

PROPUESTA PARA LA PREVENCIÓN Y MITIGACIÓN DE LA CONTAMINACIÓN POR
LA ACTIVIDAD MINERA DE ORO SOBRE EL CANAL DEL DIQUE

LAURA GONZÁLEZ SÁNCHEZ

UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍAS
FACULTAD DE INGENIERÍA AMBIENTAL
BOGOTÁ
2015

PROPUESTA PARA LA PREVENCIÓN Y MITIGACIÓN DEL IMPACTO DE LA
ACTIVIDAD MINERA DE ORO SOBRE EL CANAL DEL DIQUE

LAURA GONZÁLEZ SÁNCHEZ

Trabajo de Grado en Modalidad Pasantía
Para Optar el Título de Ingeniera Ambiental

Director: Rafael G. Barragán G., Docente Universidad Santo Tomás

Codirector: Teniente de Navío Rosny Carranza, Jefe del Área de Asuntos Marinos
y Costeros, Comisión Colombiana del Océano

UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍAS
FACULTAD DE INGENIERÍA AMBIENTAL
BOGOTÁ
2015

CONTENIDO	PÁG
1. RESUMEN	4
2. INTRODUCCIÓN	5
3. OBJETIVOS	7
3.1 OBJETIVO GENERAL	7
3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	7
4. MARCO REFERENCIAL	8
4.1 MARCO CONTEXTUAL	8
4.2 MARCO TEÓRICO	9
4.2 MARCO CONCEPTUAL	11
4.4 MARCO LEGAL	15
5. DESARROLLO DE LA PASANTÍA	18
6. RESULTADOS OBTENIDOS	26
7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	29
ANEXOS	32

1. RESUMEN

Una problemática ambiental que no ha tenido mucha trascendencia en el panorama colombiano es la posible afectación de la minería del oro en las costas y mares del Caribe colombiano. Los daños generados a los ecosistemas marinos y costeros podrían afectar económica, social y ambientalmente al país al reducir o modificar patrones de pesca, disminuir la demanda turística, cambiar los hábitos de alimentación de la población, modificar las condiciones físico-químicas de las aguas y alterar la biodiversidad marina.

En este trabajo se analizó el problema de la contaminación marina por minería de oro ilegal en el departamento de Bolívar, el cual no solo es considerado un problema ambiental, sino que además tiene implicaciones de carácter social, económico pues contribuye a un riesgo para la salud humana y la seguridad alimentaria de los pobladores locales.

El análisis del problema así como la propuesta para su solución, involucró diversas áreas de la ingeniería, dentro de las cuales se destacan la ingeniería de procesos al contemplarse el panorama global de la actividad minera como una actividad no solo productiva, sino que involucra aspectos sociales, ambientales y económicos que se desarrollan e interactúan entre sí. Para la propuesta de solución del problema se destacó la aplicación de tecnologías existentes, así como nuevamente la ingeniería de procesos al detectar el comportamiento de las causas del problema y generar a partir de su relación y profundidad, la medida pertinente para solucionar el problema de la contaminación marina por la actividad minera de oro. Como resultados se obtuvieron un documento diagnóstico de la problemática y un plan de trabajo para prevenir y mitigar esta contaminación.

2. INTRODUCCIÓN

La actividad minera ha sido de gran importancia para la economía del país, siendo el primer sector económico en el periodo de la conquista española y actualmente uno de los que más aporta al producto interno bruto nacional junto con el sector de agricultura y el manufacturero [1]. Es por este motivo que su continuidad no es discutible, pero la ilegalidad y la ausencia de un manejo ambiental adecuado así como la aplicación de buenas prácticas de explotación minera son temas de suma importancia que deben ser tratados para garantizar la conservación de los ecosistemas marinos y terrestres del territorio colombiano.

Esta pasantía se desarrolló con el objetivo de realizar propuestas para la prevención y mitigación de la contaminación generada por actividades de minería de oro en Colombia, específicamente en el Canal del Dique (departamento de Bolívar). De igual manera, servirá de apoyo para las labores que desempeñará el grupo de trabajo “Sector minero-energético y recurso hídrico” del Comité Técnico Nacional para la prevención de la Contaminación Marina (CTN-CM), conformado por la Comisión Colombiana del Océano (CCO) ente interinstitucional e intersectorial encargado de formular la Política Nacional de los Océanos y Espacios Costeros (PNOEC) y cuya misión es la de propender y fomentar el desarrollo sostenible, el uso, la conservación y el estudio de los espacios oceánicos y costeros en Colombia.

La base teórica del documento es la mejora de calidad de los procesos por medio del uso de diagrama de causa-efecto, mediante la determinación del problema de la contaminación de Bahía de Cartagena a causa de las actividades de minería ilegal de oro en el departamento de Bolívar, sus causas teniendo en cuenta los componentes de sostenibilidad global (Económico, Social y Ambiental) y sus efectos y consecuencias para el ambiente y la salud humana. Las herramientas de diagramas de árbol de problemas y de diagrama de Ishikawa fueron empleadas para la presentación y el análisis de la información obtenida, estableciendo gráficamente la relación entre las diferentes causas de los componentes de sostenibilidad, su importancia y su relación con el problema.

Mediante este trabajo se estableció un documento diagnóstico que evidencia el problema de la contaminación por mercurio en muestras de agua marina, estuarina y fluvial en la Bahía de Cartagena, como las concentraciones de mercurio en muestras de peces recolectadas en el Canal del Dique. De este diagnóstico se concluye que la existencia de esta contaminación puede poner en riesgo la salud humana de pescadores y habitantes locales y de aquellas con alta demanda de peces de río, así como la seguridad alimentaria al no poder asegurar la calidad sanitaria del pescado. Un aspecto de importancia es la falencia en los sistemas de muestreo e información de la calidad ambiental marina, los cuales si no son administrados correctamente, no solo son una pérdida económica, sino que representan desinformación sobre este y otros posibles problemas ambientales.

Otro de los productos generado a través de esta investigación, fue una propuesta de un plan de trabajo para la prevención y mitigación de la contaminación, el cual incluye medidas de control a corto plazo, innovación tecnológica a mediano plazo y reestructuración social a largo plazo.

En la búsqueda de información se obtuvieron como fuentes confiables diversos artículos científicos generados por academia e investigadores y algunos informes oficiales publicados por centros de gestión e investigación como el Invemar; la información empleada en el documento provenía principalmente de investigaciones académicas, por lo que se sugiere ampliar el lazo entre la información generada por la academia y el uso por parte del Estado para la toma de decisiones; así mismo se propone una mayor inversión en proyectos de investigación llevados a cabo por universidades e investigadores para que la información generada sea de utilidad para definir el estado actual de la contaminación marina y las acciones más apropiadas a llevar a cabo para solucionar el problema.

3. OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GENERAL

Realizar propuestas para la prevención y mitigación de la contaminación de mares y zonas costeras en Colombia por la actividad minería de oro en el Canal del Dique (Departamento de Bolívar).

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Realizar una revisión bibliográfica sobre la actividad minera y sus procesos contaminantes en el departamento de Bolívar, que pueda afectar las costas y los océanos de Colombia.
- Generar un diagnóstico sobre la contaminación de la minería de oro y sus efectos en el mar y en las zonas costeras, producto de la actividad minera en el departamento de Bolívar.
- Proponer actividades y alternativas para la prevención y mitigación del impacto de la actividad minera de oro en el Canal del Dique.
- Aportar a la consolidación del grupo de trabajo "sector minero-energético y recurso hídrico" del Comité Técnico Nacional para la prevención de la Contaminación Marina (CTN-CM) de la CCO, como espacio intersectorial de construcción de acciones conjuntas para mitigar los efectos de la contaminación marina en el país.

4. MARCO REFERENCIAL

4.1 MARCO CONTEXTUAL

La Comisión Colombiana del Océano (CCO) es un órgano intersectorial presidido por el Señor Vicepresidente de la República, la cual realiza funciones de asesoría, consulta, planificación y coordinación del Gobierno Nacional en materia de Política Nacional del Océano y de los Espacios Costeros y sus diferentes temas conexos, estratégicos, científicos, tecnológicos, económicos y ambientales relacionados con el desarrollo sostenible de los mares colombianos y sus recursos. Tiene como misión asesorar al Gobierno Nacional en temas relacionados con la Política Nacional del Océano y de los Espacios Costeros – PNOEC, con el propósito de generar conciencia y cultura marítima en los colombianos. Para el 2035 la Comisión habrá incorporado los océanos del país de manera eficiente y sostenible al desarrollo nacional y al bienestar de los colombianos [2] [3].

Dentro de las funciones de la CCO se destacan el proponer al Gobierno Nacional la Política Nacional del Océano y de los Espacios Costeros (PNOEC) para su Administración y Desarrollo Sostenible, efectuando la coordinación interinstitucional e intersectorial necesaria, y Servir de Punto Focal Nacional Técnico ante los organismos internacionales, cuya misión sea la de propender y fomentar el desarrollo sostenible, el uso, la conservación y el estudio de los espacios oceánicos y costeros, en coordinación con el Ministerio de Relaciones Exteriores y el Ministerio del Medio Ambiente, hoy Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible [4].

Para ello, la PNOEC dentro de sus áreas temáticas dictamina que el Estado apoyará las acciones necesarias para evaluar riesgos y amenazas, diagnosticar el estado actual de la calidad ambiental marina y así mismo prevenir y controlar la contaminación y degradación de los ecosistemas marinos [5]. En cumplimiento de su función, la CCO ha conformado varios Comités Técnicos Nacionales, entre ellos el Comité Técnico Nacional para la prevención de la Contaminación Marina (CTN-CM) el cual existe desde el 2003 con el propósito proteger las riquezas marinas y costeras de los impactos causados por la contaminación proveniente de fuentes terrestres y marítimas, proponiendo y ejecutando estrategias de prevención, reducción y mitigación la contaminación marina en el país, mediante la participación e integración de capacidades de las entidades nacionales competentes [6].

El CTN-CM tiene como objetivo general desarrollar estrategias y acciones conjuntas para la generación de conocimiento, la prevención, reducción y manejo de la contaminación marina del país, integrando a entidades nacionales del sector gobierno, académico y productivo. Este objetivo se cumplirá a través de:

- a. La emisión de recomendaciones de acciones a seguir, tendientes a la generación de conocimiento, la prevención, reducción y manejo de la contaminación marina

del país, para que sean incluidas en la normatividad, planes, programas, entre otros instrumentos de planeación y regulación nacional y local.

- b. La coordinación de actividades de capacitación y participación de diversos sectores, incluyendo las administraciones locales, empresas de servicios públicos e industrias, sobre las principales causas de contaminación al mar y la construcción de estrategias conjuntas para su mitigación.
- c. La participar en la actualización, ejecución y evaluación del Programa Nacional para la Investigación, Prevención, Reducción y Control de Fuentes Terrestres y Marinas de Contaminación al Mar (PNICM) y sus planes de acción correspondientes.
- d. La promoción de mecanismos de coordinación interinstitucional para la prevención y atención de derrames.
- e. La divulgación de información sobre caracterizaciones de las fuentes de contaminación al mar en un lenguaje simple y con propósitos educativos.
- f. La generación de un informe anual de gestión del CTN-CM para ser presentado a los entes territoriales del país.
- g. La orientación e información a los entes territoriales, sobre los aspectos tecnológicos, ambientales y económicos concernientes a la contaminación marina, que perjudican y benefician la zona marino costera del país, como contribución a la toma de las mejores decisiones para beneficio común [6].

Actualmente el CTN-CM trabaja coordinadamente en cinco temáticas principales según las fuentes de contaminación al mar y sus efectos: *i) Derrames y emergencias asociadas ii) Vertimientos iii) Residuos sólidos iv) Sector minero-energético y recurso hídrico, v) Salud*. El proyecto desarrollado en esta opción de grado, será insumo base para apoyar la labor del cuarto grupo de trabajo (Sector minero-energético y recurso hídrico).

4.2 MARCO TEÓRICO

Para el estudio de fenómenos y procesos se emplean técnicas documentales así como técnicas de análisis de información y gestión de estrategias. Estas técnicas se caracterizan por ser sistemáticas, ordenadas, metódicas, racionales, reflexivas y críticas.

Los problemas que involucran elementos sociales, ambientales, económicos y productivos pueden apreciarse como procesos de interacción dinámicos, los cuales deben ser gestionados para llegar a una calidad determinada mediante estrategias de control de procesos, viendo la actividad global como el proceso y cada una de sus interacciones en los componentes sociales, económicos, ambientales y

productivos como las operaciones unitarias dentro de éste. A nivel organizacional, este interés ha originado diversas herramientas y técnicas relacionadas con la gestión basada en los procesos mismos, entre los modelos de gestión de empresa destacan por su amplia aceptación los modelos de causa efecto [7].

Los modelos o diagramas causa-efecto son representaciones gráficas que expresan una relación cualitativa entre los factores que pueden contribuir al desarrollo de un efecto o fenómeno determinado. Estos factores son ampliamente usados debido a su impacto visual, la muestra entre su efecto y su posible causa, su orden y precisión, su capacidad de comunicación y la simplicidad que representa en aun situaciones complejas, siendo preciso y entendible a primera vista [8].

Para poder elaborar un diagrama de causa-efecto debe tenerse en claro el “efecto” o el atributo de calidad que corresponde a la acción a la que se quiere llegar con el diagrama. En el caso del presente proyecto, este estado de calidad corresponde a la solución del problema de la contaminación marina por minería de oro en el departamento de Bolívar. Luego de identificar el efecto, se describirá el problema a tratar, es decir lo que nos impide llegar al estado de calidad deseado, lo que nuevamente en el caso del presente proyecto son los mares contaminados por la actividad minera de oro; posterior a esto se deben determinar las causas al problema y si es posible asociarlas a un factor de importancia [7]. La técnica adecuada para relacionar las causas y los efectos, una vez definido el problema central, es la lluvia de ideas. Esta técnica consiste en hacer un listado de todas las posibles causas y efectos del problema que surjan, luego de haber realizado un diagnóstico sobre la situación que se quiere resolver [7].

