

**PROBLEMÁTICAS AMBIENTALES ASOCIADOS A LA PEQUEÑA MINERÍA DE ORO  
EN LAS MICROCUENCAS EL MURCIÉLAGO Y EL ARENAL (LA LLANADA - NARIÑO)**

**DEISY ALEJANDRA PATIÑO SÁNCHEZ  
JOAN ESTEBAN CABAL GAVIRIA  
LINA MARCELA SACANAMBUY VILLOTA**

**UNIVERSIDAD SANTO TOMAS  
FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES  
MAESTRIA EN GESTION DE CUENCAS HIDROGRAFICAS  
BOGOTA  
2025**

PROBLEMÁTICAS AMBIENTALES ASOCIADOS A LA PEQUEÑA MINERÍA DE ORO EN  
LAS MICROCUENCAS EL MURCIÉLAGO Y EL ARENAL (LA LLANADA - NARIÑO)

DEISY ALEJANDRA PATIÑO SÁNCHEZ  
JOAN ESTEBAN CABAL GAVIRIA  
LINA MARCELA SACANAMBUY VILLOTA

Trabajo de grado para optar al título de Magister en Gestión de Cuencas Hidrográficas

Directora  
NIDIA ELENA ORTIZ PENAGOS  
Magister en Desarrollo Sostenible y Medio Ambiente

UNIVERSIDAD SANTO TOMAS  
FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES  
MAESTRIA EN GESTIÓN DE CUENCAS HIDROGRAFICAS  
BOGOTA  
2025

## RESUMEN

El presente trabajo analizó las problemáticas ambientales derivadas de la pequeña minería de oro en las microcuencas El Murciélago y El Arenal, en el municipio de La Llanada (Nariño), territorios históricamente asociados a esta actividad productiva (CORPONARIÑO, 2006). El estudio evidenció que las prácticas de extracción y beneficio, caracterizadas por el uso de técnicas tradicionales y limitada implementación de tecnologías limpias, han generado afectaciones significativas sobre los recursos hídricos, el suelo y la cobertura vegetal, comprometiendo la integridad ecológica de las cuencas y su capacidad de sustentación para las comunidades locales. La investigación se desarrolló mediante revisión documental, análisis de información técnica y generación de cartografía temática, organizada en tres fases: (i) caracterización histórico-espacial de la actividad minera, (ii) identificación y valoración de problemáticas ambientales, y (iii) análisis causal orientado a interpretar la relación entre las prácticas mineras y las condiciones institucionales que permiten la persistencia de dichas afectaciones. Los resultados mostraron que la contaminación de fuentes hídricas por vertimientos sin tratamiento, la disposición inadecuada de residuos estériles y la remoción de cobertura vegetal son las problemáticas más relevantes, estrechamente vinculadas con la informalidad minera, la debilidad en el control institucional y la limitada gestión ambiental local.

Se concluye que la dinámica minera constituye un factor determinante en el deterioro ambiental de ambas microcuencas, lo cual demanda estrategias de gobernanza hídrica que integren la formalización minera, la educación ambiental, el fortalecimiento institucional y la planificación territorial orientada al uso sostenible del agua y los ecosistemas asociados. Este estudio aporta una base técnica para la toma de decisiones orientadas hacia una gestión integral del territorio que permita compatibilizar la actividad productiva con la sostenibilidad ecológica.

Palabras clave: Contaminación, Desarrollo, Explotación minera, Extracción de oro, Minería, Pequeña minería, Problemáticas ambientales.

## ABSTRACT

This study analyzed the environmental issues associated with small-scale gold mining in the micro-watersheds of El Murciélago and El Arenal, located in the municipality of La Llanada (Nariño, Colombia), a region historically linked to mining activity. The results indicate that extraction and ore-beneficiation practices, characterized by traditional techniques and limited implementation of clean technologies, have generated significant impacts on water resources, soil quality, and vegetation cover. These conditions compromise the ecological integrity of the watersheds and reduce their capacity to sustain local communities.

The research was developed through documentary review, analysis of technical-environmental information, and thematic cartographic production, structured into three phases: (i) historical and spatial characterization of small-scale mining, (ii) identification and assessment of key environmental impacts, and (iii) causal analysis aimed at understanding the relationship between mining practices and institutional conditions that enable the persistence of environmental degradation. The findings reveal that contamination of water bodies from untreated discharges, inadequate disposal of mine tailings, and deforestation are the most critical issues, closely related to mining informality, weak regulatory enforcement, and limited local environmental management.

It is concluded that mining dynamics represent a determining factor in the environmental deterioration of the studied micro-watersheds, highlighting the need for water governance strategies that integrate mining formalization processes, environmental education, institutional strengthening, and land-use planning aimed at the sustainable management of water and associated ecosystems. This research provides a technical foundation to support decision-making toward an integrated territorial management approach that reconciles productive activities with ecological sustainability.

## CONTENIDO

OBJETIVOS .....	9
OBJETIVO GENERAL .....	9
OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	9
ANTECEDENTES.....	10
MINERÍA.....	15
EXTRACCIÓN DE ORO.....	16
Técnicas de extracción .....	16
EXPLOTACIÓN MINERA .....	16
Métodos de explotación.....	17
PEQUEÑA MINERÍA.....	17
PROBLEMÁTICAS AMBIENTALES .....	17
CONTAMINACIÓN .....	18
Tipos de contaminación .....	18
METODOLOGÍA.....	18
FASE I. CARACTERIZACIÓN HISTÓRICO-ESPACIAL DE LA PEQUEÑA MINERÍA... 18	
Actividad 1. Búsqueda sistemática y clasificación de fuentes documentales .....	18
Actividad 2. Recolección y validación de información cartográfica oficial.....	22
Actividad 3. Procesamiento y georreferenciación de datos para la caracterización espacial. ....	23
FASE II. DETERMINACIÓN DE PROBLEMÁTICAS AMBIENTALES .....	25
Actividad 1. Análisis cuantitativo de calidad ambiental (Componente Agua, aire suelo, subsuelo, paisaje y biótico .....	25
Actividad 2. Análisis cualitativo de problemáticas ambientales (Componente aire, agua, suelo, subsuelo, paisaje y biótico). ....	28
FASE III. ANÁLISIS CAUSAL Y SÍNTESIS PARA LA GOBERNANZA .....	30
Actividad 1. Matriz de relación causa–problema–factor .....	30
Actividad 2. Síntesis y redacción de resultados .....	31

RESULTADOS.....	31
RESULTADOS FASE I. CARACTERIZACIÓN DEL TERRITORIO Y DE LA ACTIVIDAD MINERA.....	31
Caracterización fisiográfica e hídrica del área de estudio .....	33
Ubicación de sitios mineros y estructura territorial de la actividad.....	33
Caracterización histórica y organizacional de la pequeña minería .....	34
Procesos de beneficio del mineral y tecnologías implementadas.....	35
Consideraciones geoquímicas sobre residuos y riesgo de contaminación.....	35
RESULTADOS FASE II – DETERMINACIÓN DE PROBLEMÁTICAS AMBIENTALES.	36
Variación mineralógica y riesgo químico asociado .....	37
Calidad del agua en quebradas asociadas a la actividad minera .....	37
Contenido de mercurio en sedimentos activos.....	38
Cumplimiento normativo en vertimientos .....	38
Componente atmosférico (aire y ruido).....	39
Componente hidrosférico (agua y sedimentos).....	40
Componente geoesférico (suelo y subsuelo .....	41
Componente bioesférico (flora y fauna) .....	41
Componente paisajístico.....	42
Análisis Integrado de las Matrices de Impacto .....	45
RESULTADOS FASE III. ANÁLISIS CAUSAL Y SÍNTESIS PARA LA GOBERNANZA..	48
ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS .....	51
IMPACTO SOCIAL Y HUMANÍSTICO DEL PROYECTO .....	54
CONCLUSIONES .....	55
RECOMENDACIONES.....	57
BIBLIOGRAFÍA.....	59

#### LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Fuentes documentales consultadas para la caracterización histórico-espacial de la pequeña minería en La Llanada (Nariño).....	20
Tabla 2. Caracterización de la actividad minera en La Llanada (Fase I).....	31

Tabla 3. Variación mineralógica y riesgo químico asociado. ....	37
Tabla 4. Calidad del agua en quebrada.....	38
Tabla 5. Cumplimiento normativo de vertimientos. ....	38
Tabla 6. Componente atmosférico. ....	39
Tabla 7. Componente hidrosférico. ....	40
Tabla 8. Componente bioesférico.....	41
Tabla 9. Ocurrencia de impactos ambientales.....	46
Tabla 10. Matriz de causalidad.....	49

#### LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Área de estudio, cauces principales y secundarios y curvas de nivel.....	14
Figura 2. Caracterización fisiográfica y sitios mineros relevantes .....	34
Figura 3 Frecuencia de impactos ambientales de grado alto .....	47

#### LISTA DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Acumulación de saquillas o costales en la planta de beneficio.....	42
Ilustración 2. Planta de beneficio de La Llanada, ubicada en la cabecera .....	42
Ilustración 3. Proceso de remoción .....	44

#### LISTA DE ANEXOS

Anexo 1 Actividades e impactos .....	66
--------------------------------------	----

## INTRODUCCIÓN

La actividad minera ha desempeñado un papel determinante en el desarrollo socioeconómico de diversas regiones, constituyéndose como una de las principales fuentes de empleo e inversión, especialmente en áreas rurales de Colombia (DNP, 2014). No obstante, este crecimiento ha traído consigo impactos ambientales significativos, derivados de prácticas extractivas inadecuadas, baja educación ambiental y limitada capacidad institucional para supervisar y orientar el uso responsable de los recursos. En este marco, el departamento de Nariño se destaca como un territorio históricamente minero, donde municipios como La Llanada han consolidado la pequeña minería de oro como actividad esencial para la economía local y el sustento familiar (CORPONARIÑO, 2006).

