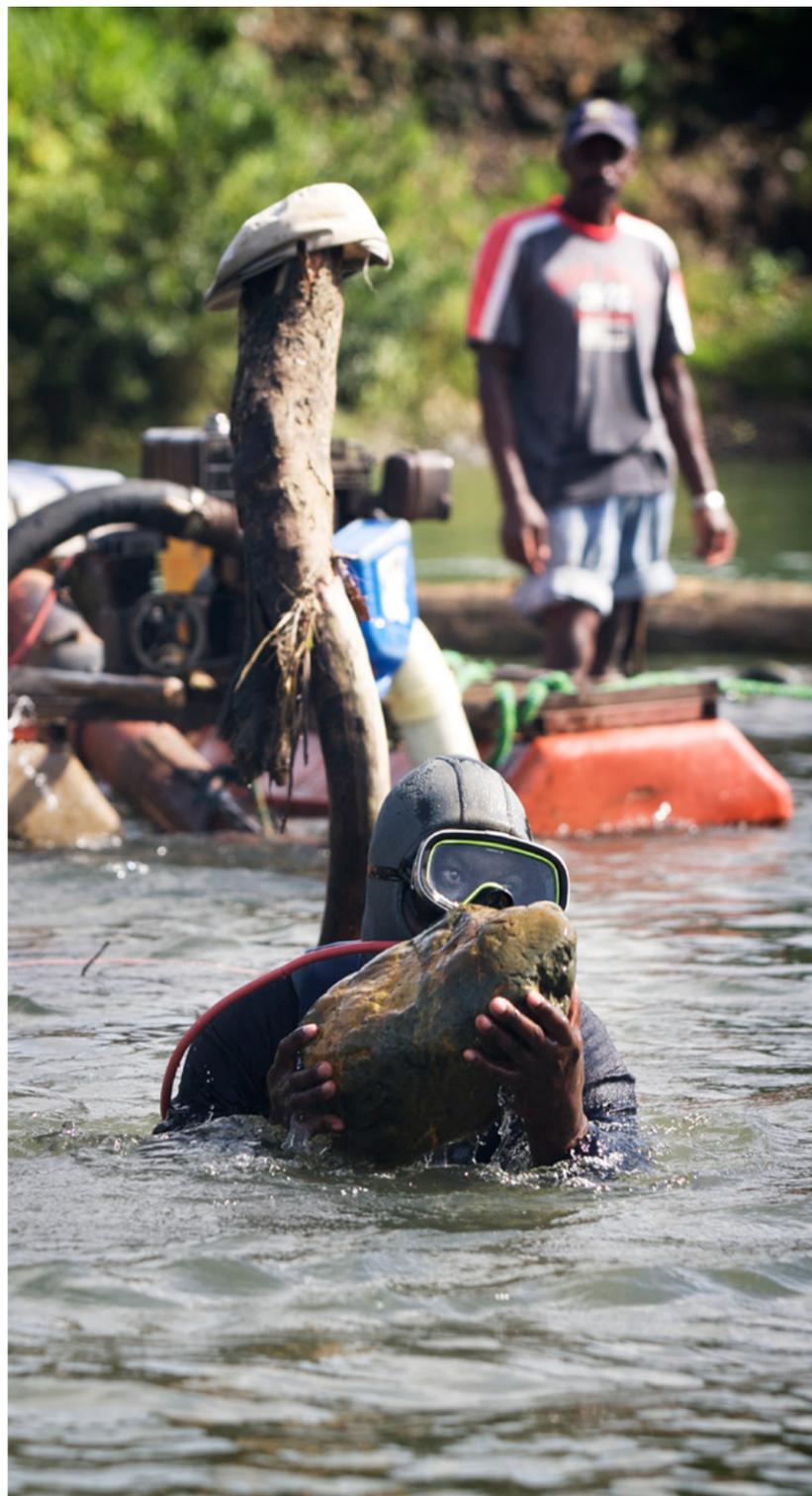
Mercurio en aire de Quibdó

La concentración de mercurio en el aire es bastante variable, y puede oscilar desde unos pocos $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en zonas remotas no contaminadas hasta aproximadamente $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en zonas urbanas. La liberación de vapor de mercurio o partículas que contienen mercurio a la atmósfera, eventualmente resulta en la deposición de una fracción del mercurio

total liberada en los cuerpos de agua a través de la lluvia, haciéndose disponible por las especies acuáticas consumidas por los humanos. El mercurio elemental también fue evaluado en veinte sitios diferentes de Quibdó. Los niveles más altos de este elemento en aire, detectados en compraventas donde existe quema de amalgama, alcanzaron un promedio de $24.610 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

En algunos de estos lugares de fundición, en ausencia de quema de amalgama, los niveles de mercurio en aire fueron hasta 200 veces más altos que el nivel promedio encontrado en zonas no contaminadas.