Dos de los diagramas causa-efecto más empleados son los diagramas de árboles de problemas y los diagramas de espina de pez.

El diagrama o esquema de árbol de problemas es una técnica empleada para la identificación de situaciones negativas, comúnmente conocidas como problemas centrales, las cuales se buscan solucionar mediante el análisis de sus relaciones tipo causa-efecto; para esto, el problema debe expresarse de tal manera que las relaciones entre las causas y los efectos permitan proponer alternativas de solución diversas. Este diagrama recibe su nombre ya que gráficamente las consecuencias del problema representan las hojas de un árbol, el problema el tronco y sus causas las raíces [9].

El procedimiento para la elaboración de un diagrama de árbol de problemas es el mismo descrito anteriormente como causa-efecto, solo que en este esquema se exponen tanto las causas que generan el problema como los efectos negativos que éste produce, y se interrelacionan los tres componentes gráficamente [9].

Este diagrama tiene la ventaja de establecer más claramente la relación entre las diferentes causas y consecuencias o efectos negativos, adjudicando mayor complejidad a aquellas raíces que presentan más nodos y divisiones en la estructura [9].

Los diagramas de espina de pez o diagramas Ishikawa son representaciones gráficas sencillas en la que mediante un esquema que asemeja una espina vertebral central de un pez; relacionan en un plano horizontal el problema a analizar y como intersecciones a este plano las posibles causas. Para la elaboración de este diagrama es necesario enlistar todas las posibles causas identificadas ya sea por una lluvia de ideas de expertos en el tema o basados en información bibliográfica recopilada, luego de esta identificación se pueden determinar cuáles de estas son causas principales para ubicarlas en los huesos primarios y cuáles son las secundarias producto de estas principales que irían en huesos secundarios [10].

Los conceptos descritos anteriormente corresponden al término círculos de calidad o reingeniería de procesos, el cual supone un cambio radical en la forma de operar un sistema o proceso. Es la reconsideración fundamental y el rediseño del proceso para conseguir una mejora en medidas de rendimiento, costo beneficio, servicio, calidad, entre otros. Es por esto que bajo estos principios se desarrolla el presente proyecto, ya que al establecer la situación de mares no contaminados por la actividad minera de oro ilegal en el departamento de Bolívar, se debe idear y diseñar los medio necesarios para lograr el objetivo sin sentirse atado al panorama actual, esto supondrá un lastre a nuevas ideas [7].

4.2 MARCO CONCEPTUAL

Autoridad Nacional de Acuicultura y Pesca (AUNAP): Es la autoridad pesquera y acuícola de Colombia. La AUNAP adelantas procesos de planificación, investigación, ordenamiento, fomento, regulación, registro, información, inspección, vigilancia y control de las actividades de pesca y acuicultura, aplicando las sanciones a que haya lugar, dentro de una política de fomento y desarrollo sostenible de los recursos pesqueros [11].

Agencia Nacional de Minería (ANM): es una entidad de carácter técnico que busca impulsar el sector minero con transparencia, eficiencia, responsabilidad ambiental, social y productiva. Es la autoridad minera de Colombia [12].

Agua estuarina: Muestra de agua correspondiente a un estuario (Intersección entre río y mar).

Agua fluvial: Muestra de agua perteneciente a un cuerpo fluvial (Río).

Agua marina: Muestra de agua correspondiente a un sistema marino.

Amalgamación: Es un proceso de extracción del oro en la minería artesanal o a pequeña escala, el cual consiste en la mezcla del mercurio con la masa de grava y oro, la cual forma una amalgama que al ser calentada a temperaturas mayores a 460°C evapora el mercurio y el material sobrante, dejando únicamente la pieza de oro [13].

Asociación Colombiana de Minería (ACM): es una agremiación que nace de la integración de Asomineros de la ANDI, Cámara Colombiana de Minería y Sector Minería a Gran Escala, que busca a través de la integración, unificar el sector minero empresarial, generar transferencia de conocimiento e impulsar un sector formal con integralidad en materia técnica, ambiental, social y de derechos humanos, con beneficios para las regiones y el país [14].

Bioacumulación: es el proceso mediante el cual una sustancia química es acumulada en una especie determinada en función de la concentración del químico presente en el medio [15].

Biomagnificación: involucra el incremento en la concentración del químico de organismo a organismo a medida que la especie aparece en niveles ascendentes de la cadena alimenticia [16].

Buenas prácticas de producción minera: Conjunto de Medidas y actividades implementadas en procesos productivos de oro que evitan o reducen el impacto ambiental, social, económico o en la salud humana [17]

Caja concentradora: son aparatos de concentración gravimétrica con flujo laminar sobre una superficie inclinada [17].

Censat Agua Viva: Organización ambientalista para la comunicación, la educación, la investigación y la organización de acciones ambientales y sociales que busca alternativas teóricas, políticas, metodológicas y técnicas al Desarrollo y a los problemas relacionados con la salud, el trabajo y el medio ambiente. Abogamos por la construcción de sociedades sustentables [18].

Certificación minera artesanal o de pequeña escala: Es una etiqueta que se otorga al oro producido por mineros artesanales y de pequeña escala que respetan un conjunto predefinido normas de desarrollo social, económico, laboral y ambiental [19].

Comisión Colombiana del Océano (CCO): es un órgano intersectorial de asesoría, consulta, planificación y coordinación del Gobierno Nacional en materia de Política Nacional del Océano y de los Espacios Costeros y sus diferentes temas conexos, estratégicos, científicos, tecnológicos, económicos y ambientales relacionados con el desarrollo sostenible de los mares colombianos y sus recursos [3].

Dirección General Marítima (DIMAR): Es la Autoridad Marítima Nacional que se encarga de ejecutar las políticas del Gobierno en materia marítima [20].

Fondo Mundial para la Naturaleza (WWF): Organización no gubernamental que busca asegurar la integridad ecológica de los ecosistemas prioritarios, al tiempo que impulsa el desarrollo sostenible social y económico, así como la reducción de la huella ecológica [21].

Foro Nacional Ambiental: es una alianza de carácter permanente compuesta por ocho organizaciones, que ofrece un escenario público de reflexión y análisis de las

políticas ambientales nacionales con el fin de contribuir al objetivo de fortalecer la protección ambiental de Colombia en el contexto del desarrollo sostenible [22].

Intoxicación por mercurio: Es la intoxicación ocasionada por la ingestión de pescado con altas concentraciones de metilmercurio, comúnmente caracterizada por lesiones en el sistema nervioso central y que además genera alteraciones del desarrollo del embrión o del feto lo cual puede generar malformaciones congénitas [15].

Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras “José Benito Vives de Andrés” (INVEMAR): es una institución dedicada a la investigación ambiental básica y aplicada de los recursos naturales renovables y del medio ambiente en los litorales y ecosistemas marinos y oceánicos de interés nacional con el fin de proporcionar el conocimiento científico necesario para la formulación de políticas, la toma de decisiones y la elaboración de planes y proyectos que conduzcan al desarrollo de estas, dirigidos al manejo sostenible de los recursos, a la recuperación del medio ambiente marino y costero y al mejoramiento de la calidad de vida de los colombianos [23].

Instituto Nacional de Salud (INS): Es un instituto científico técnico de referencia nacional, que contribuye al mejoramiento de la salud de los colombianos a través de la generación de conocimiento científico, investigación y vigilancia [24].

Mercurio: Metal de gran impacto en los ecosistemas, que puede aparecer en el ambiente por fenómenos naturales o por actividades humanas, el cual por su propiedad tóxica afecta el bienestar de los ecosistemas y la salud humana. Se encuentra en el ambiente en forma elemental como Hg^0 , mercurio monovalente, mercurio divalente y mercurio orgánico. Es un elemento volátil y de fácil sedimentación en las fuentes hídricas [15].

Metilmercurio: Es originado por los ecosistemas acuáticos a partir de la metilación del mercurio inorgánico, el metilmercurio puede ser directamente bioacumulado por organismos acuáticos y biomagnificado a través de la cadena alimenticia [16].

Minería de datos: Es la compilación de los materiales bibliográficos existentes (Documentos o textos de carácter científico) y la forma de utilizar de los mismos. Mediante el estudio de la organización de los sectores tecnológicos generados a partir de las fuentes de información confiables (Buscadores de información). La minería de datos permite elaborar estudios sobre autores, títulos de publicaciones, año de la publicación, crecimiento de la ciencia, producción científica, tipo de documento, idioma y región a través de un análisis bibliográfico analítico aplicando métodos estadísticos [25].

Minería ilegal: Actividad minera desarrollada sin estar inscrita en el Registro Minero Nacional y, por lo tanto, sin título minero. Es la minería desarrollada de manera artesanal e informal, al margen de la ley. También incluye trabajos y obras de exploración sin título minero. Incluye minería amparada por un título minero, pero

donde la extracción, o parte de ella, se realiza por fuera del área otorgada en la licencia [26].

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS): es una entidad pública de carácter nacional cuyo objetivo es ser el rector de la gestión del ambiente y de los recursos naturales renovables, orientar y regular el ordenamiento ambiental del territorio y definir las políticas y regulaciones a las que se sujetarán la recuperación, conservación, protección, ordenamiento, manejo, uso y aprovechamiento sostenible de los recursos naturales renovables y del ambiente de la nación [27].

Ministerio de Minas y Energía (MME): es una entidad pública de carácter nacional del nivel superior ejecutivo central, cuya responsabilidad es la de administrar los recursos naturales no renovables del país asegurando su mejor y mayor utilización; la orientación en el uso y regulación de los mismos, garantizando su abastecimiento y velando por la protección de los recursos naturales del medio ambiente con el fin de garantizar su conservación, restauración y el desarrollo sostenible, de conformidad con los criterios de evaluación, seguimiento y manejo ambiental, señalados por la autoridad ambiental competente [28].

Población: Incluye a las comunidades mineras del departamento de Bolívar, los pescadores, habitantes del departamento y la Bahía de Cartagena y demás comunidades directamente involucradas con el problema.

REDCAM: La Red de Monitoreo de la Calidad de aguas marinas y costeras de Colombia (REDCAM), es un programa de carácter interinstitucional y herramienta útil para la gestión y toma de decisiones del Ministerio del Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS) y de las Corporaciones Autonomas Regionales con injerencia costeras y en general del SINA, en temas de contaminación marina-costera [23].

Retorta: Es un mecanismo de campana empleado en el proceso de amalgamación, el cual evita las pérdidas de mercurio en el proceso de calentamiento de la amalgama para recuperar el oro libre [17].

Sostenibilidad: Conjunto de estrategias que garantizan la satisfacción de las necesidades actuales sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer las suyas, integrando procesos multidimensionales de los sistemas económicos, ambientales y sociales [29].

Teoría general de sistemas: es una herramienta interdisciplinaria de enfoque científico que permite justificar los fenómenos que suceden en la realidad y así mismo hacer una posible predicción de esta conducta fuera de la realidad. Se fundamenta en la creación de un modelo que refleje el ambiente en el que sucede el fenómeno, describe elementos del fenómeno así como sus atributos. A través de la organización del modelo, la teoría permite construir una estructura de relación de los elementos y sus atributos con distintos niveles de complejidad [30].

Teoría de grafos: Permite abstraer relaciones complejas de estructuras para luego ser representadas gráficamente; permite identificar vínculos, nodos y direcciones

para así poder dar una idea gráfica de cómo se transmite un evento entre sus elementos [31].

Unidad de Planeación Minero Energética (UPME): es una Unidad Administrativa Especial del orden Nacional, de carácter técnico que tiene como misión Planear de manera integral el desarrollo minero energético, apoyar la formulación de política pública y coordinar la información sectorial con los agentes y partes interesadas [32].

4.4 MARCO LEGAL

En este capítulo, se expondrá la normatividad relacionada con el tema global de la minería de oro en Colombia, su impacto en el medio ambiente y la proyección nacional de desarrollo.

Tabla 1: Normativa aplicable.