La minería en La Llanada se desarrolla principalmente a pequeña escala mediante técnicas de filón y, en menor medida, minería de aluvión (Herrera, 2018). Aunque esta forma de explotación se asocia con menor intensidad que la mediana o gran minería, su práctica con bajo nivel tecnológico y sin controles ambientales ha provocado afectaciones graves en los ecosistemas cercanos. Las microcuencas El Murciélagos y El Arenal han experimentado deterioro progresivo reflejado en la contaminación y disminución de la calidad del recurso hídrico, la pérdida de cobertura vegetal, la degradación del suelo, la alteración de hábitats y la consecuente pérdida de biodiversidad (Alcaldía de La Llanada, 2016). Estos efectos se agravan por la creciente presión sobre el agua, generando conflictos socioambientales entre diversos actores del territorio, como mineros, agricultores y cultivadores de coca, en un contexto donde la presencia de cultivos ilícitos y la débil gestión institucional dificultan los procesos de evaluación y control (Herrera, 2018).

A ello se suman problemáticas asociadas a la disposición inadecuada de residuos mineros y sólidos, particularmente costales de polipropileno y restos de material estéril, así como la ubicación de plantas de beneficio cercanas a zonas habitadas, lo cual genera emisiones contaminantes y riesgos para la salud. Estas situaciones responden, en gran medida, a vacíos normativos y a la falta de articulación institucional para la legalización de Unidades Productoras Mineras (UPM), así como a deficiencias en la planificación territorial reflejadas en el Esquema de Ordenamiento Territorial (EOT), que no define con precisión las áreas aptas para la explotación minera.

La relevancia de este estudio radica en la necesidad de comprender y visibilizar estas afectaciones ambientales desde una perspectiva integral, reconociendo que la minería es una actividad esencial para la economía local y no puede ser suprimida sin generar impactos sociales profundos. Por ello, más que plantear su eliminación, este trabajo busca aportar elementos para promover prácticas extractivas más responsables, fortalecer la gestión comunitaria del territorio y contribuir a la construcción de estrategias de manejo sostenible de las microcuencas afectadas. La identificación y análisis de las problemáticas permitirá generar bases sólidas para el diseño de medidas de mitigación y restauración ajustadas a las dinámicas sociales y ambientales de La Llanada.

Metodológicamente, la investigación se estructuró en tres fases: la primera consistió en la caracterización del estado actual de la pequeña minería en el municipio mediante revisión documental y cartográfica; la segunda permitió determinar y jerarquizar las problemáticas ambientales sobre los componentes agua, suelo y aire; y la tercera fase analizó las causas y factores subyacentes vinculados con aspectos técnicos, sociales, institucionales y normativos. Esta estructura permitió comprender la relación entre las prácticas de extracción, la gestión territorial y las afectaciones ambientales. El estudio, por tanto, constituye un aporte para la construcción de propuestas de ordenamiento y gestión sostenible, orientadas a preservar los recursos naturales sin desconocer la importancia económica y cultural de la minería para la comunidad de La Llanada.

## OBJETIVOS

### OBJETIVO GENERAL

Analizar las problemáticas ambientales asociadas a la pequeña minería de oro en las microcuencas El Murciélagu y El Arenal, en el municipio de La Llanada (Nariño).

### OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Caracterizar el estado actual de la pequeña minería de oro en las microcuencas El Murciélagu y El Arenal.

Determinar las problemáticas ambientales más relevantes ocasionados por la minería a pequeña escala, en los componentes agua, suelo y aire.

Identificar las causas y factores que han originado dichas problemáticas ambientales.

## ANTECEDENTES

Históricamente, la minería ha representado para las sociedades una parte fundamental en el fortalecimiento de sus economías; pero al mismo tiempo, ha desencadenado una serie de problemáticas en el contexto ambiental; especialmente en los componentes aire, agua y suelo, debido a los procesos que implica su realización.

Al respecto, Timarán (2016) en su estudio referente a las problemáticas ambientales de la minería de oro refiere que en Latinoamérica; principalmente en los países andinos, la explotación de oro a pequeña escala ha tenido gran significancia para el desarrollo económico de la región. No obstante, la mayor parte de estos países la estigmatiza como una minería devastadora; juzgada por ser la causante de agotar los recursos del patrimonio nacional, debido a que no cuenta con una planificación adecuada; que vele por los componentes ambientales. Sin embargo, pese a las graves repercusiones que ha ocasionado dicha actividad; esta se sigue llevando a cabo, e incluso ha sido reconocida como una locomotora de desarrollo; en especial para las regiones rurales, donde se practica de manera informal. En este orden de ideas, Escobar, Caro y Malky (2004) en su trabajo asociado a la problemática de calidad ambiental en Bolivia, analizan algunas de las actividades (mineras, agropecuarias, industriales y urbanas) que originan dicha problemática; y resaltan la importante búsqueda de futuras políticas de mitigación; teniendo en cuenta la normatividad ambiental vigente en el país; de modo que se pueda justificar, la delegación del poder hacia diferentes focos institucionales, que le den un manejo adecuado al componente ambiental.

En cuanto a la actividad minera, en España se plantea un estudio, acerca de los métodos, técnicas e instrumentos de caracterización y tratamiento de los residuos minero-metalúrgicos; en donde, además, se analiza el riesgo ambiental y las posibles técnicas de

mitigación para las áreas degradadas; teniendo en cuenta la ordenación del territorio, y haciendo uso de los sistemas de información geográfica y de ciencias como la geología. En este orden de ideas, la importancia de dicho estudio; radica en dos aspectos fundamentales que son: por un lado, la concientización del minero acerca de las buenas prácticas mineras; y, por otro lado, el fomento de una buena disposición de residuos sólidos, líquidos y gases (Instituto Geológico y Minero de España, 2006).

Ahora bien, para abordar la minería dentro del contexto nacional; Guiza (2012) en su artículo denominado “la pequeña minería en Colombia: una actividad no tan pequeña”; hace énfasis en los principales aspectos socioeconómicos y ambientales (refiriéndose a los graves problemáticas producidas por el mal manejo de residuos estériles) que giran en torno a ella; y realiza una caracterización cuali-cuantitativa de dichos aspectos; obteniendo como resultados, por una parte que el 72% de las minas que existen en el país corresponden a la pequeña minería; y por otra, que de ese porcentaje, el 66% es ilegal.

Por otro lado, Castro (2011) en su trabajo de investigación denominado minería de oro artesanal y a pequeña escala en Timbiquí – Cauca; describe y analiza los efectos socioambientales causados por dicha actividad, basándose en las historias de vida de los mineros artesanales (actores locales); con respecto a las practicas mineras implementadas en el rio Timbiquí, en un periodo de tiempo determinado; teniendo en cuenta la relación directa entre las actividades socioeconómicas que se desarrollan en el lugar, y el medio ambiente. En esta misma línea, Monsalve (2017) en su estudio relacionado con el análisis de las consecuencias ambientales generadas por la minería en Colombia; se interesa en las causas y efectos que acarrea la actividad minera dentro del país, haciendo alusión a la afectación que esto ha traído en la calidad de vida de las personas; debido principalmente, a la contaminación del recurso hídrico, y a la presencia de grupos armados al margen de la ley; quienes también se ven beneficiados con el desarrollo de esta actividad. En pocas palabras, la finalidad de este estudio es concientizar a las personas sobre el uso adecuado de los recursos; ya que de ello depende también, su bienestar. En este sentido, Arcila y Hoyos (2016) en su trabajo de investigación consideraciones ambientales por el uso de mercurio en minería aurífera; plantean algunas estrategias de producción limpia en el municipio el Bagre - Antioquia, especialmente frente al uso de mercurio en la extracción de

oro; ya que siendo la minería una actividad altamente contaminante para el ambiente, no solo ha afectado el agua, el suelo y la atmosfera; sino también, a la sociedad en general.

Por último, para hacer alusión a las problemáticas ambientales, económicas y sociales de la minería a nivel regional; Pantoja y Pantoja (2016), en su estudio problemáticas y desafíos de la minería de oro artesanal y en pequeña escala; realizan algunas consideraciones, partiendo de los procesos de planificación, gestión y ejecución de proyectos minero-ambientales; llevados a cabo en la zona minera del departamento de Nariño, con respecto a los realizados en Colombia y América Latina. Además de esto, dichos autores resaltan también, la importancia de la articulación del desarrollo sostenible; con respecto a las políticas públicas, los procesos de formalización mineros; y el mejoramiento de las condiciones de trabajo, para las comunidades mineras.