De acuerdo con la Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades de Estados Unidos (ATSDR), la concentración de mercurio en aire, por debajo de la cual la exposición residencial continua no está asociada con efectos adversos detectables, es de $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Este límite es permanentemente sobrepasado en el área del centro de Quibdó, en donde están las compraventas de oro con hornos para amalgama. Esta zona es igualmente compartida por colegios, jardines infantiles, hospitales y locales comerciales, todos ellos con permanente afluencia masiva de ciudadanos.



Análisis de mercurio en Tadó

Mercurio en cabello de habitantes

Tadó, en la cuenca del río San Juan, tiene una amplia trayectoria de minería que se remonta a más de 50 décadas. De la misma forma que se realizó para Quibdó y Paimadó, fueron obtenidas muestras de cabello de voluntarios de varios corregimientos de Tadó. Los valores promedio más altos registrados fueron para los habitantes de Manungará (12,4 ppm), seguidos por los de Tapón (7,7 ppm). Todas las demás comunidades examinadas, Corcobado, Carmelo, Playa de Oro, Angostura y Pachito, presentaron concentraciones promedio por debajo de 1 ppm.

Mercurio en achiote cultivado en zonas mineras

En el Chocó es frecuente encontrar áreas en las que, después de un período de extracción de oro, las minas son abandonadas y las comunidades utilizan estos espacios para el desarrollo de cultivos que puedan generarles ingresos. Uno de los cultivos que han sido implementados es el de achiote (*Bixa orellana*). Existe por lo tanto riesgo fitosanitario, asociado con la presencia de mercurio en las plantas cultivadas, especialmente en las semillas y frutos, objeto de comercialización.

Para establecer la posible presencia de mercurio en las plantaciones de achiote existentes en el municipio de Tadó, fueron monitoreadas un total de 29 parcelas para llevar a

cabo análisis de suelos y plantas. Las muestras de suelo, raíces, hojas y tallos arrojaron concentraciones promedio de 0,193, 0,027, 0,044 y 0,009 ppm, respectivamente. No obstante, los valores de mercurio en las semillas de achiote siempre fueron inferiores al límite de detección del equipo utilizado. Estos resultados sugieren que el cultivo de achiote, en áreas previamente utilizadas en minería de oro, en el municipio de Tadó, posee un bajo riesgo de contaminación por mercurio.

Mercurio en peces cultivados en pozos derivados de minas abandonadas

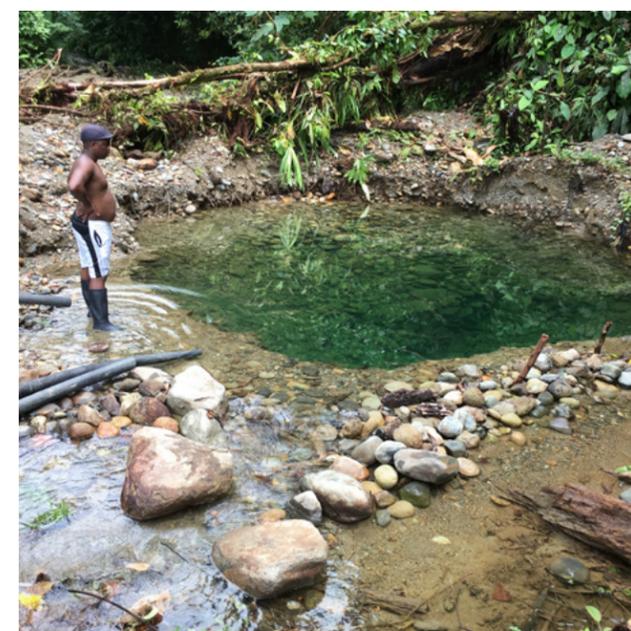
Algunas muestras de peces, específicamente Tilapia, Cachama, Mojarra negra y Barbudo, fueron colectadas en pozos artesanales establecidas en depresiones en el suelo formadas durante procesos previos de

extracción de oro. Las concentraciones promedio de mercurio en estas especies variaron desde 0,11 ppm en Barbudo, hasta 0,26 ppm en Tilapia. El resultado de estos análisis mostró niveles por debajo de los límites internacionales aceptados como seguros (0,5 ppm). Sin embargo, el consumo frecuente de estas especies, especialmente la Tilapia, Cachama y Mojarra Negra, podrían aumentar la exposición al metal. Estas pozas no son adecuadas para el cultivo de peces y debe evitarse este uso.