Tema	Normativa	Descripción
Minería	Decreto 2636/1994	Legalización minería de hecho 1994
	Ley 685/2001	Código de Minas. Ley minera aplicable en Colombia a partir de 2001
	Decreto 2390/2002	Legalización minería de hecho 2001
	Decreto 2653/2003	Por el cual se reglamenta el artículo 63 de la Ley 685 de 2001. Asignación de peritos para determinar interferencia entre titular minero y legalización.
	Ley 1382/2010	Modificación al Código de Minas Ley 685. Declarada Inexequible. Vigente hasta mayo 2013
	Decreto 2715/2010	Legalización minería tradicional 2010
	Sentencia C-366 Corte Constitucional	Declara Inexequible la ley 1382 de 2010
	Decreto 4134/2011	Por el cual se crea la Agencia Nacional de Minería, ANM, se determina su objetivo y estructura orgánica

	Resolución 18-1467/2011	Por la cual se adopta la Política Nacional de Seguridad Minera
	Decreto 0933/2013	Por el cual se dictan disposiciones en materia de formalización de minería tradicional y se modifican unas definiciones del Glosario Minero
	Ley 1658/2003	Por medio de la cual se establecen disposiciones para la comercialización y el uso de mercurio en las diferentes actividades industriales del país, se fijan requisitos e incentivos para su reducción y eliminación y se dictan otras disposiciones
	Resolución 90325/2014	Por medio del cual se adoptan los criterios de los planes de mitigación en los sectores de Energía Eléctrica, Minería e Hidrocarburos.
	Resolución 90719/2014	Por la cual se adopta la Política Nacional para la formalización de la minería.
Ambiental	Decreto-Ley 2811/1974	Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente
	Ley 99/1993	Creación del Ministerio del Medio Ambiente, se reordena el Sector Público encargado de la gestión y conservación del medio ambiente y los recursos naturales renovables, se organiza el Sistema Nacional Ambiental- SINA
	Ley 388/1997	Ley de Desarrollo Territorial. Modifica la Ley 9 de 1989 y la Ley 2 de 1991
	Ley 1333/2009	Establece el procedimiento sancionatorio ambiental
	Ley 373/1997	Establece el programa para el uso eficiente y ahorro del agua
	Ley 430/1998	Normas prohibitivas en materia ambiental, referentes a los desechos peligrosos
	Ley 1658/2003	Por medio de la cual se establecen disposiciones para la comercialización y el uso de mercurio en las diferentes actividades industriales del país, se fijan requisitos e incentivos para su reducción y eliminación y se dictan otras disposiciones
	Ley 1715/2014	Por medio de la cual se regula la integración de las energías renovables no convencionales al Sistema Energético Nacional

	Decreto 2041/2014	Por el cual se reglamenta el Título VIII de la Ley 99 de 1993 sobre licencias ambientales
	Resolución 0631/2015	Por la cual se establecen los parámetros y los valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales a cuerpos de agua superficiales.
Plan Nacional de Desarrollo	Ley 9812/2003	Plan Nacional de Desarrollo 2002 - 2006
	Ley 1151/2007	Plan Nacional de Desarrollo 2006 - 2010
	Ley 1450/2011	Plan Nacional de Desarrollo 2010 - 2014
PND Minero	PND Minero 2002 - 2006	Plan Nacional de Desarrollo Minero 2002 - 2006
	PND Minero 2007 - 2010	Plan Nacional de Desarrollo Minero 2007 - 2010
	PND Minero 2010 - 2019	Plan Nacional de Desarrollo Minero visión a 2019
Declaración Internacional sobre Producción Más Limpia	Protocolo 2000	Protocolo relativo a la contaminación procedente de fuentes y actividades terrestres del convenio para la protección y el desarrollo del medio marino de la región del gran caribe

* No se incluye el decreto 1594 de 1984 porque no contempla la concentración de metales pesados en el agua de uso recreativo ni en el ecosistema marino que sustenta la producción pesquera del país.

Fuente: Elaboración propia.

5. DESARROLLO DE LA PASANTÍA

En la primera parte del proyecto se realizó una búsqueda y revisión bibliográfica empleando técnicas de la metodología de minería de datos, inicialmente se desarrolló un algoritmo de búsqueda que recopiló los términos generales del sondeo a realizar. De esta manera, se lograron analizar aspectos de distribución espacial y temporal de la información, así como la determinación de áreas de desarrollo de los temas incluidos en el algoritmo y principales enfoques del área de conocimiento.

La recopilación de información se llevó a cabo a través de los motores de búsqueda “Scopus”, “ScienceDirect” y “Google Académico”, al igual que en los centros de datos de entidades nacionales de carácter gubernamental como el Ministerio de Minas y Energía, la Unidad de Planeación Minero Energética y la Contraloría General de la Nación, así como entidades académicas nacionales como la Universidad de Cartagena y la Universidad Jorge Tadeo Lozano.

Para realizar la búsqueda de información se utilizaron algoritmos de búsqueda de palabras claves de la siguiente manera: “MINERIA and ORO”, “MINERÍA and COLOMBIA”, “CONTAMINACIÓN and MINERÍA”, “MINERÍA and AURÍFERA”, “MINNING and PROBLEMATICAS”, “MAR and MERCURY”, “MINNING and IMPACT”, entre otros. Los filtros de búsqueda dependieron del tema a tratar. Para el estado del arte las áreas temáticas seleccionadas se centraron en temas de economía, historia e ingeniería, y se buscaron artículos desde 1970 hasta el año 2014. Para la problemática en general las áreas a enfocar la búsqueda son en temas de ciencias naturales, ingeniería y economía, y la búsqueda se filtró para los últimos 20 años, es decir desde el año 1984 hasta el año 2014.

La búsqueda preliminar permitió encontrar los documentos, algunos de los cuales fueron considerados como más relevantes (tabla 2), al aportar al documento datos válidos para cuantificar el problema y así mismo desarrollar un diagnóstico adecuado:

Tabla 2: Bibliografía encontrada en los motores de búsqueda Scopus, ScienceDirect y Google Académico.

TEMA	TIPO DE DOCUMENTO	TÍTULO	AUTOR	AÑO	PAÍS
Contaminación por mercurio	Artículo	Hair mercury levels in different occupational groups in Southern Bolivar	J. Olivero, C. Mendoza and J. Mestre	1995	Colombia

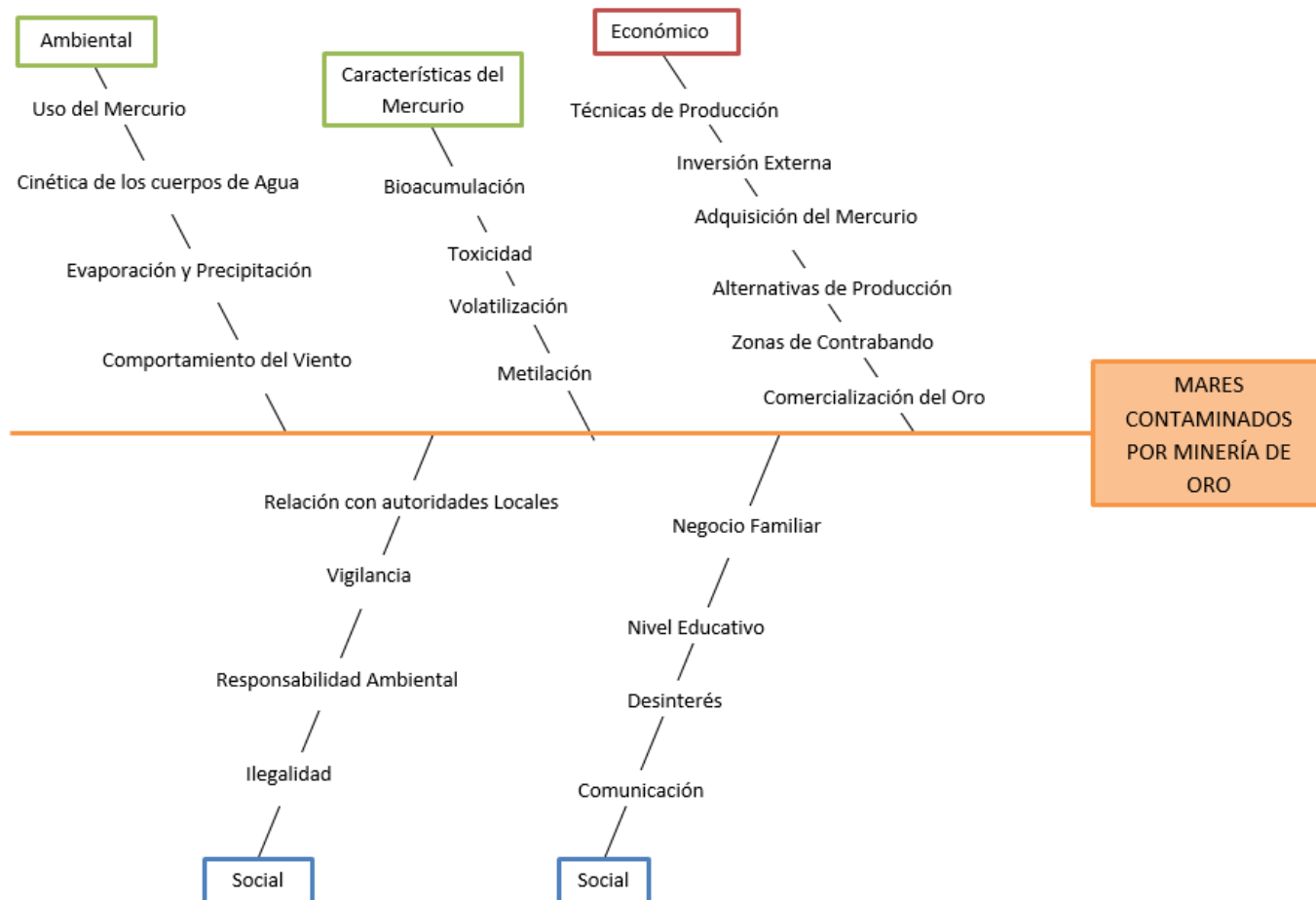
Contaminación por mercurio	Artículo	Mercury in environmental samples from a waterbod contaminated by gold mining in Colombia, South America	J. Olivero and B. Solano	1998	Colombia
Contaminación marina	Informe	Programa nacional de investigación, evaluación, prevención, reducción y control de fuentes terrestres y marinas de contaminación al mar - PNICM	MAVDT, INVEMAR, CCO	2004	Colombia
Contaminación marina	Informe	Informe del estado de los ambientes marinos y costeros en Colombia 2004	Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras "Jose Benito Vives De Andrés" - INVEMAR	2005	Colombia
Minería de Oro	Informe	Manual for training artisanal and small-scale gold miners	M. Veiga, S. Metcalf, R. Baker, B. Klein, G. Davis, A. Bamber, S. Siegel and P. Singo	2006	Austria
Minería de Oro	Informe	Global impacts of mercury supply and demand in small-scale gold mining	S. Spiegel And M. Veiga	2007	Kenia
Minería de Oro	Informe	El uso del mercurio en la minería del oro artesanal y en pequeña escala	Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente - PNUMA	2008	Kenia
Minería de Oro	Informe	Censo minero departamental colombiano	Ministerio de Minas y Energía	2011	Colombia

Contaminación marina	Informe	Diagnóstico y evaluación de la calidad ambiental marina en el Caribe y Pacífico colombiano 2011	Red de Vigilancia para la Conservación y Protección de las Aguas Marinas y Costeras de Colombia - REDCAM	2012	Colombia
Contaminación por mercurio	Informe	Contaminación con mercurio por la actividad minera," <i>Biomédica</i>	Instituto Nacional de Salud	2012	Colombia
Contaminación por mercurio	Libro	El lado gris de la minería del oro: La contaminación con mercurio en el norte de Colombia	J. Olivero and B. Jhonson	2012	Colombia
Contaminación por mercurio	Artículo	Content of mercury in muscle of some commercial fish species present in eight sampling sites from the Magdalena river basin (low, medium and high)	L. Lancheros	2013	Colombia
Contaminación marina	Informe	Diagnóstico y evaluación de la calidad ambiental marina en el Caribe y Pacífico colombiano 2013	Red de Vigilancia para la Conservación y Protección de las Aguas Marinas y Costeras de Colombia - REDCAM	2014	Colombia

Fuente: Elaboración propia.

Luego de analizar la información recolectada, se elaboró un diagrama de espina de pez para la visualización de las causas del problema de la contaminación marina por la actividad minera de oro ilegal en el departamento de Bolívar como lo muestra la gráfica 1.

Gráfico 1: Diagrama de espina de pez



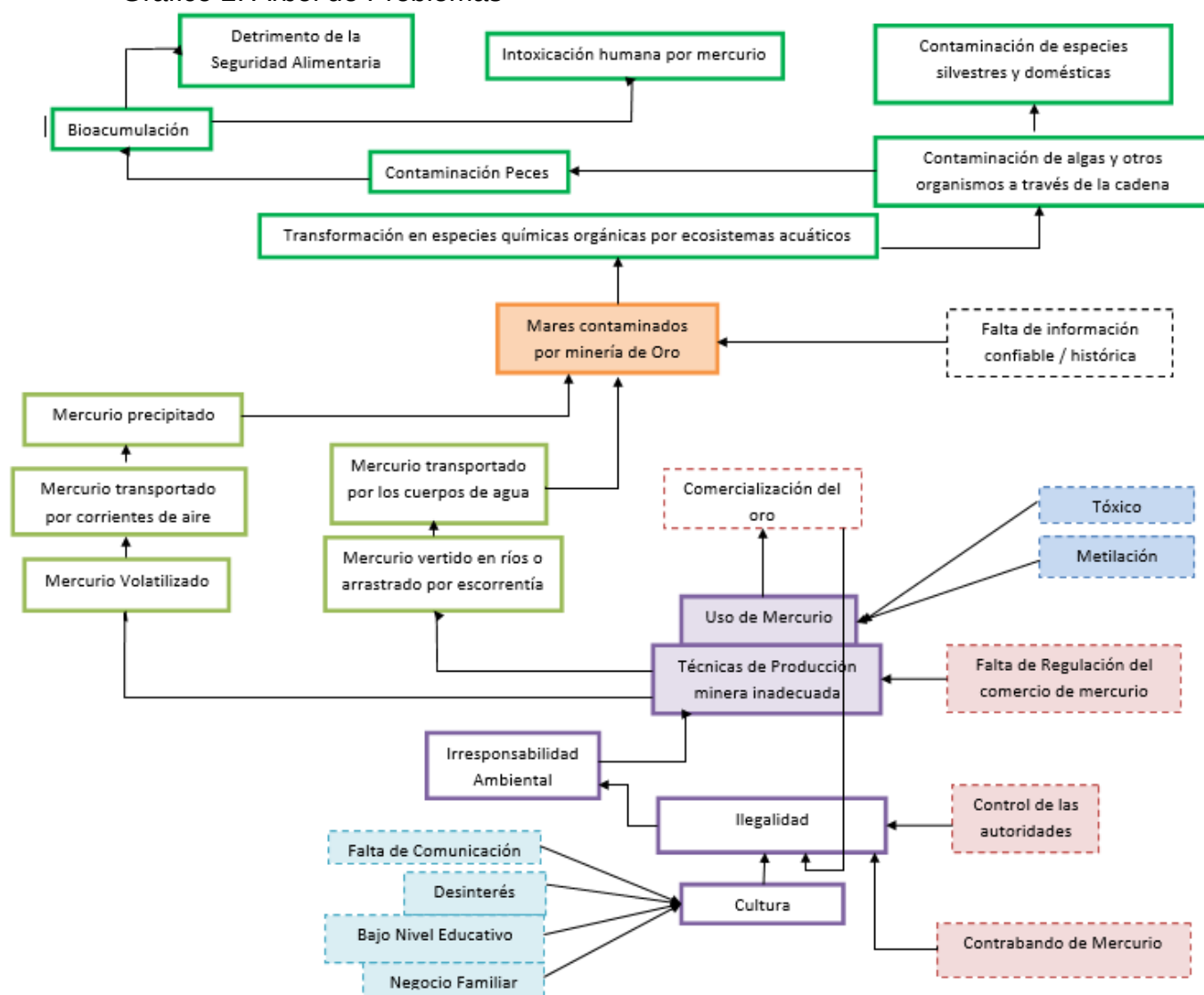
Fuente: Elaboración propia en colaboración con Comisión Colombiana del Océano