Por otra parte, en el distrito minero de La Llanada; se llevó a cabo un estudio minero ambiental que tuvo como objetivo la aplicación de tecnologías adecuadas, para la disminución de los niveles de contaminación generados por el uso de mercurio y cianuro, en los procesos de extracción de oro de los municipios de Cumbitara, La Llanada, los Andes Sotomayor, Mallama, Piedrancha, Samaniego y Santa Cruz de Guachavez. Todo esto, fue realizado con el apoyo de entidades como Corponariño y el Ministerio del medio ambiente, vivienda y desarrollo territorial; los cuales, mediante iniciativas de educación ambiental; orientaron los procesos técnicos de la producción de oro de filón, buscando un mejoramiento no solo en la calidad de vida de los mineros; sino también, comprometiéndolos a realizar dicha actividad de manera responsable y sostenible para con el medio ambiente. Es por ello que este diagnóstico; es una herramienta clave en la elaboración de proyectos encaminados hacia el aprovechamiento razonable de recursos, y la prevención de las problemáticas ambientales, que desencadena la minería (CORPOÑARIÑO, 2006). En este mismo sentido, García y Yamá (2015), en su diagnóstico ambiental del área aurífera del municipio de Sotomayor, estudian los impactos ambientales que este tipo minería ha generado; determinando el grado de afectación ocasionado por la misma, ya sea en un medio natural o social. Asimismo, estos autores plantean una serie de alternativas de solución; con el fin de compensar y mitigar dichos daños. De este modo, es importante resaltar la participación de la comunidad minera dentro de este trabajo; la cual fue de vital importancia en la caracterización de la situación actual que se vive en el

municipio; así como también, en la descripción de las características de cada mina; en relación con los procesos de extracción y disposición de materiales, en la planta de beneficio. Para concluir, en su análisis ROLPA del distrito minero; Herrera (2018) aborda los principales conflictos socioambientales que se enfrentan por la actividad minera en los municipios de La Llanada y Los Andes Sotomayor. En este orden de ideas, durante el desarrollo de su estudio; en un primer momento realiza una caracterización geográfica de las áreas mineras, explicando los aspectos más relevantes de la educación y la salud, en relación al conflicto armado y los cultivos ilícitos presentes en la zona; y en un segundo, se hace énfasis en cada uno de los aspectos relacionados con la minería de oro (fases de explotación y títulos mineros), describiendo las problemáticas ambientales y sociales que esta actividad ha ocasionado.

Las microcuencas El Murciélago y El Arenal pertenecientes a la cuenca del río Pacual, ubicadas entre los municipios de la Llanada y Sotomayor, se ubican al suroriente del departamento de Nariño. Limitan al norte con el municipio de los Andes – Sotomayor, al Suroccidente con el Municipio de Samaniego (río Saspí), al sur oriente con el municipio de Linares (río Pacual). La zona de estudio cuenta con un área aproximada 5.725 hectáreas, y un perímetro de 33,6 km; por su parte, el cause principal (Q. Cartagua) de la microcuenca El Murciélago tiene una extensión de 9,4 Km; su cota mayor es de 3.400 m.s.n.m., y su cota menor de 900 m.s.n.m.; mientras que el cause principal (Q. El Arenal) de la microcuenca El Arenal, cuenta con una extensión de 10,5 Km; en donde su cota mayor es de 3.200 m.s.n.m., y su cota menor de 750 m.s.n.m.; 12 quebradas depositan sus aguas en el río Pacual, y seis minas de oro actualmente activas tienen influencia en algunas de ellas; cinco quebradas y cuatro minas pertenecen a la microcuenca El Murciélago y siete quebradas y dos minas pertenecen a la microcuenca El Arenal.

En cuanto a las minas, cuatro ellas hacen parte de la Cooperativa del Distrito Minero Coodmilla, y las dos restantes a personas particulares. Las primeras cuatro son: la Mina de oro El Páramo, la Mina El Canadá, la Mina de oro La Palmera y la Mina El Cisne; y las otras dos son: la Mina Espedita y la Mina El Tablón. Cabe resaltar que, aunque la mina el Cisne y la mina la Palmera hagan parte de la microcuenca El Arenal, estas se encuentran dentro de los límites del municipio de la Llanada, por tanto, las seis minas que hacen parte del área de estudio se encuentran en este municipio. Finalmente, es importante tener en cuenta



## MINERÍA

La minería es una actividad productiva que se basa en la exploración y extracción de minerales presentes en el suelo y subsuelo mediante diferentes métodos mecánicos, físicos y químicos (Minminas, 2009). Esta actividad ha acompañado al desarrollo de la humanidad, dado que los minerales son recursos fundamentales para la construcción, la industria, la electrónica y la economía global. El Movimiento Mundial por los Bosques Tropicales (MMBT, 2004) amplía esta definición indicando que la minería comprende un conjunto de operaciones técnicas y sociales organizadas para localizar depósitos minerales y extraerlos para su posterior procesamiento. En regiones como La Llanada, la minería ha tenido un papel histórico y cultural relevante, constituyéndose como una de las principales actividades económicas y fuente de empleo local. Sin embargo, esta importancia económica convive con problemáticas ambientales y sociales derivadas de la intervención sobre ecosistemas frágiles, particularmente en áreas de microcuencas donde se concentra la disponibilidad de agua superficial y subterránea (James y Menon, 1998).

Aunque la minería contribuye al crecimiento económico del país, también genera modificaciones en la estructura del paisaje, la calidad del agua, la biodiversidad y los suelos (Palacios, 2013). Estas afectaciones son más críticas cuando la actividad se desarrolla sin planificación adecuada ni medidas de control ambiental. Fierro (2012) y González (2011) señalan que la expansión de la actividad minera en Colombia se ha dado muchas veces sin la correspondiente ampliación de la capacidad institucional para vigilar el cumplimiento de la normativa ambiental, lo que aumenta la vulnerabilidad de los territorios afectados.

Desde una perspectiva de gestión sostenible, Mateus (2007) resalta que la minería debe ser evaluada como un ciclo que incluye exploración, explotación, beneficio del mineral, cierre y recuperación del área intervenida. No obstante, en la práctica, el cierre y recuperación ambiental casi nunca se llevan a cabo en la pequeña minería, lo que genera impactos acumulativos a largo plazo. La generación de residuos sólidos, líquidos y gaseosos durante la extracción y beneficio del mineral produce alteraciones en los sistemas ecológicos y en la calidad ambiental (Aramburo y Olaya, 2012). No obstante, el Centro Nacional de Producción Más Limpia (CNPML, 2016) enfatiza que la minería puede

orientarse hacia la sostenibilidad si incorpora tecnologías de producción limpia, manejo responsable de residuos y gestión eficiente del recurso hídrico.

## EXTRACCIÓN DE ORO

La extracción de oro en Colombia se distribuye principalmente en regiones andinas y pacíficas como Antioquia, Chocó, Cauca, Nariño y Caldas (Minieducación, 2017). El oro adquirido se utiliza en joyería, industria, dispositivos electrónicos y reservas financieras, lo que lo convierte en un recurso estratégico en las economías locales y nacionales.

En La Llanada, la explotación aurífera ha sido tradicionalmente desarrollada a pequeña escala, aunque en las últimas décadas se ha observado el aumento de mecanización y uso de insumos químicos que incrementan los riesgos ambientales asociados (ELAW, 2010).

Técnicas de extracción. Bateo o barequeo. Consiste en la separación del oro mediante el lavado de sedimentos aluviales utilizando bateas o canaletas, aprovechando la mayor densidad del oro respecto a otros minerales (Minminas, 2003). Este método es considerado de bajo impacto cuando se realiza de manera artesanal, pues no implica excavaciones profundas ni uso de químicos. La normativa lo reconoce como actividad tradicional y de subsistencia (Minminas, 2001).

Cianuración. Es un proceso químico de disolución del oro mediante el uso de soluciones de cianuro (Nava et al., 2007). El metal disuelto se recupera posteriormente mediante procesos como la precipitación o la electrodeposición (Minminas, 1994). Aunque es un método eficaz y rentable, la cianuración implica riesgos ambientales debido a la toxicidad del cianuro y a la posibilidad de filtración hacia cuerpos de agua.

## EXPLOTACIÓN MINERA

La explotación minera comprende la extracción y el tratamiento del mineral, así como la preparación y adecuación de las áreas donde se desarrollan estas actividades (Minminas, 2003). Los métodos de explotación varían en función del tipo de yacimiento, la profundidad de los depósitos y la topografía (MMBT, 2004).

Métodos de explotación. Minería a cielo abierto. Consiste en remover grandes volúmenes de tierra mediante excavación superficial, lo cual genera cambios significativos en la morfología del terreno y produce emisiones de polvo y material particulado (Minminas y Minambiente, 2012; Bustillo & López, 1996).

Minería subterránea. Se realiza mediante la excavación de túneles o galerías bajo la superficie. Este método implica riesgos como presencia de gases tóxicos, filtración de aguas subterráneas y accidentes por derrumbe (García y Yamá, 2015).

## PEQUEÑA MINERÍA

La pequeña minería se caracteriza por el manejo limitado de recursos financieros y tecnológicos, alta dependencia de mano de obra y procesos con baja planificación (O'Neill y Telmer, 2017; Díaz, 2013). Aunque esta actividad constituye una fuente importante de sustento económico local, también suele presentar dificultades en la implementación de medidas de manejo ambiental, generando degradación del suelo, contaminación del agua y afectaciones sociales (Chaparro, 2000). En el caso de La Llanada, la presencia de formas organizadas de trabajo cooperativo ha permitido un mayor control y regulación comunitaria sobre la explotación.

## PROBLEMÁTICAS AMBIENTALES

Las problemáticas ambientales son alteraciones negativas del entorno derivadas de actividades humanas o fenómenos naturales, que afectan el estado y funcionalidad de los ecosistemas (Kopta, 1999). Estas problemáticas surgen cuando la demanda social de recursos supera la capacidad de los ecosistemas para regenerarse o mantener su equilibrio (Muriel, 2005). La minería, junto con la presión social y económica, se constituye como uno de los factores principales que contribuyen al deterioro ambiental en diversas regiones de Colombia (Palacios, 2013). El desarrollo sostenible requiere mantener un equilibrio entre las actividades humanas y el soporte ecológico del territorio, de modo que se garantice la disponibilidad de los recursos para las generaciones presentes y futuras (Raffino, 2019).

## CONTAMINACIÓN

La contaminación se define como la alteración de las condiciones naturales del ambiente debido a la incorporación de sustancias o agentes externos que afectan directa o indirectamente a los seres vivos (Merriam, 2010; RAE, 2001). En el ámbito minero, los contaminantes pueden ser sólidos, líquidos o gaseosos, y su persistencia y toxicidad dependen de sus propiedades químicas (De la Orden, 2012).