Recomendaciones

- Es de especial importancia desarrollar programas de promoción y prevención para mujeres embarazadas que habitan en el Chocó, sobre los riesgos de consumir especies de pescado con altos niveles de mercurio durante el embarazo.

- Elaborar estudios epidemiológicos para establecer el estado de salud de las poblaciones con niveles altos de mercurio.
- Establecer un sistema de monitoreo de mercurio en sedimentos, peces y personas ubicadas en sitios cercanos a las zonas mineras en proximidades de Paimadó, que permita identificar en tiempo real altos niveles de contaminación y sus medidas de manejo correspondientes.
- Las compraventas de oro, ubicadas en el centro de Quibdó, constituyen una serie amenaza para la salud de los habitantes y, por tanto, deben ser reubicadas, de manera urgente, en áreas alejadas del casco urbano.



Bibliografía

Alianza Mundial de Derecho Ambiental. 2010. Guidebook for Evaluating Mining Project EIAs. Disponible en internet: <https://www.elaw.org/files/mining-eia-guidebook/Full-Guidebook.pdf>

Agencia Nacional de Minería (2012). Resolución número 0045 de 20 de junio de 2012 "Por la cual se declaran y delimitan una Áreas Estratégicas Mineras y otras determinaciones". Disponible: https://www.anm.gov.co/sites/default/files/res_0045_20_junio_2012.pdf

Autoridad Nacional de Licencias Ambientales- ANLA. 2016. Términos de referencia para la elaboración del estudio de impacto ambiental – EIA proyectos de explotación minera. Bogotá. Disponible en internet: http://www.minambiente.gov.co/images/normativa/app/resoluciones/TdR_MINERIA_%2029_9_2016%20VF_Final%20final%20final%20final-81.pdf

Ayala, Helcías, López, Nancy y Ardila, Yolbi, (2005). Diagnóstico Situacional de la minería artesanal y de pequeña escala desarrollada por afrocolombianos en territorios colectivos de comunidades negras en el Choco Biogeográfico. IIAP, Quibdó.

Corporación Geoambiental Terrae. 2016. Concepto técnico sobre impactos físicos de la explotación minera en el Alto Atrato Fase I. Convenio IE89 WWF - Terrae. WWF Colombia, Bogotá

Corporación Geoambiental Terrae. 2017. Concepto técnico sobre impactos físicos de la explotación minera en el Alto Atrato Fase II. Convenio DU31 WWF-Terrae, WWF-Colombia, Bogotá.

Corporación Geopatrimonio (2018). Estudio de los procesos y ambientes geoquímicos de los ríos Quito y San Juan (Alto) y formulación de geo- y bio-indicadores para la evaluación de la dinámica del Mercurio-Hg en sedimentos, suelos, aguas y plantas. Convenio GB18 WWF-Geopatrimonio. WWF-Colombia, Bogotá.

Dirección Nacional de Planeación. 2016. Proceso CM-019-15. Evaluación de operaciones de las Corporaciones Autónomas Regionales (CAR) y de Desarrollo Sostenible (CDS), que mida la capacidad con la que cuentan para lograr sus objetivos y proponer acciones de mejora para el fortalecimiento integral de las mismas y el mejoramiento de la gestión ambiental en el país. Bogotá. Disponible en internet: <http://sinergiapp.dnp.gov.co/#Evaluaciones/EvalFin/1110>, https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/Sinergia/Documentos/CAR_Resumen_Ejecutivo_Informes_de_Resultados.pdf

El Tiempo, 13 de junio de 2016. Corte Constitucional tumba zonas de reserva minera en 20 departamentos. Disponible: <http://www.eltiempo.com/politica/justicia/corte-constitucional-tumba-areas-de-reserva-minera-en-20-departamentos/16619006> [Acceso 9/11/16]