El diagrama de espina de pez fue diseñado teniendo en cuenta los tres aspectos de la sostenibilidad global como lo es la interacción entre lo ambiental, lo económico y lo social. Cada una de las grandes ramas de la sostenibilidad se ven afectadas por problemas de la actividad minera aurífera, así mismo cada una de las causas generan y contribuyen al problema de la contaminación marina por este tipo de minería. En este esquema, los recuadros representan las espinas o causas principales del problema; La espina roja son aspectos relacionados con el componente económico dentro de la definición de desarrollo sostenible, la cual describe como sub causas aquellos aspectos de los métodos, técnicas e inversión económica en los procesos productivos de la actividad minera. Las espinas verdes por su parte relacionan las características del mercurio como contaminante que son decisivas para que el su presencia en el ambiente sea considerado un problema ambiental, así como aspectos relacionados con la cinética del contaminante en el medio ambiente. Por último, las espinas azules representan el componente social

del problema, donde las falencias sociales tales como la ilegalidad y el nivel educacional representan las causas en las que la sociedad contribuye al problema

Se estructuró un diagrama de árbol para representar la profundidad de los problemas, los posibles ciclos que se forman, la interrelación entre las diferentes causas del problema de la contaminación marina por minería de oro y como las causas antes mencionadas interactúan. Este diagrama es una estrategia de la teoría general de sistemas y la teoría de grafos utilizado para la toma de decisiones (gráfica 2).

Gráfico 2: Árbol de Problemas



Fuente: Elaboración propia en colaboración con Comisión Colombiana del Océano

Dentro del diagrama se establecieron las causas y consecuencias del problema a tratar. Las causas detalladas corresponden a las identificadas en el diagrama de espina de pez. En el esquema se demuestra la relación entre las diferentes causas, así como los nodos de diferentes problemáticas y las raíces superficiales o problemáticas asociadas directamente al problema. Teóricamente, entre mayor profundidad tengan las causas, mayor esfuerzo requerirá su eliminación o restricción. El caso de la causa transversal al esquema corresponde a la falta de información confiable o histórica, ya que en la elaboración del documento se encontró poca información o poco representativa sobre el tema a tratar, lo cual aunque no es una causa del problema, es un agravante al no existir conocimiento sobre la dimensión real del problema; es un problema que se encuentra en cada componente del aspecto sostenible. Otro aspecto a resaltar del diagrama es el círculo de la comercialización del oro, ya que al existir compra y venta del oro producido de manera ilegal, el evento sigue repitiéndose; si éste no fuera comprado, no existiría incentivo para el desarrollo de la actividad económica. Con respecto a los efectos o consecuencias del problema, estos debido a que son de gran importancia, fueron considerados y descritos en el documento diagnóstico, tales como el detrimento a la seguridad alimentaria, la contaminación en peces y en sistemas acuáticos, ya que son la evidencia y nos permite conocer el estado actual del problema en la zona de estudio. El documento diagnóstico puede ser encontrado en el anexo 3.

Con el análisis del diagrama de árbol de problemas, se logró priorizar las causas y así mismo determinar el periodo de tiempo de acción en el que éstas serían controladas o eliminadas para solucionar el problema de la contaminación marina por la actividad minera de oro. Esta información se representa en la tabla 3.

Tabla 3: Priorización de causas.

Tiempo (Plazo)	Componentes de Sostenibilidad Global			Responsables
	Social	Ambiental	Económico	
Corto	Vigilancia- Control	Vertimiento / Escorrentía	Comercialización de Hg	Población Policía Alcaldías Ministerio de Minas Cardique Bancos de emprendimiento Centros de Enseñanza

	Falta de información	Evaporación	Falta de información	Ministerio de Educación Ministerio de Ambiente UPME Ministerio de Salud Instituto de Salud AUNAP Ministerio de Agricultura Instituciones educativas y de investigación
		Falta de información		
Mediano	Relación con autoridades locales	Uso del mercurio	Técnicas de producción	Población Policía Alcaldías Ministerio de Comercio DIAN Centros de enseñanza Ministerio de Minas UPME Instituciones educativas y de investigación
	Adquisición y contrabando de mercurio			
Largo	Ilegalidad	Peces contaminados	Certificación producción limpia de oro	Población Ministerio de Educación Ministerio de Minas Instituciones educativas y de investigación
	Cultura			

Fuente: Elaboración propia

Dentro de las soluciones directas al problema, la implementación de tecnologías para evitar la propagación del contaminante, el aumento del personal de vigilancia o las técnicas de control de la ilegalidad, son acciones que podrían efectuarse en un periodo inferior a cinco años, ya que para la investigación y el dimensionamiento de una tecnología adecuada al problema están a disposición diferentes entes como organismos institucionales, educativos o privados, que podrían realizar las labores pertinentes.

Acciones como la creación y ejecución de nueva normatividad toman un periodo de tiempo aun mayor pero no superior a 10 años, ya que la puesta en práctica y el desarrollo de esta meta se ve limitada por la capacidad operativa de las entidades gubernamentales y del sector público; así mismo estrategias como cambios de tecnología y capacitaciones a los mineros pueden desarrollarse en varias etapas pero dentro del mismo periodo.

Para las causas más profundas del problema, se considera un periodo de tiempo mayor a 30 años correspondiente al relevo generacional, ya que éstas involucran aspectos de la cultura local, las cuales solo pueden corregirse con educación básica y una formación integral para lograr el cambio en las nuevas generaciones, así se corregirán aquellos aspectos humanos y sociales que hacen propenso al hombre en incurrir en la ilegalidad y en aquellas actividades económicas que generan impactos sociales y ambientales que impiden una sostenibilidad.

6. RESULTADOS OBTENIDOS

El desarrollo de la pasantía generó como resultado final un plan de trabajo para dar solución al problema de la contaminación por minería de oro en el mar Caribe y específicamente para la Bahía de Cartagena, además de un documento diagnóstico que servirá de apoyo a la toma de decisiones. Los resultados obtenidos fueron los siguientes:

6.1 Se generó una base de datos que contiene la bibliografía recopilada a lo largo del desarrollo de la pasantía. Este producto servirá como apoyo y referencia para abordar el problema general de la contaminación marina y la minería de oro en el Canal del Dique en el departamento de Bolívar. La base de datos puede encontrarse en el [anexo 1](#).

6.2 Se desarrolló un documento diagnóstico basado en la información relevante obtenida de la revisión bibliográfica realizada. En este documento se presenta la información recopilada sobre el estado actual de la contaminación en la Bahía de Cartagena por mercurio producto de la actividad minera de oro en el departamento de Bolívar, así como las evidencias de la contaminación por esta actividad en organismos acuáticos en la cuenca del Canal del Dique. El documento completo se encuentra en el [anexo 2](#).

6.3 Para la prevención y mitigación de la actividad minera de oro en el Canal del Dique y su impacto en la costa Caribe Colombia se propuso un plan de trabajo que contempla una propuesta para tres periodos de tiempo (largo plazo, mediano plazo y corto plazo) las medidas a llevar a cabo bajo el concepto global de sostenibilidad.

6.3.1 Objetivo general del plan: Plantear una solución al problema de contaminación del mar Caribe por la actividad minera de oro ilegal en departamento de Bolívar bajo el concepto de sostenibilidad global.

6.3.2 Objetivos específicos:

6.3.2.1 Intervenir el componente social de la producción minera ilegal de oro en el departamento de Bolívar.

6.3.2.2 Intervenir el componente ambiental de la producción minera ilegal de oro en el departamento de Bolívar.

6.3.2.3 Intervenir el componente económico de la producción minera ilegal de oro en el departamento de Bolívar.

En este plan se estructuraron y articularon las acciones y los participantes del grupo de trabajo “Sector minero energético y Recurso Hídrico” del Comité Técnico Nacional para la prevención de la Contaminación Marina. La estructura completa se presenta en el [Anexo 3](#).

6.4 Dentro de las actividades desarrolladas para la Comisión Colombiana del Océano, se consolidaron los miembros que harían parte del grupo de trabajo “sector minero energético y recurso hídrico” para el Comité Técnico Nacional para la prevención de la Contaminación Marina, así como algunos miembros invitados que estarían presentes en algunas reuniones. Así mismo se proyectaron los oficios correspondientes para la invitación a la primera reunión del grupo de trabajo. El listado de miembros e invitados se encuentran en el [anexo 4](#) de este documento.

Adicional al plan de trabajo generado, se plantean las siguientes recomendaciones sobre algunos aspectos y falencias encontrados en la búsqueda de información para el desarrollo del proyecto:

- a. La evidencia de metales pesados como el mercurio en la Bahía de Cartagena se produce mediante la toma de muestras de sustrato agua en las zonas fluviales, estuarinas y marinas, se recomienda realizar mediciones en secciones fluviales internas en la zona continental como pueden ser el inicio del canal del Dique en el departamento de Bolívar y no en la zona costera, ya que al existir una contaminación antigua, la raíz de la contaminación no sería identificada, debido a que los vertimientos realizados por actividades industriales en la Bahía de Cartagena que empleaban como catalizador el mercurio enmascaran la contaminación marina por mercurio se produce por la actividad minera de oro.
- b. Una opción de mejora tecnológica es la transición de amalgamación con mercurio a eliminación de los materiales sobrantes mediante el uso del cianuro. Ya que, para remediar la contaminación por cianuro existen alternativas que lo degradan completamente, como lo es la eliminación de cianuro por bacterias [33].
- c. Una herramienta para la implementación de las buenas prácticas de explotación y producción del oro en la actividad minera en Colombia, está contemplada en el documento “Producción más limpia en la minería de oro en Colombia” publicado por la UPME; este documento puede ser usado en talleres y conversatorios dirigidos a la comunidad minera.
- d. Todas las propuestas a desarrollar que estén dirigidas a los mineros de oro, deben ser promocionadas a través de los líderes de las comunidades mineras, ya que al no existir actualmente buenas vías de comunicación entre el estado y los autores de la actividad minera ilegal las ideas no son efectivas; al promoverse a través de los líderes, la comunicación viaja a través de enlaces de confianza, por lo que su efectividad es mayor. [34].
- e. En la búsqueda de información se obtuvieron como fuentes confiables diversos artículos científicos creados por academia e investigadores y algunos informes oficiales generados por centros de gestión e investigación como en el caso del Invemar; la información empleada en el documento provenía principalmente de investigaciones académicas, por lo que se sugiere ampliar el lazo entre la información generada por la academia y el uso por parte del Estado para la toma

de decisiones, así mismo se propone una mayor inversión en proyectos de investigación llevados a cabo por universidades e investigadores para que así mismo esta información sea de utilidad para definir el estado actual de la contaminación marina y las acciones más apropiadas a llevar a cabo para solucionar el problema.

- f. La determinación de los niveles actuales de mercurio en la costa Atlántica es necesaria para proponer acciones que disminuyan el riesgo de afectación al ser humano y el daño a los servicios económicos y ambientales que brinda el océano. Por este motivo se recomienda llevar a cabo los estudios necesarios por parte de las autoridades pertinentes, contando con la colaboración de todos los organismos y entes gubernamentales y privados para dar solución al problema.
- g. Como se evidenció en documento diagnóstico, los reportes sobre concentración de mercurio en la Bahía de Cartagena no son representativos al ser medidos en épocas climáticas diferentes, por lo que se evidencia una falencia en el Estado de información y datos oceánicos del Caribe colombiano; es por este motivo que se recomienda encontrar la raíz del problema a la carencia de información y dar posible solución. Así mismo se recomienda incluir la concentración de mercurio en el océano dentro del conjunto de datos para la determinación del índice de salud de los océanos para Colombia, ya que el problema de la contaminación de mercurio implica aspectos de salud ecosistémica, salud pública y seguridad alimentaria [35].