Tipos de contaminación. Contaminación hídrica. Se presenta cuando sustancias químicas, sedimentos o residuos alteran la calidad del agua y su disponibilidad para consumo y soporte de vida (Encarnación, 1985; Sagardoy, 1993). En la minería, la alteración de la dinámica fluvial y la formación de drenajes ácidos generan impactos difíciles de revertir (Lillo, 2015).

Contaminación del suelo. Ocurre por el depósito de sustancias que afectan la estructura, fertilidad y capacidad biológica del suelo (Porta, López y Roquero, 1999; Martínez, 2005). La acumulación de metales pesados y estériles mineros degradan el suelo y alteran las cadenas tróficas locales (Fundación para la Salud Geoambiental, 2013).

## METODOLOGÍA

### FASE I. CARACTERIZACIÓN HISTÓRICO-ESPACIAL DE LA PEQUEÑA MINERÍA

Actividad 1. Búsqueda sistemática y clasificación de fuentes documentales. Esta actividad se orientó a la recopilación, revisión crítica y clasificación sistemática de la información secundaria relevante para la caracterización histórico-espacial de la pequeña minería de oro en el municipio de La Llanada (Nariño). El propósito fue establecer un marco de referencia técnico y normativo que permitiera contextualizar la evolución de la actividad minera, su regulación institucional y los procesos asociados a la gestión ambiental del territorio.

La búsqueda de información se realizó mediante una estrategia documental estructurada, que incluyó la consulta de fuentes institucionales, académicas y técnico-normativas. En el ámbito institucional, se revisaron bases de datos del Servicio Geológico Colombiano (SGC), el Ministerio de Minas y Energía, la Agencia Nacional de Minería (ANM) y la Corporación Autónoma Regional de Nariño (Corponariño), con el fin de obtener información oficial sobre títulos mineros, licencias ambientales, reportes técnicos y lineamientos de control ambiental. En el componente académico, se consultaron repositorios universitarios y bases de datos especializadas (Scielo, RedALyC, Dialnet, Google Scholar) para identificar tesis, artículos científicos y documentos de trabajo sobre minería artesanal y pequeña minería aurífera en el departamento de Nariño. Esta búsqueda permitió incorporar perspectivas teóricas, estudios de caso y diagnósticos socioambientales elaborados por instituciones como la Universidad de Nariño y el Servicio Geológico Colombiano.

Posteriormente, la información recolectada se clasificó por tipo de documento, entidad emisora, periodo temporal y uso dentro de la caracterización, lo cual facilitó la organización de los insumos y la trazabilidad metodológica del proceso. Esta clasificación permitió establecer correspondencias entre los marcos legales, los instrumentos de planificación territorial y los estudios técnicos y diagnósticos ambientales relacionados con la pequeña minería.

A manera de síntesis, en la Tabla 1 se presenta el inventario de fuentes documentales utilizadas en esta fase, las cuales constituyeron la base de referencia para el análisis posterior de las dinámicas mineras y ambientales en el área de estudio.

Tabla 1. Fuentes documentales consultadas para la caracterización histórico-espacial de la pequeña minería en La Llanada (Nariño).

<b>Tipo de Documento</b>	<b>Título o Referencia Clave (Ejemplo de Contenido)</b>	<b>Entidad Emisora / Fuente</b>	<b>Periodo Temporal (Ejemplo)</b>	<b>Clasificación y Uso en la Caracterización</b>
Normativa Legal y Regulatoria	Código de Minas (Ley 685 de 2001) y sus Decretos Reglamentarios sobre Pequeña Minería.	Ministerio de Minas y Energía / Congreso	Vigente	Marco legal que define la Pequeña Minería; base para analizar vacíos normativos.
Normativa Legal y Regulatoria	Resoluciones o Decretos de Corponariño sobre Vertimientos Hídricos y usos del agua.	Corponariño	Vigente (última actualización relevante)	Criterios de calidad del agua y estándares de contaminación aplicables a las microcuencas.
Instrumento de Planificación	Plan de Desarrollo Municipal de La Llanada, Nariño.	Alcaldía Municipal de La Llanada	2024–2027 (o período reciente)	Contexto socioeconómico de la minería; descripción de conflictos y problemáticas locales.
Instrumento de Planificación	Esquema de Ordenamiento Territorial (EOT) de La Llanada.	Alcaldía Municipal / Concejo Municipal	Última revisión (ej. 2018)	Clasificación del uso del suelo (minero, residencial, protección).

<b>Tipo de Documento</b>	<b>Título o Referencia Clave (Ejemplo de Contenido)</b>	<b>Entidad Emisora / Fuente</b>	<b>Periodo Temporal (Ejemplo)</b>	<b>Clasificación y Uso en la Caracterización</b>
Estudio Técnico / Diagnóstico	Diagnóstico Ambiental o Plan de Gestión Ambiental del Departamento.	Corponariño	Último quinquenio (ej. 2019)	Información sobre calidad del recurso hídrico y biodiversidad local.
Estudio Técnico / Diagnóstico	Información del Registro Minero Nacional (RMN) y Catastro Minero Colombiano.	Agencia Nacional de Minería (ANM)	Datos actualizados (2023)	Contexto y estado legal de títulos mineros y Unidades de Producción Minera.
Estudio Académico	Tesis o artículos sobre Conflictos Socioambientales y Minería en Nariño / La Llanada.	Universidad de Nariño y repositorios académicos	Últimos 10 años (ej. 2016–2024)	Análisis de conflictos socioambientales y percepciones de la comunidad minera.
Documento Técnico	Glosario Técnico Minero o Manual de Buenas Prácticas para la Pequeña Minería.	Ministerio de Minas y Energía / UPME	Última edición disponible	Definiciones y estándares técnicos sobre prácticas extractivas.

Fuente: Elaboración propia con base en revisión de fuentes institucionales, académicas y normativas (2025).

Finalmente, la revisión documental permitió consolidar un panorama integral sobre los antecedentes de la actividad minera en La Llanada, las transformaciones normativas que han incidido en su desarrollo y los principales instrumentos técnicos y de planificación disponibles. Estos insumos sirvieron de base para las actividades posteriores de la fase I, especialmente la recolección y validación de información cartográfica y la georreferenciación de datos mineros, abordadas en las actividades 2 y 3.

Actividad 2. Recolección y validación de información cartográfica oficial. Esta actividad tuvo como propósito consolidar la base cartográfica oficial y temática del área de estudio, necesaria para sustentar el análisis espacial de las problemáticas ambientales asociadas a la pequeña minería en las microcuencas El Murciélagos y El Arenal, localizadas en el municipio de La Llanada (Nariño). La fase comprendió la recopilación, verificación y validación de información geoespacial proveniente de fuentes oficiales y técnicas reconocidas, garantizando la coherencia entre la información documental y la representación territorial.

Adquisición de cartografía base y minera: se obtuvieron los datos cartográficos básicos suministrados por el Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC), los cuales incluyeron las capas de topografía, hidrografía, límites administrativos municipales y red vial. Esta información permitió establecer la estructura física del territorio y definir con precisión los límites de las microcuencas objeto de estudio. De manera complementaria, se incorporaron datos georreferenciados del Catastro Minero Colombiano, a través del Sistema Integral de Gestión Minera (ANM), con el fin de identificar la localización de títulos mineros vigentes y en trámite, delimitando así las áreas de actividad minera formal e informal presentes en el municipio.

La verificación espacial de esta información fue esencial para establecer el universo minero operativo, determinar la superposición con coberturas vegetales y cuerpos de agua, y orientar el trabajo posterior de análisis ambiental. Este proceso se realizó en concordancia con los lineamientos del Diagnóstico Minero Ambiental del Distrito Minero de La Llanada (CORPONARIÑO, 2006–2007), que sirvió como base histórica y cuantitativa para la caracterización de las unidades de explotación y su evolución.

Caracterización fisiográfica e hídrica del territorio: a partir de la revisión cartográfica y documental, se establecieron las características biofísicas generales del municipio de La Llanada. El relieve se definió como montañoso y quebrado, con presencia de zonas de media y alta montaña que conforman la vertiente occidental de la cordillera de los Andes. Ecológicamente, se identificaron unidades de páramo y subpáramo, cubiertas por vegetación arbustiva que actúa como zona de recarga y nacimiento de diversas quebradas, lo que resalta la importancia hídrica y ambiental de la zona. Hacia sectores medios y bajos,

predominan coberturas de bosques naturales y vegetación secundaria, que presentan distintos niveles de intervención.

El análisis climático permitió evidenciar la variabilidad térmica del territorio, que va desde zonas cálidas hasta frías, factor que incide directamente en la dinámica hídrica y en la vulnerabilidad ambiental frente a la actividad minera. Esta caracterización se apoyó en los aportes de la Guía Metodológica La Llanada–Los Andes–Sotomayor (Sotomayor, s.f.), la cual orientó la identificación de las prácticas mineras tradicionales y su relación con el entorno físico y ecológico.

Identificación de la red hídrica y sitios de interés minero: con base en la cartografía hidrológica y los análisis geospaciales, se verificó que el territorio de La Llanada se encuentra irrigado por una densa red de drenaje que tributa sus aguas al océano Pacífico. En el componente hidrográfico, se identificaron como principales corrientes las quebradas El Purgatorio, Canadá, El Cedro y Cantagua, así como los ríos Telembí y Sumbiambí, afluentes del río Patía. Esta identificación resultó indispensable para las fases posteriores de evaluación de impactos, al permitir correlacionar los focos de explotación con los cuerpos de agua más susceptibles de contaminación por vertimientos, sedimentos o residuos de beneficio aurífero. Asimismo, la revisión documental permitió ubicar sitios de interés minero de relevancia para el análisis, como las minas El Canadá, El Páramo y El Cisne (en el municipio de Andes), y las minas San Judas, La Golondrina y La Gualconda en el municipio de La Llanada, las cuales han sido históricamente representativas en la producción de oro a pequeña escala. Esta información, derivada de la Guía Metodológica La Llanada–Los Andes–Sotomayor y complementada con el Plan de Desarrollo y Plan Territorial de Salud de La Llanada 2024–2027, permitió vincular la información espacial con las prioridades socioambientales identificadas en los instrumentos locales de planificación. Finalmente, los resultados de esta actividad proporcionaron la base para la elaboración de la cartografía temática de análisis, garantizando la precisión de los shapes y la integración de la información territorial en el Sistema de Información Geográfica (SIG) que se utilizó para las etapas de diagnóstico y evaluación de problemáticas ambientales.