- Gómez, L.F., Suarez, C.F., Trujillo, A.F., Bravo, A.M., Rojas, V., Hernández, N y Vargas M.C. (2013) Landscape management in Choco-Darién priority watersheds. WWF-Colombia, Cali.
- Maldonado, Javier, Usma, José Saulo, Villa, Francisco, Ortega, Armando, Prada, Saúl, Jaramillo, Alexandra, Rivas, Tulia y Sánchez, Giancarlo (2012). *Peces dulceacuícolas del Chocó Biogeográfico de Colombia*. Ed. WWF Colombia, Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt, Universidad del Tolima, Autoridad Nacional de Acuicultura y Pesca (AUNAP), Pontificia Universidad Javeriana. Bogotá D.C., Colombia. 400 pp.
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. 2013. El cuidado del agua. Bogotá. Disponible en internet: <http://www.minambiente.gov.co/images/GestionIntegral-delRecursoHidrico/pdf/cultura-del-agua/El-cuidado-del-agua.pdf>
- Ministerio del Medio Ambiente. 2002. Manual de seguimiento ambiental de proyectos. Criterios y procedimientos. Bogotá. 164 p. ISBN: 958-9487-43-2.
- Ministry of Energy and Mines. 1998. Guidelines for metal leaching and acid rock drainage at minesites in British Columbia. British Columbia, Canadá. Disponible en internet: https://www2.gov.bc.ca/assets/gov/farming-natural-resources-and-industry/mineral-exploration-mining/documents/permitting/ml-ard_guidelines.pdf
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2018). Incorporación de las determinantes ambientales en los Planes de Ordenamiento Territorial. Kit de ordenamiento territorial. Bogotá. DNP. Recuperado de <https://portalterritorial.dnp.gov.co/AdmKITerritorial/MenuPpalkITTer>
- Ministerio de Minas y Energía. (2018). Conocimiento, acceso y uso de la información y de los instrumentos de planeación del sector Minero-energético para su análisis e integración a los planes de ordenamiento municipal y departamental. Bogotá. DNP. Recuperado de <https://portalterritorial.dnp.gov.co/AdmKITerritorial/MenuPpalkITTer>
- Quinto, Jefferson (2011). Cambios y Persistencias en el Subsistema Minero Aluvial del Territorio Colectivo del Consejo Comunitario Mayor del Alto San Juan- ASOCASAN (Tadó, Chocó): Entre 1960 y 2010. Tesis para optar por el título de Ecólogo. Universidad Javeriana, Bogotá.
- Massé Frédérick y Munevar, Juan (2016). *Debida diligencia en la cadena de suministros de oro colombiana. Conducta Empresarial Responsable*. Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE). París. Disponible: <http://mneguidelines.oecd.org/Colombia-gold-supply-chain-overview-ESP.pdf> [Acceso 10/11/2016]
- Palacios, Luis Eustorgio (2006). El oro en la tierra anda (Camina). Instituto de Investigaciones Ambientales del Pacífico (IIAP); Oficina de certificación y mercados verdes, Programa Oro Verde. Quibdó.
- Perafán González, Leonardo et. Al. (2013). Impacto de la minería de hecho en Colombia. Estudios de caso: Quibdó, Istmina, Timbiquí, López de Micay, Guapi, El Charco y Santa Bárbara. Instituto de Estudios para el Desarrollo y la Paz-INDEPAZ. Bogotá.
- Terrae-WWF. 2017. Convenio IE-89. Elaborar concepto técnico sobre impactos físicos de la explotación minera en el Alto Atrato.
- Universidad de Cartagena. 2016. Conservación de la biodiversidad en paisajes impactados por la minería en la Región del Chocó Biogeográfico. Estado de la contaminación por mercurio en diversas matrices ambientales. Informe Final. Cartagena.
- Wokittel, Roberto (1961). Geología económica del Chocó: Bibliografía geológica-minera del Chocó. En: *Boletín geológico*; Vol. 7, Nr. 1/3, 1961. Servicio Geológico Nacional de Colombia. Bogotá.
- WWF-Colombia (2013). Cuencas prioritarias del Complejo Ecorregional Chocó-Darién. Informe Técnico Final del proyecto "Gestión de Cuencas Prioritarias del Complejo Ecorregional Chocó - Darién". ©WWF. Cali.
- WWF-Colombia (s.p.) (2016). Presentación: Conservación de la Biodiversidad en Paisajes impactados por la minería en el Chocó Biogeográfico 2014-2019. Vigía del Fuerte, abril 2016. (documento interno de divulgación).