7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] SUPERINTENDENCIA DE SOCIEDADES, «Comportamiento de las 1.000 empresas más grandes del sector real,» SUPERINTENDENCIA DE SOCIEDADES, Bogotá, 2014.
- [2] VICEPRESIDENCIA DE LA REPÚBLICA, «VICEPRESIDENCIA: Todos por un nuevo país,» Presidencia de la República de Colombia, [En línea]. Available: <http://www.vicepresidencia.gov.co/programas/Paginas/comision-oceano.aspx>. [Último acceso: 14 Noviembre 2014].
- [3] COMISIÓN COLOMBIANA DEL OCÉANO, «¿Quiénes Somos?: Comisión Colombiana del Océano,» 2014. [En línea]. Available: http://www.cco.gov.co/quienes_somos.html.
- [4] MINISTERIO DE DEFENSA NACIONAL, «Decreto 347 de 2000,» Presidencia de la República, Bogotá, 2000.
- [5] COMISIÓN COLOMBIANA DEL OCÉANO, Política nacional del océano y de los espacios costeros, Bogotá: Secretaría ejecutiva, CCO, 2013.
- [6] COMISIÓN COLOMBIANA DEL OCÉANO, «Asuntos Costeros: Comisión Colombiana del Océano,» 2014. [En línea]. Available: http://www.cco.gov.co/cont_marina.html.
- [7] J. ZARATIEGUI, «La Gestión por Procesos: Su papel e importancia en la empresa,» *Economía Industrial*, pp. 81-88, 1999.
- [8] H. Kume, Herramientas estadísticas básicas para el mejoramiento de la calidad, Bogotá: Grupo Editorial Norma, 2002.
- [9] E. MARTÍN, «Gestión de instituciones educativas inteligentes,» Universidad Complutense de Madrid, Madrid, 2002.
- [10] K. ISHIKAWA, Guía de control de calidad, Nueva York: UNIPUB, 1985.
- [1] AUTORIDAD NACIONAL DE ACUICULTURA Y PESCA, «AUNAP: Autoridad Nacional de Acuicultura y Pesca,» 2013. [En línea]. Available: <http://www.aunap.gov.co/index.php/aunap/objeto>.

- [1] AGENCIA NACIONAL DE MINERÍA, «Agencia Nacional de Minería,» [En línea]. Available:
 2] <http://www.anm.gov.co/?q=agencia/mision>.
- [1] S. SPIEGEL y M. VEIGA, «Global impacts of mercury supply and demand in small-scale gold
 3] mining,» Goba Mercury Project Coordination Unit, Nairobi, 2007.
- [1] ASOCIACIÓN COLOMBIANA DE MINERÍA, «acm: Asociación Colombiana de Minería,» [En
 4] línea]. Available: <http://acmineria.com.co/quienes-somos>.
- [1] J. OLIVERO y B. JHONSON, El Lado Gris de la Minería del Oro: La Contaminación con Mercurio
 5] en el Norte de Colombia, Cartagena: Universidad de Cartagena, 2002.
- [1] J. OLIVERO y B. JHONSON, El Lado Gris de la Minería del Oro: La Contaminación con Mercurio
 6] en el Norte de Colombia, Cartagena: Universidad de Cartagena, 2012.
- [1] UNIDAD DE PLANEACIÓN MINERO ENERGÉTICA - UPME, Producción más limpia en la minería
 7] de oro en Colombia, Bogotá: UPME, 2007.
- [1] CENSAT AGUA VIVA, «Censat Agua Viva: Amigos de la tierra,» 2013. [En línea]. Available:
 8] <http://censat.org/es/sobre-nosotros/quienes-somos>.
- [1] PROGRAMA DE LAS NACIONES UNIDAS PARA EL MEDIO AMBIENTE - PNUMA, «El uso del
 9] mercurio en la minería del oro artesanal y en pequeña escala,» PNUMA, Nairobi, 2008.
- [2] DIRECCIÓN GENERAL MARÍTIMA, «Dirección General Marítima: Autoridad Marítima
 0] Colombiana,» 20 Febrero 2015. [En línea]. Available:
<https://www.dimar.mil.co/content/que-es-dimar-0>.
- [2] FONDO MUNDIAL PARA LA NATURALEZA (WWF), «WWF Colombia,» [En línea]. Available:
 1] http://www.wwf.org.co/que_hacemos/.
- [2] FORO NACIONAL AMBIENTAL, «fna: Foro Nacional Ambiental,» [En línea]. Available:
 2] <http://www.foronacionalambiental.org.co/la-alianza/>.
- [2] INSTITUTO DE INVESTIGACIONES MARINAS Y COSTERAS "JOSE BENITO VIVES DE ANDRÉIS" -
 3] INVEMAR, «Invemar: Todos por un nuevo País,» 9 Marzo 2015. [En línea]. Available:
<http://www.invemar.org.co/web/guest/sobre-nosotros>.
- [2] INSTITUTO NACIONAL DE SALUD, «Instituto Nacional de Salud: Todos por un nuevo país,» .
 4] [En línea]. Available: <http://www.ins.gov.co/conocenos/Paginas/objeto-funciones.aspx>.

- [2 R. N. KOSTOFF, D. R. TOOTHMAN, H. J. EBERHART y J. A. HUMENIK, «Text mining using
5] database tomography and bibliometrics: A review,» *Technological Forecasting & Social Change*, pp. 223-253, 2001.
- [2 PRESIDENCIA DE LA REPÚBLICA, Decrero 2101 de 2003, Bogotá: PRESIDENCIA DE LA
6] REPÚBLICA, 2004.
- [2 MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE, «MINAMBIENTE: Todos por un
7] nuevo país,» 2015. [En línea]. Available:
<https://www.minambiente.gov.co/index.php/ministerio/objetivos-y-funciones>.
- [2 MINISTERIO DE MINAS, «MINMINAS: Todos por un nuevo país,» [En línea]. Available:
8] <http://www.minminas.gov.co/ministerio;jsessionid=eFgeZb-SKqk+KGj50K82yNRO.portal143>.
- [2 ORGANIZACIÓN DE NACIONES UNIDAS, Programa 21: Declaración de río sobre el medio
9] ambiente y desarrollo, Río de Janeiro: Naciones Unidas, 1992.
- [3 O. JOHANSEN, Introducción a la teoría general de sistemas, México D.F: LIMUSA S.A, 2004.
0]
- [3 W. ROBIN, Introducción a la teoría de grafos, Madrid: Alianza Editorial, 1983.
1]
- [3 UNIDAD DE PLANEACIÓN MINERO ENERGÉTICA, «UPME: Unidad de planeación minero
2] energética,» 12 Marzo 2015. [En línea]. Available: <http://www1.upme.gov.co/quienes-somos>.
- [3 UNIVERSIDAD ICESI, «Unicesi: Plataforma de medios de comunicación de la Universidad
3] ICESI,» 9 Octubre 2013. [En línea]. Available:
<http://www.icesi.edu.co/unicesi/2013/10/09/investigadores-de-icesi-encuentran-bacterias-que-degradan-cianuro/>.
- [3 M. VEIGA, S. METCALF, R. BAKER, B. KLEIN, G. DAVIS, A. BAMBER, S. SIEGEL y P. SINGO,
4] «Manual for training artisanal and small-scale gold miners,» UNIDO, Vienna, 2006.
- [3 COMISIÓN COLOMBIANA DEL OCÉANO, «Diagnóstico de la contaminación por mercurio
5] debido a la actividad minera de oro en el canal del Dique (Departamento de Bolívar) y la costa caribe colombiana,» Bogotá, 2015.

ANEXOS

ANEXO 1: Base de Datos

- [1] R. N. KOSTOFF, D. R. TOOTHMAN, H. J. EBERHART and J. A. HUMENIK, "Text mining using database tomography and bibliometrics: A review," *Technological Forecasting & Social Change*, pp. 223-253, 2001.
- [2] P. GLENISSON, W. GLÄNZEL, F. JANSSENS and B. DE MOOR, "Combining full text and bibliometric information in mapping scientific disciplines," *Elsevier*, p. 1548–1572, 2005.
- [3] RED DE VIGILANCIA PARA LA CONSERVACIÓN Y PROTECCIÓN DE LAS AGUAS MARINAS Y COSTERAS DE COLOMBIA - REDCAM, "Diagnóstico y Evaluación de la calidad ambiental marina en el caribe y pacífico colombiano 2011," INVEMAR, Santa Marta, 2012.
- [4] INSTITUTO DE INVESTIGACIONES MARINAS Y COSTERAS "JOSE BENITO VIVES DE ANDRÉS" - INVEMAR, "Informe del estado de los ambientes marinos y costeros en colombia 2004," INVEMAR, Santa Marta, 2005.
- [5] INSTITUTO DE INVESTIGACIONES MARINAS Y COSTERAS "JOSE BENITO VIVES DE ANDREIS" - INVEMAR, "Programa nacional de investigación, evaluación, prevención, reducción y control de fuentes terrestres y marinas de contaminación al mar - PNICM," MAVDT / INVEMAR / CCO, Bogotá, 2004.
- [6] INSTITUTO NACIONAL DE SALUD, "Contaminación con mercurio por la actividad minera," *Biomédica*, 2012.
- [7] L. PEREZ, "Contaminación de la Bahía de Cartagena," Ministerio de Salud, Bogotá, 1983.
- [8] PROGRAMA DE LAS NACIONES UNIDAS PARA EL MEDIO AMBIENTE - PNUMA, "El uso del mercurio en la minería del oro artesanal y en pequeña escala," PNUMA, Nairobi, 2008.
- [9] S. SPIEGEL and M. VEIGA, "Global impacts of mercury supply and demand in small-scale gold mining," Goba Mercury Project Coordination Unit, Nairobi, 2007.
- [10] P. GIOVANELLA, F. BENTO, L. CABRAL, C. GIANELLO and F. OLIVEIRA, "Isolamento e selecao de micro-organismos resistentes e capazes de volatilizar mercúrio," *Quim. Nova*, pp. 232-236, 2011.

- [1] J. OLIVERO and B. JHONSON, El Lado Gris de la Minería del Oro: La Contaminación con
1] Mercurio en el Norte de Colombia, Cartagena: Universidad de Cartagena, 2012.
- [1] J. OLIVERO, C. MENDOZA and J. MESTRE, "Hair mercury levels in different occupational
2] groups in Southern Bolivar," *Saúde Pública*, pp. 376-279, 1995.
- [1] M. VEIGA and R. BAKER, "Protocols for environmental and health assessment of mercury
3] released by artisanal and small-scale gold miners," Global mercury project, Vienna, 2004.
- [1] MINISTERIO DE MINAS Y ENERGÍA, "Minería," MINISTERIO DE MINAS Y ENERGÍA , Bogotá,
4] 2014.
- [1] A. RETTBERG, J. ORTIZ and S. YAÑEZ, "Legislando minas: Breve recuento de la legislación
5] minera en Colombia (1829-2001)," Universidad de los andes, Bogotá, 2014.
- [1] MINISTERIO DE MINAS Y ENERGÍA, "Censo Minero Departamental Colombiano," Ministerio
6] de Minas y Energía, Bogotá, 2011.
- [1] A. MARTÍNEZ, S. CAJIAO, J. LOZANO, T. ZÁRATE and G. ZÁRRATE, "Minería y Medio Ambiente
7] En Colombia," Fedesarrollo & Sector de la Minería de Gran Escala, Bogotá, 2014.
- [1] CONTRALORÍA GENERAL DE LA REPÚBLICA, "La explotación ilícita de Recursos Minerales en
8] Colombia: Casos Valle del Cauca (río Dagua) - Chocó (río San Juan). Efectos sociales y
ambientales," Contraloría General de la República, Bogotá, 2012.
- [1] M. VEIGA, S. METCALF, R. BAKER, B. KLEIN, G. DAVIS, A. BAMBER, S. SIEGEL and P. SINGO,
9] "Manual for training artisanal and small-scale gold miners," UNIDO, Vienna, 2006.
- [2] L. GARAY, M. CABRERA, J. ESPITIA, J. FIERRO, R. NEGRETE, L. PARDO, G. RUDAS and F.
0] VARGAS, "Minería en Colombia: Fundamentos para superar el modelo extractivista,"
Contraloría General de la Nación, Bogotá, 2013.
- [2] UNIDAD DE PLANEACIÓN MINERO ENERGÉTICA - UPME, "Plan Nacional Para el Desarrollo
1] Minero 2019," UNIDAD DE PLANEACIÓN MINERO ENERGÉTICA - UPME, Bogotá, 2006.
- [2] L. LANCHEROS, "Content of mercury in muscle of some commercial fish species present in
2] eight sampling sites from the magdalena river basin (low, medium and high)," Bogotá, 2013.
- [2] J. OLIVERO and B. SOLANO, "Mercury in environmental samples from a waterbod
3] contaminated by gold mining in Colombia, South America," *Elsevier*, p. 1998, 83-89.

- [2 4] N. MANCERA and R. ÁLVAREZ, "Current state of knowledge of the concentrarion of mercury and other heavy metals in fresh water fish in Colombia," *Acta biológica colombiana*, pp. 3-23, 2006.
- [2 5] J. OLIVERO, D. AGUDELO and K. CABALLERO, "Morphometric parameters and total mercury in eggs of snowy egret (*Egretta thula*) from Cartagena Bay and Totumo Marsh, north of Colombia," *Elsevier*, pp. 105-109, 2013.
- [2 6] L. ÁLVAREZ, "Effects of the profit of precious metals in Colombia: the heavy metals in the continental, estuarines and sea waters," *Utillas*, pp. 67-84, 2009.
- [2 7] P. CORDY , M. VEIGA, I. SALIH, S. AL-SAAD, S. CONSOLE, O. GARCIA, L. MESA, P. VELÁSQUEZ and M. ROESER, "Mercury contamination from artisanal gold mining in Antioquia, Colombia: The world's highest per capita mercury pollution," *Elsevier*, pp. 154-160, 2011.
- [2 8] E. DE MIGUEL, D. CLAVIJO, M. ORTEGA and A. GÓMEZ, "Probabilistic meta-analysis of risk from the exposure to Hg in artisanal gold mining communities in Colombia," *Elsevier*, pp. 183-189, 2014.
- [2 9] INSTITUTO DE INVESTIGACIONES MARINAS Y COSTERAS "JOSÉ BENITO VIVES DE ANDRÉS" - INVEMAR, "Informe del estado de los ambientes y recursos marinos y costeros en colombia año 2011," INVEMAR, Santa Marta, 2012.
- [3 0] UNIDAD DE PLANEACIÓN MINERO ENERGÉTICA - UPME, Producción más limpia en la minería de oro en Colombia, Bogotá: UPME, 2007.
- [3 1] A. VARELA, "Evidencia científica, normativa y técnica sobre la problemática del mercurio en Colombia," Ministerio de Salud y Protección Social, Bogotá, 2012.
- [3 2] M. MUÑOZ and L. DOMINGUEZ, "Vigilancia epidemiológica de la intoxicación por mercurio Colombia 2007 a 2011," *IQEN: Informe quincenal epidemiológico nacional*, vol. 18, no. 4, pp. 43-56, 2013.