Actividad 3. Procesamiento y georreferenciación de datos para la caracterización espacial. Esta actividad tuvo como propósito consolidar la información documental, estadística y espacial recopilada en las fases anteriores, con el fin de generar productos cartográficos

que permitieran caracterizar la dinámica espacial de la pequeña minería de oro en las microcuencas El Murciélagu y El Arenal, ubicadas en el municipio de La Llanada, Nariño. Para ello, se desarrollaron diversas operaciones en el software ArcGIS Pro, orientadas a la delimitación del área de estudio, la georreferenciación de minas, y la construcción de algunos mapas temáticos de apoyo al análisis ambiental.

Delimitación del área de estudio y cartografía base: inicialmente se realizó la delimitación del área de estudio, tomando como referencia las microcuencas El Murciélagu y El Arenal. La delimitación se efectuó mediante la importación de los límites municipales (La Llanada, Los Andes y Linares) y la red hidrográfrica obtenida del Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC) y del Sistema de Información Ambiental de Colombia (SIAC). A partir de esta información se estableció el polígono de trabajo que comprende aproximadamente 5.725 hectáreas, con un perímetro de 33,6 km.

Sobre esta cartografía base se integraron las curvas de nivel, la red de drenaje y la red vial, lo que permitió comprender la configuración física y el relieve del territorio, insumos necesarios para el posterior análisis de impactos y relaciones espaciales. Estos elementos fueron organizados en un mapa titulado “Delimitación del Área de Estudio”, donde se representaron las principales unidades topográficas, las veredas comprendidas dentro del polígono, y los límites municipales.

Identificación y localización de minas: posteriormente se realizó la identificación y georreferenciación de las minas activas o históricas dentro del área de estudio. La información se obtuvo a partir de fuentes como el Catastro Minero Colombiano (ANM), el informe de la Guía Metodológica para la Formalización Minera (La Llanada, Los Andes y Sotomayor), y la cooperativa COODMILLA.

Mediante un proceso de geocodificación indirecta, se asignaron coordenadas aproximadas a las minas con base en referencias espaciales contenidas en los documentos y la interpretación de imágenes satelitales. Una vez integradas las capas, se generó el mapa de caracterización espacial de la pequeña minería, donde se ubicaron minas como El Páramo, La Palmera, El Cañada, El Cisne, El Tablón y La Espedita, entre otras. Este mapa permitió establecer la distribución de los puntos de extracción en relación con la topografía,

la red de drenaje y los límites de las microcuencas, evidenciando la concentración de la actividad minera en zonas altas y medias del territorio.

Análisis de red de drenaje y proximidad: en una segunda etapa, se llevó a cabo el análisis espacial de la red de drenaje y la proximidad de las minas a los cauces hídricos, con el fin de identificar posibles zonas de riesgo de contaminación y afectación directa a los cuerpos de agua. Adicionalmente, se elaboró un mapa temático donde se visualizaron los cauces principales de las quebradas El Murciélagos y El Arenal, junto con la red secundaria y los puntos mineros cercanos, lo que permitió definir zonas de influencia y priorizar áreas críticas en términos de manejo ambiental.

## FASE II. DETERMINACIÓN DE PROBLEMÁTICAS AMBIENTALES

Actividad 1. Análisis cuantitativo de calidad ambiental (Componente Agua, aire suelo, subsuelo, paisaje y biótico). Esta actividad tuvo como propósito analizar y sintetizar la información existente sobre la calidad ambiental en el área de estudio, con el fin de identificar los niveles de afectación ocasionados por la pequeña minería de oro sobre los componentes agua y suelo en las microcuencas El Murciélagos y El Arenal del municipio de La Llanada (Nariño). El análisis se fundamentó exclusivamente en información secundaria proveniente del documento técnico “Guía Metodológica para el Mejoramiento Productivo del Beneficio de Oro sin el Uso de Mercurio. La Llanada y Andes Sotomayor (Nariño)” (SGC, MINMINAS, 2018) elaborado en el marco del programa de formalización minera del Ministerio de Minas y Energía y la Universidad de Nariño.

Recolección y sistematización de la información: en esta actividad no se realizó trabajo cartográfico ni espacial. La información fue extraída, organizada y tabulada directamente a partir de los apartados de caracterización química y ambiental incluidos en la guía metodológica. Los datos procesados correspondieron a registros de monitoreo de calidad del agua, análisis de suelos y caracterización de relaves, obtenidos en los estudios técnicos desarrollados en las zonas mineras de los municipios de La Llanada y Los Andes Sotomayor.

La información se consolidó en hojas de cálculo (Microsoft Excel), agrupando los datos bajo tres ejes temáticos principales:

- Caracterización química y ambiental, incluyendo parámetros fisicoquímicos y contenido de metales pesados en agua y suelo.
- Control químico-ambiental, con valores de referencia y límites máximos permisibles establecidos por la normativa colombiana vigente.
- Contaminación por mercurio y normatividad, orientado a identificar los riesgos ambientales asociados al uso histórico de mercurio en las operaciones de beneficio de oro.

Dentro de este proceso, se clasificaron los tipos de datos consolidados en cinco categorías principales, que incluyeron:

- Identificación de los puntos de muestreo (microcuenca, componente y ubicación).
- Parámetros de calidad del agua, tales como sólidos suspendidos totales (SST), pH y otros parámetros fisicoquímicos.
- Contaminantes críticos, especialmente concentraciones de mercurio (Hg) y otras sustancias derivadas de la actividad minera.
- Datos geoquímicos de relaves, como el potencial de neutralización o la generación de drenaje ácido de mina (DAM).
- Referencias normativas, con los Límites Máximos Permisibles (LMP) aplicables a cada parámetro según la legislación ambiental colombiana y la normatividad sobre mercurio.

Diseño de la matriz de tabulación y ponderación: con base en los datos obtenidos, se diseñó una matriz analítica que permitió organizar la información en un formato unificado y facilitar la comparación entre puntos de muestreo y parámetros. Dicha matriz se estructuró de manera que integrara la información normativa y los resultados analíticos, posibilitando la identificación de los niveles de afectación ambiental por tipo de contaminante y por microcuenca.

El análisis de los datos se realizó considerando la intensidad y severidad de los impactos ambientales identificados. Para ello, se aplicó una metodología que permitió asignar un valor numérico a cada problemática según su magnitud e impacto potencial sobre el ecosistema. El sistema de valoración empleó una escala de 1 a 10, en la que los valores

más altos representaban mayores niveles de afectación. Los criterios de evaluación fueron los siguientes:

- Magnitud de la contaminación (60%): se evaluó la diferencia entre las concentraciones reportadas y los valores de referencia ambientales o normativos, priorizando los casos que superaban significativamente los niveles esperados.
- Severidad del riesgo (40%): se analizó la persistencia de los contaminantes en el ambiente, especialmente en lo relacionado con la acumulación de mercurio en sedimentos y suelos, y su capacidad de bioacumulación.

Categorización de los niveles de afectación: con el fin de interpretar los resultados de forma cualitativa, los valores ponderados se agruparon en tres niveles de afectación ambiental:

- Alta afectación: valores que exceden de manera significativa los límites normativos y representan un riesgo ambiental alto.
- Media afectación: valores que se aproximan al límite permisible o presentan evidencia de deterioro ambiental moderado.
- Baja afectación: valores que se mantienen dentro del rango de referencia ambiental y no implican riesgo evidente.

Esta clasificación se basó directamente en la metodología y los rangos definidos en la “Guía Metodológica para el mejoramiento productivo del beneficio de oro sin el uso de mercurio” (SGC, MINMINAS, 2018), la cual proporcionó los valores de referencia para cada parámetro analizado.

Importancia metodológica de la actividad: el desarrollo de esta actividad permitió integrar y estandarizar información técnica dispersa proveniente de diversas fuentes dentro del documento base, generando un insumo cuantitativo confiable para la fase tres. La matriz elaborada facilitó la identificación preliminar de las problemáticas ambientales más relevantes en las microcuencas de estudio, evidenciando la incidencia del uso de mercurio y la presencia de sólidos y relaves en cuerpos de agua cercanos a las minas. Asimismo, este análisis constituyó un punto de partida fundamental para la Actividad 2 de la Fase II,

en la que los resultados obtenidos se representaron gráficamente, permitiendo correlacionar la distribución de las problemáticas con las zonas de influencia minera.

Actividad 2. Análisis cualitativo de problemáticas ambientales (Componente aire, agua, suelo, subsuelo, paisaje y biótico). Esta actividad tuvo como propósito identificar, jerarquizar y evaluar las problemáticas de tipo cualitativo asociadas a la pequeña minería en el municipio de La Llanada, mediante la revisión y análisis de información secundaria contenida en el documento “Diagnóstico Minero Ambiental del Distrito Minero La Llanada 2006, 2007” y la validación de observaciones en campo con el encargado de la Oficina de Asuntos Mineros del municipio. El procedimiento metodológico se desarrolló en las siguientes etapas:

Revisión Documental y Análisis de Contenido Temático. Se efectuó un análisis exhaustivo del documento base Diagnóstico Minero Ambiental del Distrito Minero La Llanada (2006–2007), a partir del cual se extrajeron los registros cualitativos de afectaciones ambientales relacionadas con las actividades de exploración, explotación y beneficio del oro. Este proceso permitió identificar impactos recurrentes como la emisión de gases y material particulado, ruido y vibraciones por plantas de beneficio, alteración paisajística, degradación del suelo y afectaciones bióticas por pérdida de cobertura vegetal.

La información se organizó por componentes ambientales (aire, agua, suelo y subsuelo, paisaje y biótico), priorizando las afectaciones más citadas y su relación con las actividades mineras específicas descritas en el documento, tales como molienda, concentración, amalgamación, cianuración y disposición de estériles.

Aplicación de la matriz de interacción y ponderación cualitativa: con base en la información extraída, se elaboró una matriz causa-efecto (adaptación de una matriz tipo Leopold simplificada), donde se cruzaron las actividades de la minería de oro (exploración, construcción y montaje, explotación y beneficio) con los componentes ambientales afectados. Cada intersección se evaluó cualitativamente utilizando una escala de Bajo (B), Medio (M) y Alto (A), de acuerdo con los criterios establecidos en el diagnóstico y complementados con la observación local:

- Magnitud: intensidad y alcance del impacto.
- Durabilidad: tiempo de permanencia del efecto.
- Frecuencia: periodicidad con la que ocurre.
- Mitigabilidad: capacidad de reversión o control.
- Plazo: rapidez con la que se manifiesta el impacto.

Validación local y observación directa: para fortalecer la validez de los resultados, se realizó una visita técnica a las áreas de influencia minera, incluyendo zonas de beneficio y depósitos de relaves. Durante esta visita se efectuó una verificación visual y registro fotográfico de las principales fuentes de impacto identificadas en los documentos. Asimismo, se llevó a cabo una entrevista dirigida al encargado de la Oficina de Asuntos Mineros de La Llanada, quien aportó información relevante sobre la persistencia y gravedad de las problemáticas, así como la ubicación actual de las plantas de beneficio y su relación con las zonas residenciales. Estos aportes fueron incorporados en la ponderación final de la matriz cualitativa, ajustando los niveles de impacto según la evidencia observada y la experiencia local, lo que permitió obtener una representación más precisa de las condiciones ambientales actuales.

Representación gráfica de Problemáticas: con base en los resultados de la matriz de evaluación cualitativa, se asignaron valores ponderados a las problemáticas ambientales de mayor recurrencia (ruido, emisiones, contaminación del agua, disposición de estériles y afectación paisajística). Estos valores fueron categorizados en tres niveles de criticidad:

- Alta afectación (rojo): áreas con presencia directa de plantas de beneficio y vertederos cercanos a fuentes hídricas o al casco urbano.
- Media afectación (naranja): zonas donde las actividades mineras generan presión ambiental indirecta sobre los drenajes o el paisaje.
- Baja afectación (amarillo): sectores con influencia minera leve o con procesos de recuperación vegetal visible.

### FASE III. ANÁLISIS CAUSAL Y SÍNTESIS PARA LA GOBERNANZA

Esta fase tuvo como propósito identificar las causas y factores que originan o potencian las problemáticas ambientales derivadas de la pequeña minería de oro en las microcuencas El Murciélagos y El Arenal, en el municipio de La Llanada (Nariño).

A partir de la información obtenida en las fases anteriores, la caracterización de las actividades mineras (Fase I) y la identificación de problemáticas ambientales (Fase II) se realizó un análisis causal integral, orientado a comprender por qué se generan las afectaciones y qué factores estructurales o de gestión las mantienen o agravan.

Actividad 1. Matriz de relación causa–problema–factor. Para esta actividad se construyó una matriz de causalidad, cuyo propósito fue relacionar cada problemática ambiental identificada con sus causas directas y factores subyacentes. Esta herramienta permitió realizar una comparación por parte del encargado de la oficina de asuntos mineros, el señor Juan Carlos Patiño con las matrices de impactos ambientales del diagnóstico minero ambiental, Distrito Minero La Llanada (2006, 2007), con el fin de tener una comprensión más precisa acerca de los conflictos ambientales presentes en el territorio. El análisis se realizó en tres pasos secuenciales:

- Identificación de problemáticas clave: se tomaron las problemáticas priorizadas dentro de los componentes ambientales (como aire, agua, suelo, subsuelo, paisaje y biótico).
- Determinación de causas directas: se analizaron las prácticas mineras responsables de dichas afectaciones (uso de mercurio, remoción de suelos, vertimientos sin tratamiento, deforestación).
- Reconocimiento de factores subyacentes: se identificaron los elementos estructurales o institucionales que contribuyen a la persistencia del problema, tales como: aplicación de la normatividad ambiental y minera, existencia de programas locales de educación ambiental, alternativas tecnológicas sin mercurio, coordinación interinstitucional entre entidades mineras y ambientales.

Actividad 2. Síntesis y redacción de resultados. En esta actividad se realizó la sistematización final de la información obtenida a lo largo del proceso de investigación, integrando los datos derivados de la caracterización minera con los resultados obtenidos en el análisis ambiental y causal. A partir de esta integración, se elaboró una síntesis general que permitió comprender de manera más clara las dinámicas presentes en el área de estudio y sus implicaciones ambientales. Como parte del proceso, se formularon recomendaciones orientadas a la prevención, mitigación y control de los impactos ambientales identificados, así como a fortalecer la gestión sostenible de los recursos naturales en las zonas de influencia minera. Estas recomendaciones se plantearon con un enfoque de gobernanza ambiental, promoviendo la articulación entre los actores locales, las autoridades ambientales y las comunidades involucradas.

La redacción final del documento se centró en reflejar los resultados obtenidos y en resaltar la importancia de generar conciencia ambiental, planificación territorial responsable y estrategias de desarrollo sostenible en las cuencas hidrográficas donde se llevan a cabo actividades de pequeña minería de oro.

## RESULTADOS

### RESULTADOS FASE I. CARACTERIZACIÓN DEL TERRITORIO Y DE LA ACTIVIDAD MINERA

Tabla 2. Caracterización de la actividad minera en La Llanada (Fase I).

<b>En cuanto a:</b>	<b>Contenido Descriptivo</b>
Ubicación y distribución de las minas	Las minas se concentran principalmente en las veredas de La Llanada y Los Andes, localizadas en zonas de media y alta montaña. Se identificaron minas como El Páramo, El Canadá, La Palmera, El Cisne, El Tablón y La Golondrina, ubicadas cercanas a microcuencas y drenajes secundarios.
Red hídrica asociada	El territorio está irrigado por una red hídrica densa que tributa al río Patía. Las quebradas y ríos más influenciados por la actividad minera

<b>En cuanto a:</b>	<b>Contenido Descriptivo</b>
	son: Quebrada Canadá, Quebrada Cantagua, Quebrada El Cedro, Río Telembí y Río Sumbambí. Estas fuentes abastecen ecosistemas y poblaciones locales, siendo claves para identificar posibles rutas de afectación.
Tipo de extracción predominante	La minería es subterránea de socavón, orientada a la extracción de oro de filón. La actividad es desarrollada por organizaciones comunitarias y pequeños productores, articulados a través de Coodmilla.
Métodos y tecnologías empleadas	La extracción utiliza molienda gravimétrica mediante molinos chilenos, mesas de concentración y canalones. Históricamente existió uso de amalgamación y cianuración, pero la cooperativa actualmente renunció al uso de mercurio y cianuro, adoptando técnicas limpias certificadas Fairmined.
Insumos y recursos utilizados	Se emplean principalmente: agua (como medio en la concentración), energía mecánica (motores y ruedas Pelton), herramientas metálicas (mazas, tambores) y mano de obra local. Se resalta la no utilización de reactivos químicos en los procesos actuales avalados por Coodmilla.
Residuos y materiales derivados	Se generan principalmente relaves y residuos estériles del material de descarte de roca. Estos residuos presentan capacidad de neutralización debido a su composición mineral (carbonatos), lo que disminuye el riesgo de drenaje ácido, pero pueden generar carga de sólidos en suspensión en las quebradas si son mal manejados.
Condiciones ecológicas del entorno	El área presenta vegetación de páramo y subpáramo en zonas altas, así como zona de nacimiento de quebradas. En zonas bajas persisten bosques naturales con biodiversidad importante. El relieve montañoso y quebrado condiciona la localización de bocaminas y la dirección del flujo hídrico.
Actores y organización comunitaria	La actividad es gestionada principalmente por la Cooperativa Coodmilla, con apoyo histórico del Ministerio de Minas y Energía. La minería representa una actividad económica esencial y medio de subsistencia, relevante en la construcción del tejido social local.

<b>En cuanto a:</b>	<b>Contenido Descriptivo</b>
Impactos potenciales observados	Aunque la minería limpia reduce contaminación química, persisten problemáticas asociadas al manejo de relaves y sedimentación, remoción de cobertura y modificación localizada de cauces secundarios. Los impactos son puntuales, pero pueden volverse acumulativos en microcuencas.

Fuente: Elaboración propia con base en “Diagnóstico Minero Ambiental del Distrito Minero La Llanada 2006, 2007”.

Caracterización fisiográfica e hídrica del área de estudio. El área de estudio, comprendida dentro de las microcuencas El Murciélago y El Arenal, presenta un relieve predominantemente montañoso y quebrado, característico de los sistemas de media y alta montaña de la región andina. Se identificaron zonas con vegetación arbustiva de páramo y subpáramo en los sectores más elevados, las cuales actúan como áreas estratégicas de recarga hídrica y nacimiento de quebradas. En los sectores medios y bajos se registraron coberturas de bosque natural con menor grado de intervención, destacándose la presencia de diversidad de flora y fauna propia de zonas húmedas tropicales de montaña. El clima mostró variaciones significativas asociadas al gradiente altitudinal, desde condiciones frías en las partes altas hasta temperaturas más templadas en las zonas inferiores.