ANEXO 2: Documento diagnóstico

DIAGNÓSTICO DE LA CONTAMINACIÓN POR MERCURIO DEBIDO A LA ACTIVIDAD MINERA DE ORO EN EL CANAL DEL DIQUE (DEPARTAMENTO DE BOLÍVAR) Y LA COSTA CARIBE COLOMBIANA

El océano es fuente de recursos y servicios de gran valor para la humanidad. No solo provee medios de transporte y alimento, sino además servicios ecológicos, sustento económico y desarrollo cultural. Actualmente, más del 40% de la población mundial vive en zonas costeras, siendo el mar un generador de empleo y motor económico en muchas regiones [1] [2].

La extensión marítima colombiana corresponde al 47% del territorio, siendo el número de personas que subsiste de actividades económicas relacionadas con el mar igualmente grande. La continua demanda de recursos alimenticios, de transporte y ecológicos junto con el desarrollo de prácticas económicas no sostenibles conlleva a una degradación del ecosistema y ejercen presión sobre los servicios ambientales que el mar provee. Es el caso de la costa Caribe colombiana y las actividades antropogénicas que están degradando el recurso marino; la erosión de las costas, la disminución de la diversidad, el daño al producto pesquero y la contaminación de las fuentes hídricas son indicadores de la baja calidad y salud del océano.

La contaminación del océano se debe no solo a la contaminación directa en la fuente receptora como por ejemplo al arrojar residuos sólidos, derrame de sustancias y vertimiento de aguas domésticas o residuales producto del desarrollo industrial, sino que puede producirse igualmente por los sedimentos o agua contaminada que es llevada por los ríos provenientes de la porción continental y que desembocan en el mar [2] [3].

La minería de oro en su proceso de extracción que no solo degrada el suelo sino también las fuentes hídricas, en parte por la utilización de sustancias altamente tóxicas como el mercurio y cianuro. Se calcula que por cada kilogramo de oro producido, se descargan al ambiente 5 kilogramos de mercurio; una alta proporción de dicho mercurio llega al mar por escorrentía de fuentes hídricas superficiales. Se sabe que metales pesados como el mercurio, proveniente de estas actividades económicas, generalmente tienen efectos nocivos a corto o largo plazo en la salud humana y la calidad del ambiente debido a su toxicidad y su acumulación en

grandes cantidades. Sus efectos principales se producen en el sistema nervioso y endocrino así como en la estructura genética del afectado [4] [5].

En la minería artesanal el mercurio es usado para separar y extraer el oro de las rocas en las que se encuentra depositado; éste se adhiere al oro para formar una amalgama y así separarlo del material. Luego de formada la amalgama, ésta es calentada para llevar el mercurio a evaporación y así liberar el oro. La minería de oro artesanal y en pequeña escala es una de las mayores fuentes de liberación intencional de origen antropogénico en el mundo. Según PNUMA 2007, anualmente, esta actividad consume 806 toneladas y genera emisiones del orden de 150 toneladas. Las zonas de minería aurífera que no poseen técnicas de extracción sostenible son fuentes de altas concentraciones comprobadas de mercurio, siendo la causa de dispersión del mercurio en los sistemas hídricos, contribuyendo a la contaminación por metilmercurio cuando es metabolizado por los organismos en los sistemas acuáticos [9].

El metilmercurio es considerado como un compuesto químico mucho más tóxico que el mercurio elemental y sus sales inorgánicas; se genera a partir de la metilación del mercurio inorgánico por la acción de bacterias aerobias y anaerobias en los ecosistemas acuáticos; éste puede ser bioacumulado por organismos acuáticos y biomagnificado a través de la cadena alimenticia, afectando la flora silvestre y la fauna acuática. Alrededor del 90% de todo el metilmercurio presente en los alimentos es absorbido a través del sistema digestivo, tanto en el hombre como en los animales [6]. Así, uno de los problemas asociados a la contaminación por mercurio que afecta la vida humana es la bioacumulación, ya que el consumo de peces carnívoros que se encuentran en un nivel trófico superior, contaminados con este compuesto genera una exposición directa al metal [7] [6].

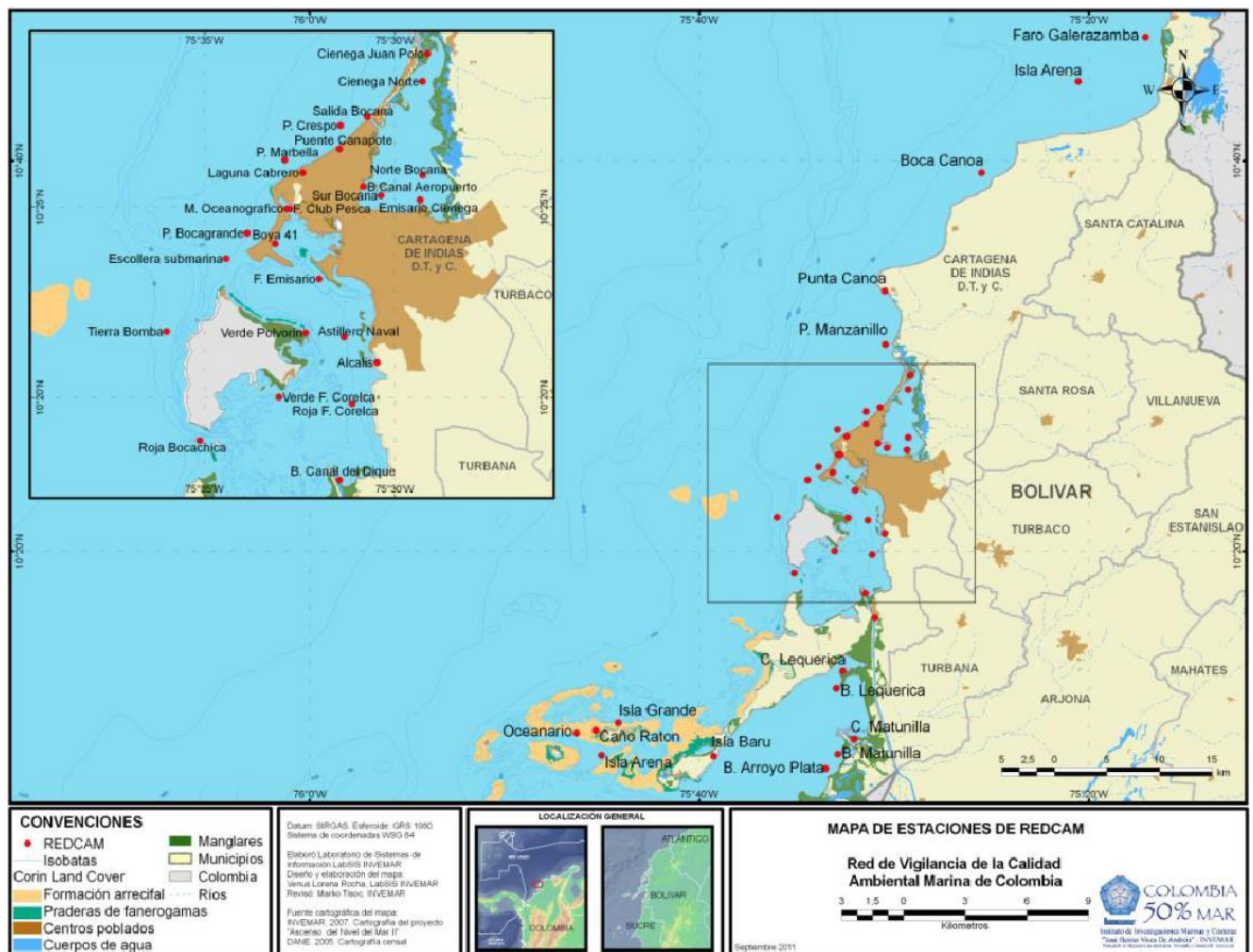
A nivel nacional, según el Mercury Watch, en 2010 Colombia liberó 75 toneladas de Mercurio al ambiente por actividades de minería de oro artesanal y de pequeña escala. Esta generación de contaminantes, así como aquellos producidos en las actividades industriales, impulsan la necesidad de determinar y valorar el estado de los ecosistemas marinos y acuáticos en Colombia.

Para el presente trabajo, y con el fin de realizar el control y la medición de parámetros e indicadores de contaminación hídrica, se empleó la información suministrada por la red de estaciones de muestreo de indicadores de calidad marina llamada REDCAM.

El departamento de Bolívar, localizado en la región Caribe, entre las coordenadas 07°00'03" y 10°48'37" de latitud norte y entre las coordenadas 73°45'15" y

75°42'18" de longitud oeste, posee algunas de estas estaciones de monitoreo, las cuales se encuentran ubicadas en la zona costera desde Galerazamba límite con el departamento del Atlántico hasta Barbacoas en el límite con Sucre, y cuyos puntos de muestreo están en la zona norte entre Galerazamba y Cartagena, la Ciénaga de la Virgen, la Bahía de Cartagena, la Bahía de Barbacoas y el archipiélago de las Islas del Rosario como lo muestra la figura 1. [8] [9].

Figura 1: Distribución de Estaciones de muestreo de la REDCAM, Caribe colombiano.



Fuente: REDCAM. Diagnóstico y evaluación de la calidad ambiental marina en el Caribe y Pacífico colombiano. 2012.

En el caso del departamento de Bolívar, la calidad de agua del mar Caribe se ve afectada por diversos factores entre ellos las descargas directas de fuentes

domésticas e industriales y las descargas indirectas que son transportadas al mar a través de fuentes hídricas superficiales como por ejemplo el Canal del Dique, que desemboca en la bahía de Cartagena, y que drena una porción del caudal del río Magdalena, y los ríos San Jorge y Cauca (a través de la depresión Momposina) además de una intrincada red de brazos y caños.

Este sistema fluvial drena las aguas de aproximadamente 270.000 km² (correspondiente al 24% del área continental del país), llevando consigo las descargas de fuentes domésticas, industriales y agrícolas entre otras. De los ríos pertenecientes a la cuenca Caribe, el Magdalena es el que aporta el mayor caudal así como el que genera mayor impacto en las aguas marinas debido a su carga contaminante; le siguen el río Atrato y el Canal del Dique [9] [4] [3].

Entre las fuentes de contaminación de origen terrestre que aporta el departamento de Bolívar al mar Caribe se destacan los residuos sólidos, los vertimientos de aguas residuales municipales, hidrocarburos, residuos oleosos, aceites y grasas, el arrastre de sedimentos, los metales pesados y los desechos industriales, todos ellos generados en sus municipios costeros e infraestructuras como plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas, emisarios submarinos, rellenos sanitarios, el sector industrial de Mamonal y la zona comercial de El Bosque, las actividades marítimas y portuarias, de refinería y manejo de hidrocarburos, y los aportes del canal del Dique. De todos ellos, los metales pesados constituyen uno de los problemas de contaminación de más difícil solución [9].

La explotación minera, es una de las actividades económicas que libera metales pesados como residuo al ambiente; los cuales en ocasiones pueden llegar a niveles significativos de contaminación, sobre todo cuando se trata de minería artesanal o de pequeña escala, las cuales no se realizan con prácticas sostenibles de modo que no se generen daños ambientales.

Según el PNUMA en el año 2011, el panorama de la contaminación hídrica en América Latina y el Caribe estaba dominado por las descargas municipales de origen doméstico e industrial, seguido de las mineras. Ambas constituían una mezcla de sustancias y compuestos que representaban entre el 90 y 95% de la contaminación que llegaba a las zonas costeras, del cual se estimaba que solo un pequeño porcentaje de las descargas recibían tratamiento [9].

Las prácticas de minera artesanal en el departamento de Bolívar y específicamente aquellas unidades de producción minera que no cuentan con las medidas ambientales adecuadas para evitar la contaminación de las fuentes hídricas y el suelo (planes adecuados de contingencia y recuperación), seguirán siendo una

fuentes terrestres de contaminación al recurso hídrico y marítimo, por lo que se hace necesario reducir el riesgo tomando medidas de política, integración y legalización de estas unidades de producción mineras dentro del sector minero, e invirtiendo en la implementación de buenas técnicas de producción así como en investigación e implementación de tecnologías para reducir y controlar el problema de la contaminación por mercurio.

Directamente en la zona costera del departamento de Bolívar, se han realizado diversos estudios de contaminación por metales pesados producto de otras fuentes de contaminación como la actividad industrial. Los más relevantes se han llevado a cabo en la Bahía de Cartagena, especialmente sobre contaminación con metilmercurio debido a la existencia en los años 90 de la fábrica de Cloro-Soda que vertía mercurio, la cual empleaba este metal como cátodo en la electrólisis para la producción de cloro. Esta compañía química operaba desde 1972. Diversas investigaciones fueron realizadas en la zona llegando a la conclusión de que la Bahía de Cartagena se encontraba contaminada por mercurio, el Comité de Producción Ambiental de la Bahía de Cartagena junto con otras entidades en 1976, solicitaron al Ministerio de Salud la comprobación de la contaminación por mercurio. En el mes de junio del mismo año, se confirmó la presencia de mercurio en ostras, langostinos, langostas y otros productos alimenticios de la clase de los mariscos extraídos de la Bahía de Cartagena con niveles de hasta 103 ppm (mg/l); posteriormente en el mes de agosto se reportó el valor de 1,04 mg/l de mercurio proveniente de una muestra tomada en los afluentes de la fábrica, dichos valores fueron superiores a los límites permisibles máximos de mercurio en aguas superficiales. 15 muestras adicionales fueron tomadas dando valores mayores al límite permisible en todas ellas [10] [7].