En relación con la red hídrica, el territorio se encuentra irrigado por un sistema de drenaje denso y ramificado que tributa sus aguas hacia el océano Pacífico. Entre los cuerpos de agua más importantes se encuentran las quebradas El Purgatorio, Canadá, El Cedro y Cantagua, además de los ríos Telembí y Sumbiambí, los cuales son tributarios del río Patía. La identificación de estas redes permitió establecer zonas sensibles en términos de disponibilidad y calidad del recurso hídrico, lo cual resultó clave para el análisis posterior de afectación ambiental.

Ubicación de sitios mineros y estructura territorial de la actividad. A través de la revisión de cartografía temática y el mapa de delimitación del área de estudio, se identificó la presencia de múltiples bocaminas y áreas de explotación asociadas a la minería aurífera artesanal. Entre los sitios de mayor concentración minera se registraron las minas El Canadá, El Páramo, La Palmera, El Cisne, El Tablón y La Espedita, distribuidas principalmente sobre



siglo XX, con un desarrollo relevante en la década de 1930. La entrada de empresas extranjeras durante este periodo dio paso a la apertura de minas importantes como El Canadá; sin embargo, su abandono tras la caída del precio del oro en 1945 llevó a una consolidación de la minería tradicional y local, la cual se mantiene como la base económica del territorio (Restrepo, 2018). A diferencia de otras zonas del país, en La Llanada se ha registrado una intervención activa del Estado colombiano, mediante programas de asistencia técnica y fortalecimiento organizativo. Como resultado de estas iniciativas se consolidó la Cooperativa del Distrito Minero de La Llanada (Coodmilla), fundada en 1977, la cual actualmente reúne a 182 asociados y sostiene un modelo productivo de pequeña minería legalmente reconocida. Coodmilla se ha convertido en un actor central en la administración del recurso minero y en la promoción de prácticas responsables dentro del territorio.

Procesos de beneficio del mineral y tecnologías implementadas. Las etapas de preparación y beneficio del mineral muestran predominio de métodos manuales y mecánicos. La trituración se realiza mayoritariamente con maceta y dados de apoyo (78%), aunque un 13% de las minas incorpora trituradoras de mandíbulas, lo cual permite mejorar la eficiencia en la reducción de tamaño de la roca. La molienda se efectúa en molinos antioqueños, californianos, semicalifornianos y, en menor medida, en molinos chilenos con capacidad aproximada de una tonelada por hora.

La recuperación del oro se realiza principalmente por métodos gravimétricos, a través de mesas de concentración, paños, canalones o cubas. Sin embargo, se mantiene el uso de amalgamación con mercurio en diversas unidades mineras pequeñas debido a su bajo costo y relativa facilidad operativa. En algunos casos, las arenas residuales son sometidas a procesos de cianuración cuando se dispone de la infraestructura necesaria. Adicionalmente, se observó la práctica de minería de subsistencia o barequeo en los sectores bajos de las quebradas, principalmente para recuperar oro residual procedente de relaves o pérdidas en los procesos tradicionales.

Consideraciones geoquímicas sobre residuos y riesgo de contaminación. El análisis documental evidenció que los relaves mineros en La Llanada presentan propiedades fisicoquímicas favorables en términos de estabilidad geoquímica, con un potencial de

neutralización elevado y presencia significativa de carbonatos. Esto reduce el riesgo de generación de drenaje ácido de mina. Sin embargo, se identificó que la problemática ambiental predominante no se relaciona con procesos de acidificación, sino con la disposición inadecuada de residuos estériles y la generación de sólidos suspendidos que ingresan a los cauces hídricos, lo cual fue la base para orientar la Fase II hacia la identificación y localización precisa de dichas afectaciones.

## RESULTADOS FASE II – DETERMINACIÓN DE PROBLEMÁTICAS AMBIENTALES

La Fase II permitió evidenciar diversas problemáticas ambientales derivados de la actividad minera en el Distrito Minero La Llanada – Los Andes Sotomayor (Nariño), particularmente en las unidades El Páramo, El Cañada, El Cisne, La Palmera, El Tablón y La Espedita. El área de estudio muestra signos claros de alteración ambiental sobre los componentes de agua, suelo, aire, biodiversidad y paisaje, producto de los procesos de extracción y beneficio aurífero que se desarrollan en la región.

De acuerdo con los estudios “Diagnóstico Minero Ambiental – Distrito Minero de La Llanada” (2006–2007) y la “Guía Metodológica para el Mejoramiento Productivo del Beneficio de Oro sin el Uso de Mercurio – La Llanada y Andes Sotomayor (Nariño)”, se estableció una base técnica y analítica que permitió comprender con mayor precisión las afectaciones generadas por la minería tradicional y mecanizada. Estos documentos, junto con la información recopilada en campo, constituyeron un soporte fundamental para interpretar los resultados obtenidos durante esta fase.

La visita al área de estudio se realizó el 20 de junio del presente año y, fue esencial para constatar directamente las condiciones ambientales actuales, evidenciando impactos visibles en las quebradas cercanas a las minas, los suelos adyacentes a las plantas de beneficio y las zonas de disposición de colas y lodos. Asimismo, el diálogo y la colaboración del señor Juan Carlos Patiño, encargado de la Oficina de Asuntos Mineros del municipio, aportaron una visión práctica y contextualizada sobre la dinámica minera local. Según sus observaciones, “las problemáticas ambientales no solo derivan del uso de mercurio o del vertimiento de residuos, sino también de la falta de control técnico en la disposición de materiales, lo que termina afectando directamente la estabilidad del terreno y la calidad del

agua”. De esta manera, los resultados de la Fase II reflejan un panorama ambiental complejo, donde confluyen factores históricos, productivos y de gestión, que requieren un análisis integral para la formulación de estrategias de manejo sostenible del territorio minero como se muestran a continuación.

Variación mineralógica y riesgo químico asociado. Los resultados muestran diferencias claras entre las zonas de La Llanada y Los Andes – Sotomayor:

Tabla 3. Variación mineralógica y riesgo químico asociado.

<b>Sector</b>	<b>Minerales Predominantes</b>	<b>Metales Asociados</b>	<b>Interpretación Ambiental</b>
La Llanada	Arsenopirita y Pirita	Arsénico, Zinc y trazas de Bismuto	Mayor riesgo de liberación de arsénico hacia aguas superficiales y suelos, especialmente cuando los relaves quedan expuestos a la intemperie.
Los Andes – Sotomayor (Nueva Esparta – Gualconda)	Sulfosales en vetas estrechas	Antimonio y Plomo	Potencial de contaminación por plomo y antimonio, particularmente en áreas donde el mineral es pulverizado para su beneficio.

Fuente: Elaboración propia con base en “Diagnóstico Minero Ambiental del Distrito Minero La Llanada 2006, 2007”.

Esta relación mineralógica explica por qué algunos cuerpos de agua presentan mayor alteración química que otros: los contaminantes no aparecen de manera aislada, sino que son inherentes a la composición natural del mineral extraído.

Calidad del agua en quebradas asociadas a la actividad minera. Los registros comparativos aguas arriba y aguas abajo evidencian alteraciones químicas y físicas vinculadas al vertimiento de relaves y descargas del proceso de beneficio.

Tabla 4. Calidad del agua en quebrada.

<b>Parámetro</b>	<b>Rango Ambiental Esperado</b>	<b>Valores en zonas afectadas</b>	<b>Interpretación</b>
pH	6.5 – 8.0	5.3 – 5.9	Indica acidificación leve, que afecta la estabilidad biológica del ecosistema.
Turbidez	≤ 50 UNT	> 180 UNT	Demuestra alta carga de material particulado, reduciendo la oxigenación y la biodiversidad acuática.

Fuente: Elaboración propia con base en “Diagnóstico Minero Ambiental del Distrito Minero La Llanada 2006, 2007”.

Las quebradas cercanas a bocaminas y plantas muestran pérdida de calidad, especialmente donde los relaves no cuentan con confinamiento adecuado.

Contenido de mercurio en sedimentos activos. Se registraron valores superiores a 180 µg/Kg, lo que implica: Riesgo ecotoxicológico para macroinvertebrados, posible metilación, lo que vuelve el mercurio más tóxico y bioacumulable, transmisión a cadenas alimenticias y, potencialmente, a consumo humano.

Cumplimiento normativo en vertimientos

Tabla 5. Cumplimiento normativo de vertimientos.

<b>Planta / Zona</b>	<b>Sustancia Crítica</b>	<b>Rango Encontrado</b>	<b>Estado Frente a Norma</b>	<b>Interpretación</b>
Nueva Esparta (Sotomayor)	Cianuro total	> 300 mg/L	Supera LMP	Uso intensivo de cianuración sin sistemas adecuados de retención.

<b>Planta / Zona</b>	<b>Sustancia Crítica</b>	<b>Rango Encontrado</b>	<b>Estado Frente a Norma</b>	<b>Interpretación</b>
El Páramo y El Cañada (La Llanada)	Cianuro	450–712 mg/L	Muy por encima del LMP	Indica vertimientos directos y reactivos no controlados.
La Gualconda	Mercurio	No detectable	Cumple	Evidencia mejor manejo técnico y transición hacia procesos sin mercurio.

Fuente: Elaboración propia con base en “Diagnóstico Minero Ambiental del Distrito Minero La Llanada 2006, 2007”.