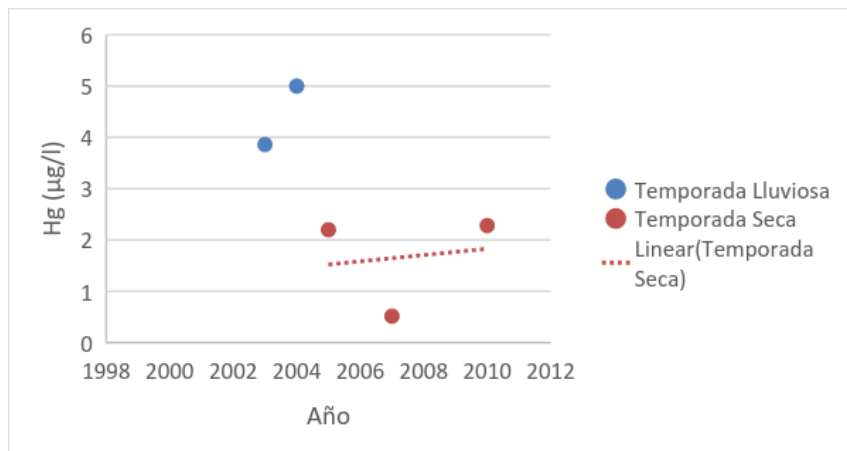
A partir de esta evidencia, se han llevado a cabo diversos proyectos enfocados en este tipo de contaminación en la Bahía de Cartagena. Tales estudios, han revelado la persistencia de la contaminación no solo con mercurio sino con otros metales pesados potencialmente tóxicos tanto en muestras de sedimentos como de aguas. Las investigaciones sobre metales pesados en esta zona crítica del Caribe colombiano han evidenciado también la presencia de éstos en sedimentos con niveles de mercurio de 7.67 µg/g, valor por encima de la norma permisible (0.5 µg/g). Para el 2004 aún persistían concentraciones de mercurio, generados hace 20 años por la fábrica de Cloro Soda [9] [4] [1].

Hasta el 2010, la red de estaciones de monitoreo REDCAM reportó mediciones de mercurio en muestras de agua a lo largo de la Bahía de Cartagena en microgramos

por litro ($\mu\text{g/l}$) en las temporadas secas y lluviosas en el país (Gráfica 1), (Gráfica 2) y (Gráfica 3).

De acuerdo con la gráfica 1, el agua fluvial de la Bahía de Cartagena presentó concentraciones de mercurio inferiores a los $5,3 \mu\text{g/l}$ de mercurio, las cuales son cercanas a $4 \mu\text{g/l}$ en épocas lluviosas e inferiores a $2,5 \mu\text{g/l}$ en época seca. Ambos casos corresponden a eventos aislados, pero por la amplitud de los datos en las dos temporadas se puede concluir que el aporte de mercurio por aguas fluviales a la Bahía es mayor en temporada lluviosa que en temporada seca. Los datos no permiten predecir si con el aumento de los años la carga contaminante de mercurio también aumenta en la fuente fluvial [11].

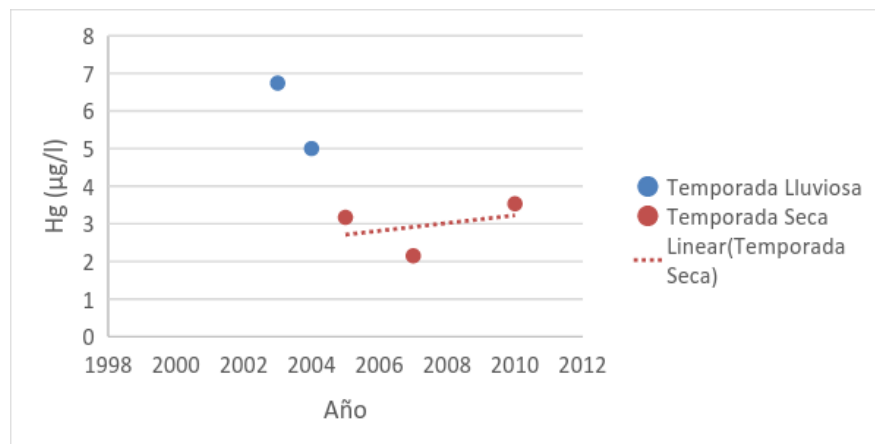
Gráfica 1. Niveles estadísticos de mercurio del agua fluvial en la Bahía de Cartagena.



Fuente: Elaboración propia, basada en datos obtenidos de REDCAM [11]

Para el caso del agua estuarina, esta presentó un mayor pico de concentración de mercurio que las muestras tomadas del sustrato de agua fluvial, ya que en el 2003 la concentración de mercurio en el agua fue cercana a $7 \mu\text{g/l}$. Por su parte, el valor mínimo de concentración de mercurio es $2,15 \mu\text{g/l}$ en el 2007 para una temporada seca (Gráfica 2). Al igual que en el caso anterior, el mayor aporte de contaminante se realizó en temporada lluviosa; los datos no son representativos, por lo que no se puede establecer un comportamiento del contaminante o predecir su aumento o disminución, así como asociarlo a la actividad minera ilegal de oro en Colombia.

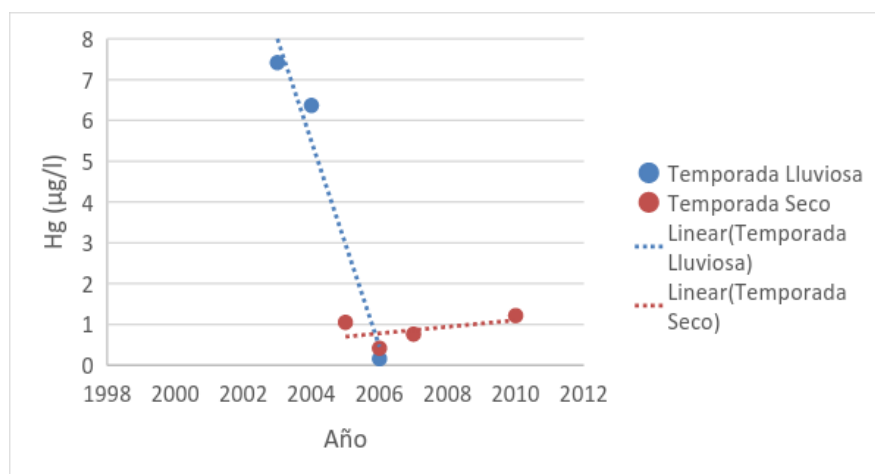
Gráfica 2: Niveles estadísticos de mercurio del agua estuarina en la Bahía de Cartagena.



Fuente: Elaboración propia, basada en datos obtenidos de REDCAM [11]

Finalmente, los niveles de mercurio por litro de sustrato agua en la zona de agua marina presentaron los mayores valores reportados (gráfica 3). Los valores en temporada lluviosa fueron superiores a los obtenidos en la temporada húmeda, siendo el máximo valor registrado en 2003 de 7,42 µg/l de mercurio. A diferencia de los escenarios anteriores, en temporada seca, la concentración de mercurio fue inferior a 1,2 µg/l, dato reportado en 2010, esto probablemente debido al poco arrastre de sedimentos en esta época gracias a la disminución del volumen de agua de los ríos por las bajas precipitaciones.

Gráfica 3: Niveles estadísticos de mercurio del agua marina en la Bahía de Cartagena.



Fuente: Elaboración propia, basada en datos obtenidos de REDCAM [11]

De los tres escenarios analizados, las muestras tomadas de sustrato de agua estuarina, corresponden a las mayores concentraciones de mercurio en el agua, lo cual genera interrogantes sobre este suceso. Las descargas de mercurio a fuentes

hídricas a pesar de estar reglamentadas, son generadas de forma ilegal por diferentes industrias, además de la producida por actividades de minería de oro. De esta manera, el escenario descrito en para las muestras de aguas estuarinas (gráfica 2) puede ser causa de actividades industriales ilegales. Este tema y su respectiva investigación se debería considerar para futuros estudios y proyectos de investigación.

Según la información dispuesta por el sistema de información de la REDCAM, existe presencia de trazas de mercurio en el agua fluvial, el agua estuarina y el agua marítima del Caribe colombiano. El aporte de mercurio al océano se hace en gran parte por los sistemas fluviales, donde se presenta en todos los casos una de las mayores concentraciones de mercurio por cada litro de agua de muestra tomada. Las mayores concentraciones se presentan en temporadas lluviosas debido, posiblemente, al arrastre de sedimentos como consecuencia del aumento en los caudales por precipitación; el volumen de agua aumenta, así como la porción de sedimentos transportados por los ríos, donde se acumula gran parte del mercurio que es liberado a las fuentes hídricas por actividades mineras de oro [6].

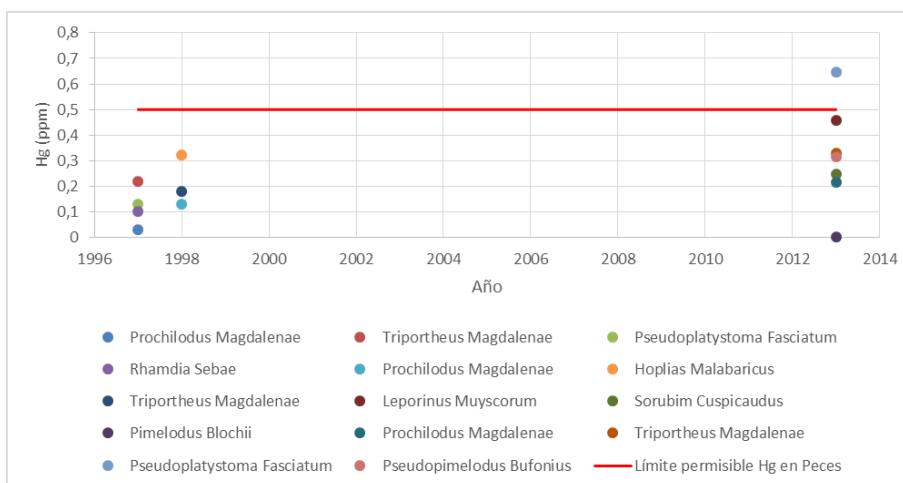
Los datos analizados poseen falencias en el periodo de toma de muestras, ya que éstas corresponden a dos temporadas climáticas diferentes y no poseen más de tres mediciones en los años; por tanto no es posible establecer una correlación en el comportamiento de los datos. Así mismo, no es posible predecir el fenómeno de la contaminación acuática por mercurio, ni se pueden establecer patrones de comportamiento relacionados con el aumento o la disminución de la minería ilegal de oro en el departamento de Bolívar o en Colombia.

Por otra parte, en 1996 la Universidad de Cartagena, realizó un estudio sobre la presencia y niveles de mercurio en tejido muscular de peces, en el canal del Dique (aproximadamente a 300 km de distancia de la zona minera del sur de Bolívar, el cual es fuente directa de aporte de contaminantes por arrastre de sustratos hacia el mar).

Entre junio de 1995 y febrero de 1996, se analizaron muestras de tejido muscular de cuatro tipos de peces (bocachico, arenca, barbudo y bagre pintado), las cuales fueron suministradas directamente por pescadores de tres localidad a lo largo del canal del Dique (Soplaviento, Gambote y María La Baja). Las concentraciones medias de este metal en músculo aumentaron en el siguiente orden: bocachico < barbudo < bagre < arenca. Las concentraciones medias de mercurio en todas las muestras oscilaron entre 0.074 y 0.219 µg Hg/g en peso húmedo [6].

En la gráfica 4, se representan los resultados de algunos estudios realizados en relación al contenido de mercurio en muestras de peces obtenidos en la cuenca del río Magdalena, específicamente en la subcuenca del canal del Dique en el departamento de Bolívar.

Gráfica 4: Contenido de mercurio en muestras de peces en el Canal del Dique.



Fuente: Elaboración propia basada a partir de Mancera & Álvarez [12], Lanceros [13] y Olivero y Jhonson [6].

Internacionalmente y en Colombia, se ha adoptado como el máximo valor permisible de mercurio en peces para consumo humano una concentración de 0,5 ppm ($\mu\text{g/g}$) de mercurio en músculo húmedo; esto con el fin de evitar daño a la salud humana por los problemas asociados con la intoxicación por mercurio.

Algunos otros estudios como los realizados por Leidy Lanceros en 2013, indican que existen peces con altos contenidos de mercurio en el músculo; tal es el caso del bocachico (*Prochilodus magdalenae*), cuyas muestras analizadas excedían la máxima concentración permitida para consumo humano, lo que implica un riesgo para la salud humana. Existen otros casos de especies de peces con altas concentraciones de mercurio en el músculo como el comelón (*Leporinus Muyscorum*), las cuales han ido aumentando con relación a las muestras tomadas al final del siglo pasado [13].

Entre las hipótesis que se han generado, gracias a las investigaciones realizadas, es que parte del mercurio de la Bahía de Cartagena es ser transportado tanto por deposición atmosférica seca como húmeda durante algunas épocas del año, ocasionando la incorporación del metal en el mar. Olivero y Jhonson en 2012, en su libro “El lado gris de la minería del oro: La contaminación con mercurio en el norte

de Colombia”, afirman que aunque las concentraciones de mercurio detectadas en las muestras de arenca recolectadas en el canal del Dique son altas (superiores a 0.219 $\mu\text{g Hg/g}$ en peso húmedo), no alcanzan a ser lo suficientemente altos para sobrepasar los límites internacionales vigentes de 0.5 $\mu\text{g Hg/g}$ en peces para consumo humano. No obstante, considerando que la arenca posee un peso promedio de 94.5 g (n=28) y la concentración media de mercurio encontrada en esta especie en María la Baja fue de 0.150 $\mu\text{g Hg/g}$, el consumo diario de tres arencas representarían una ingestión total de 297.7 $\mu\text{g Hg/semana}$, valor muy cercano al límite provisional propuesto para consumo tolerable semanal de mercurio de 300 μg , lo que representa un riesgo potencial de acumulación de mercurio en personas que consumen como mínimo tres arencas por día [6].

De esta manera, la contaminación de fuentes hídricas y el mar por metales pesados como el mercurio, producto de la actividad minera del oro, va en detrimento de la seguridad alimentaria. La existencia de peces contaminados no solo implica un riesgo para la salud de los consumidores directos, sino que reduce la disponibilidad de alimentos de calidad para aquellas poblaciones que subsisten de la pesca en río y mar.

Por lo anterior, es necesario ampliar el conocimiento de los niveles actuales de mercurio en la costa Atlántica para determinar acciones que disminuyan el riesgo de afectación los habitantes locales así como el daño a los servicios económicos y ambientales que brinda el océano. Por este motivo se recomienda a las autoridades locales, regionales y nacionales competentes, adelantar estudios relacionados con el tema.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] J. ESCOBAR, La contaminación de los ríos y sus efectos en las áreas costeras y el mar, Santiago de Chile: Naciones Unidas, 2002.
- [2] COMISIÓN COLOMBIANA DEL OCÉANO, «Comisión Colombiana del Océano,» 27 Octubre 2014. [En línea]. Available: http://cco.gov.co/prensa/ano2014/septiembre%202014/boletin_apc_cco_ohi.pdf.
- [3] INSTITUTO DE INVESTIGACIONES MARINAS Y COSTERAS "JOSÉ BENITO VIVES DE ANDRÉS" - INVEMAR, «Diagnóstico y evaluación de la calidad de las aguas marinas y costeras del caribe y pacífico colombianos,» Invemar, Santa Marta, 2014.

- [4] INSTITUTO DE INVESTIGACIONES MARINAS Y COSTERAS "JOSÉ BENITO VIVES DE ANDRÉIS" - INVEMAR, «Informe del Estado de los Ambientes Marinos y Costeros en Colombia,» INSTITUTO DE INVESTIGACIONES MARINAS Y COSTERAS "JOSÉ BENITO VIVES DE ANDRÉIS" - INVEMAR, Santa Marta, 2004.
- [5] S. SPIEGEL y M. VEIGA, «Global impacts of mercury supply and demand in small-scale gold mining,» Goba Mercury Project Coordination Unit, Nairobi, 2007.
- [6] J. OLIVERO y B. JHONSON, El Lado Gris de la Minería del Oro: La Contaminación con Mercurio en el Norte de Colombia, Cartagena: Universidad de Cartagena, 2012.
- [7] INSTITUTO NACIONAL DE SALUD, «Contaminación con mercurio por la actividad minera,» *Biomédica*, 2012.
- [8] ARTISANAL GOLD COUNCIL, «Mercury Watch: Charting the improvement of artisanal small-scale gold mining,» 24 Noviembre 2014. [En línea]. Available: <http://www.mercurywatch.org/>.
- [9] RED DE VIGILANCIA PARA LA CONSERVACIÓN Y PROTECCIÓN DE LAS AGUAS MARINAS Y COSTERAS DE COLOMBIA - REDCAM, «Diagnóstico y Evaluación de la Calidad Ambiental Marina en el Caribe y Pacífico Colombiano,» INSTITUTO DE INVESTIGACIONES MARINAS Y COSTERAS "JOSÉ BENITO VIVES DE ANDRÉIS" - INVEMAR, Santa marta, 2012.
- [10] E. GUERRERO, M. RESTREPO y E. PODLESKY, «Mercurio: Un contaminante ambiental ubicuo y peligroso para la salud humana,» *Biomédica*, pp. 144-154, 1978.
- [1] REDCAM, «Invemar: Sistema de información de la red de vigilancia de la calidad marina de Colombia,» 2012. [En línea]. Available: <http://cinto.invemar.org.co/siam/redcam/estadisticas/index.jsp>.
- [1] N. MANCERA y R. ÁLVAREZ, «Current state of knowledge of the concentrarion of mercury and other heavy metals in fresh water fish in Colombia,» *Acta biológica colombiana*, pp. 3-23, 2006.
- [1] L. LANCHEROS, «Content of mercury in muscle of some commercial fish species present in eight sampling sites from the magdalena river basin (low, medium and high),» Bogotá, 2013.
- [1] L. PEREZ, «Contaminación de la Bahía de Cartagena,» Ministerio de Salud, Bogotá, 1983.
- 4]

ANEXO 3: Plan de trabajo

PROPUESTA DE ACTIVIDADES Y ALTERNATIVAS PARA LA PREVENCIÓN Y MITIGACIÓN DEL IMPACTO DE LA ACTIVIDAD MINERA DE ORO EN EL CANAL DEL DIQUE

Para la prevención y mitigación de la actividad minera de oro en el Canal del Dique y su impacto en la costa Caribe, Colombia, se propone el siguiente plan de trabajo que expresará para tres periodos de tiempo (largo plazo, mediano plazo y corto plazo) las medidas a llevar a cabo bajo el concepto global de sostenibilidad, basado en función de lo analizado en el documento diagnóstico y los resultados obtenidos de las metodologías de reingeniería de procesos.

Objetivo general del plan: Plantear una solución al problema de contaminación del mar Caribe por la actividad minera de oro ilegal en departamento de Bolívar bajo el concepto de sostenibilidad global.

Objetivos específicos:

1. Intervenir el componente social de la producción minera ilegal de oro en el departamento de Bolívar.
2. Intervenir el componente ambiental de la producción minera ilegal de oro en el departamento de Bolívar.
3. Intervenir el componente económico de la producción minera ilegal de oro en el departamento de Bolívar.

Acciones y proyectos

- 1.1 Mejorar la vigilancia y el control que existe actualmente sobre la actividad minera de oro en el departamento de Bolívar
- 1.2 Incrementar el conocimiento y la información sobre los impactos sociales de la actividad minera de oro ilegal en el departamento de Bolívar, así como mejorar las estrategias y métodos existentes de divulgación.
- 1.3 Mejorar la relación existente entre los líderes de las comunidades mineras y autoridades locales en el departamento de Bolívar.
- 1.4 Eliminar la adquisición ilegal del mercurio así como su contrabando en territorio colombiano.

1.5 Eliminar la ilegalidad en la actividad minera de oro.

1.6 Fortalecer una adecuada cultura ciudadana en los miembros de las comunidades mineras.

2.1 Prevenir la contaminación de la costa caribe colombiana por el vertimiento y la escorrentía del mercurio residual en las zonas de producción minera del departamento de Bolívar.

2.2 Prevenir la contaminación de la costa caribe colombiana por la evaporación del mercurio en las zonas de producción minera del departamento de Bolívar.

2.3 Incrementar el conocimiento y la información sobre los impactos ambientales de la actividad minera de oro ilegal en el Canal del Dique y la costa Caribe, así como mejorar las estrategias y métodos existentes de divulgación.

2.4 Eliminar el uso del mercurio en la actividad minera de oro en el departamento de Bolívar.

2.5 Eliminar el peligro de intoxicación por mercurio en el ser humano por el consumo de peces contaminados

3.1 Comercializar adecuadamente el mercurio en el departamento de Bolívar.

3.2 Incrementar el conocimiento y la información sobre los impactos económicos de la actividad minera de oro ilegal en el canal del Dique y la costa Caribe, así como mejorar las estrategias y métodos existentes de divulgación.

3.3 Implementar técnicas de producción de minería de oro sostenible.

3.4 Ampliar nacionalmente las certificaciones a unidades de producción mineras.

Actividades a corto plazo (5 años)

1.1.1. Mejorar la disposición de las autoridades locales para el control y vigilancia de las actividades mineras ilegales, aumentando el monitoreo por oficiales.

1.1.2 Incentivar a la comunidad a reportar la actividad minera ilegal ante las respectivas autoridades.

1.2.1 Implementar estudios de valoración sobre el impacto social de la minería ilegal en las comunidades.

1.2.2 Realizar talleres en las comunidades (familias) mineras para informar sobre los riesgos de seguridad y en la salud humana que genera el usar mercurio en los procesos de la actividad minera.

1.2.3 Divulgar el conocimiento sobre la contaminación por minería adquirido entre la comunidad involucrada.

2.1.1 Incluir en los procesos de producción minera el uso de cajas concentradoras.

2.1.2 Capacitar a los mineros sobre el uso de nuevas herramientas tecnológicas en los procesos de amalgamación del mercurio.

2.2.1 Incluir en los procesos de producción el uso de retortas.

2.2.2 Capacitar a los mineros sobre el uso de nuevas herramientas tecnológicas en los procesos de amalgamación del mercurio.

2.3.1 Mantener el monitoreo de fuentes terrestre de contaminación y continuar con el monitoreo y levantamiento de información.

2.3.2 Mantener y mejorar el sistema de información de la REDCAM.

2.3.3 Actualizar el diagnóstico de fuentes terrestres de contaminación por minería de oro.

2.3.4 Realizar mesas de trabajo con expertos técnicos para Identificar los ecosistemas marinos que podrían verse afectados por la minería.

2.3.5 Diagnóstico integral de los ríos afectados por descargas de actividad minera directa.

3.1.1 Mejorar el control sobre la comercialización de mercurio en Colombia.

3.2.1 Implementar estudios de valoración económica sobre el impacto de la minería de oro ilegal en el departamento.

3.2.2 Realizar talleres y mesas de trabajo con los líderes mineros para informarlos y actualizarlos sobre buenas prácticas mineras y nuevas tecnologías.

Actividades a mediano plazo (10 años)

1.3.1 Establecer mecanismos de participación entre los líderes de las comunidades mineras y las autoridades locales (Talleres, mesas de trabajo y conferencias sobre la minería ilegal y sus efectos).

1.4.1 Mejorar el control y monitoreo de las zonas de comercialización del departamento e identificar y controlar posibles zonas de contrabando y compra de mercurio ilegal.

3.4.1 Desarrollar talleres a los mineros y sus comunidades, sobre nuevas técnicas de producción mineras que evitan el uso del mercurio.

3.3.1 Desarrollar talleres a los mineros y sus comunidades, sobre técnicas de producción que generen mayor aprovechamiento económico.

3.3.2 Desarrollar actividades de inversión económica para apoyar la transformación de tecnología de producción minera en las unidades de producción mineras artesanales y de pequeña escala.

Actividades a largo plazo (30 años)

1.5.1 Incluir a todas las unidades de producción minera de oro existentes y futuras en el registro minero.

1.5.2 Garantizar que todas las UPM cumplen con los planes de manejo ambiental adecuados.

1.6.1 Incentivar el interés de la comunidad en buenas prácticas de producción minera.

1.6.2 Garantizar la educación formal de los miembros de la comunidad minera.

1.6.3 Incentivar a los miembros de la comunidad a participar en nuevos proyectos de desarrollo económico como alternativa a la minería de oro.

2.5.1 Reducir los niveles de mercurio en los peces de ríos del Canal del Dique en el departamento de Bolívar y en la costa Caribe colombiana.

3.4.1 Certificar a todas las unidades de producción minera del departamento de Bolívar como actividades económicas verdes y con buenas prácticas de producción.

Responsables

1. Población, Policía, Alcaldías, Ministerio de Minas, Cardique, Bancos de Emprendimiento, Centros de enseñanza, Ministerio de Educación, UPME, Ministerio de Salud, Instituto Nacional de Salud, AUNAP, Ministerio de Agricultura, Instituciones educativas y de investigación, DIMAR, INVEMAR, CCO.

2. Población, Policía, Alcaldías, DIAN, Centros de Enseñanza, Ministerio de Minas, UPME, Instituciones educativas y de investigación, DIMAR, INVEMAR, CCO.

3. Población, Ministerio de Educación, Ministerio de Minas, UPME, Instituciones educativas y de investigación.

ANEXO 4: Listado de miembros Grupo de Trabajo “Sector minero energético y recurso hídrico”

Sector/Organización	Entidad	
	Invitado	Miembro
Estado	Agencia Nacional de Minería - ANM	Ministerio de Minas y Energía - MME
	Unidad de Planeación Minero Energética - UPME	Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible - MADS
	Autoridad Nacional de Licencias Ambientales – ANLA	Asociación de Corporaciones Autónomas Regionales y de Desarrollo Sostenible - ASOCARS
	Servicio Geológico Colombiano – SGC	Dirección General Marítima - DIMAR
	Autoridad Nacional de Acuicultura y Pesca – AUNAP	Ministerio de Comercio, Industria y Turismo - Viceministerio de Turismo
		Instituto Nacional de Salud – INS
		Ministerio de Salud
		Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras “José Benito Vives de Andrés” – INVEMAR
Empresa	Asociación Colombiana de Minería – ACM	
Academia	Universidad Nacional de Colombia	
	Universidad de Cartagena	
	Pontificia Universidad Javeriana	
	Universidad del Rosario	
Fundaciones/ONG's	Fundación Avina	
	Foro Nacional por Colombia	
	Foro Nacional Ambiental	
	Censat Agua Viva	
	Fondo Mundial para la Naturaleza – WWF	