Mediante la observación directa realizada en la visita técnica al área de estudio, fue posible reconocer afectaciones diferenciadas en los componentes aire, agua, suelo-subsuelo, paisaje y biota. A su vez, la validación y diálogo con el encargado de la Oficina de Asuntos Mineros, Juan Carlos Patiño, permitió contrastar los registros históricos con las condiciones actuales, así como comprender la relación entre la actividad minera y la dinámica comunitaria del municipio.

Componente atmosférico (aire y ruido). Los registros evidenciaron la persistencia de prácticas que contribuyen a la liberación de material particulado, vapores y niveles elevados de ruido en zonas con presencia de plantas de beneficio cercanas al área urbana.

Tabla 6. Componente atmosférico.

<b>Práctica en beneficio</b>	<b>% de mineros</b>	<b>Impacto ambiental asociado</b>
Quema de amalgama al aire libre	27%	Alta liberación de vapores de mercurio, con riesgo directo para salud humana.
Uso de retorta o condensación	35%	Reducción de emisiones entre 60–80%, pero requiere mantenimiento adecuado.

<b>Práctica en beneficio</b>	<b>% de mineros</b>	<b>Impacto ambiental asociado</b>
Métodos mixtos	5%	Emisiones variables y difícil control.
Procesos sin amalgamación	33%	No generan vapores de Hg, tendencia asociada a tecnificación reciente.

Fuente: Elaboración propia con base en "Diagnóstico Minero Ambiental del Distrito Minero La Llanada 2006, 2007".

Adicionalmente, se registró que: la molienda genera exposición crónica a partículas finas, la voladura en socavones es la principal fuente de ruido y vibración, la presencia de una planta de beneficio dentro del casco urbano, cercana a viviendas y a la cancha municipal, agrava la exposición comunitaria a ruidos frecuentes y olores provenientes del proceso de beneficio, lo cual ha sido objeto de inconformidad ciudadana.

Según Herrera (2018), esta situación se relaciona con la ausencia de una zonificación minera dentro del Esquema de Ordenamiento Territorial (EOT), lo que ha impedido la reubicación de estas plantas en áreas ambiental y socialmente más adecuadas.

Componente hidrosférico (agua y sedimentos). El análisis cualitativo mostró que la actividad minera continúa generando alteraciones en drenajes superficiales, especialmente en quebradas cercanas a zonas de beneficio y disposición de estériles.

Tabla 7. Componente hidrosférico.

<b>Tipo de vertimiento</b>	<b>% de ocurrencia</b>	<b>Consecuencia ambiental</b>
Descargas directas a quebradas	85%	Aumento de turbidez, sedimentación y afectación a fauna acuática.
Vertimiento a campo abierto	11%	Riesgo de infiltración y contaminación subterránea.

<b>Tipo de vertimiento</b>	<b>% de ocurrencia</b>	<b>Consecuencia ambiental</b>
Beneficio fuera del área local	4%	Disminución del impacto local.

Fuente: Elaboración propia con base en "Diagnóstico Minero Ambiental del Distrito Minero La Llanada 2006, 2007".

Aunque los datos en agua muestran concentraciones de mercurio dentro de límites permisibles, los sedimentos activos sí superan valores de referencia ecotoxicológica, lo que indica riesgo de bioacumulación en peces, afectación de macroinvertebrados y posibles impactos en salud humana a largo plazo.

Componente geoesférico (suelo y subsuelo). La remoción constante de material y la acumulación de estériles fueron claramente identificadas como fuentes de erosión localizada, pérdida de capa orgánica superficial y potencial generación de drenaje ácido de mina en zonas donde aflora pirita y arsenopirita.

Durante la visita de campo se observó acumulación extensiva de saquillas (costales de polipropileno) utilizadas para transportar material estéril hacia las plantas de beneficio. Estas permanecen a la intemperie por largos períodos y presentan: degradación lenta, arrastre por escorrentía hacia microcuencas y riesgo de colapso de taludes artesanales.

Componente bioesférico (flora y fauna)

Tabla 8. Componente bioesferico.

<b>Elemento</b>	<b>Evidencia de afectación</b>
Cobertura vegetal	Remoción parcial para apertura de accesos y sostenimiento de campamentos.
Fauna terrestre	Desplazamiento por ruido, presencia humana y químicos.

Elemento	Evidencia de afectación
Fauna acuática	Reportes comunitarios de disminución de especies pequeñas y macroinvertebrados en quebradas próximas a plantas y relaves.

Fuente: Elaboración propia con base en “Diagnóstico Minero Ambiental del Distrito Minero La Llanada 2006, 2007”.

La pérdida de vegetación protectora incrementa la vulnerabilidad a erosión en laderas empinadas.

Componente paisajístico. Solo el 2% de las minas implementa manejo formal de estériles, lo que resulta en: botaderos expuestos, laderas con cortes visibles e impacto visual negativo sobre el paisaje del valle minero. Durante el recorrido, Juan Carlos Patiño enfatizó que: “No es que la minería sea incompatible con el paisaje. El problema es el desorden. Si hubiera áreas claras para depositar estériles y ubicar plantas, el impacto sería otro. “Su afirmación coincide con lo señalado por Herrera (2018): la problemática no es únicamente técnica, sino de ordenamiento territorial y capacidad institucional.

Ilustración 1. Acumulación de saquillas o costales en la planta de beneficio



Ilustración 2. Planta de beneficio de La Llanada, ubicada en la cabecera



Fuente: Elaboración propia.

El análisis cualitativo permitió identificar y jerarquizar las principales problemáticas ambientales asociadas a las actividades mineras en el municipio de La Llanada, mediante la revisión detallada del Diagnóstico Minero Ambiental del Distrito Minero La Llanada 2006–2007 y su contrastación con observaciones directas de campo y entrevistas realizadas con el encargado de la Oficina de Asuntos Mineros del municipio.

La revisión documental permitió estructurar las afectaciones ambientales según los componentes aire, agua, suelo y subsuelo, paisaje y biótico, considerando los procesos específicos de extracción, molienda, amalgamación y cianuración. Esta organización fue posteriormente comparada con la información obtenida en campo, donde se corroboró la presencia activa de los impactos identificados en el documento técnico. Para este ejercicio se empleó una matriz cualitativa de tipo causa–efecto, que relacionó las etapas de la actividad minera con los componentes ambientales afectados, asignando niveles de severidad (Bajo, Medio y Alto) según su magnitud, persistencia y posibilidad de mitigación.

Un aspecto clave en esta fase fue la validación local. Durante la visita técnica se observaron condiciones que refuerzan los hallazgos documentales, entre ellas: la acumulación inadecuada de material estéril en sacos de polipropileno alrededor de plantas de beneficio, la permanencia prolongada de estos residuos debido a su baja degradabilidad y la proximidad de la planta de procesamiento principal a zonas residenciales y a una cancha deportiva. Estas condiciones no sólo generan afectaciones ambientales, sino también molestias sociales asociadas a ruido, olores, emisiones y deterioro visual, lo cual coincide con lo señalado por Herrera (2018), quien atribuye estas problemáticas a la falta de una adecuada planificación de uso del suelo en el Esquema de Ordenamiento Territorial (EOT) municipal, así como a limitaciones institucionales para el control y legalización de las Unidades Productoras Mineras (UPM).

En cuanto al componente atmosférico, la matriz de análisis indicó que la quema de amalgamas al aire libre sigue siendo una práctica presente, particularmente en operaciones de pequeña escala, lo que contribuye a la liberación directa de vapores de mercurio (Hg) al ambiente. Si bien algunas unidades han adoptado retortas, la transición no es homogénea y se mantiene la exposición crónica a material particulado debido a procesos de trituración y molienda en espacios semiabiertos o cercanos a áreas residenciales.

En el componente hidrosférico, se evidenció que el 85% de los vertimientos continuaría realizándose directamente sobre quebradas, lo que se traduce en incrementos en turbidez, sedimentación y alteración de hábitats acuáticos. Aunque las concentraciones de mercurio en agua se mantienen dentro de límites normativos, los sedimentos analizados muestran niveles superiores a los umbrales de riesgo, lo cual implica riesgo de bioacumulación y transferencia trófica a peces y, potencialmente, a las comunidades locales.

Respecto al componente suelo y subsuelo, se identificaron procesos de remoción de cobertura vegetal, erosión localizada y generación de drenajes ácidos asociados a la exposición de sulfuros, particularmente en zonas con arsenopirita, lo cual coincide con la caracterización mineralógica previamente analizada. Esto favorece la liberación de arsénico en La Llanada y de antimonio y plomo en zonas de Los Andes–Sotomayor.

Ilustración 3. Proceso de remoción



Fuente: Elaboración propia.

Desde el componente paisajístico y biótico, se reconoció la pérdida gradual de cobertura vegetal y la afectación de hábitats específicos cercanos a las explotaciones, así como un deterioro visual notorio en áreas donde la disposición de estériles es incontrolada.

Análisis Integrado de las Matrices de Impacto. Las matrices de impacto ambiental (Diagnostico Minero Ambiental Distrito Minero de la Llanada, 2006, 2007) para los municipios de La Llanada y Los Andes analizadas conjuntamente con el Ing. Juan Carlos Patiño, mostraron una alta coincidencia entre los niveles de afectación identificados documentalmente y las observaciones actuales en el territorio. La ponderación realizada por el profesional permitió confirmar que los impactos de mayor relevancia corresponden a: emisión de material particulado y vapores de mercurio (Aire), aporte de sedimentos y alteraciones fisicoquímicas en quebradas (Agua), degradación de suelos y riesgo de drenaje ácido (Suelo–Subsuelo), alteración del paisaje urbano-rural por ubicación de plantas y botaderos, pérdida de cobertura vegetal y desplazamiento de fauna local (Biótico) se interpretaron los impactos según frecuencia y repetición en nivel Alto (A) a lo largo de todas las etapas de la actividad minera (exploración, construcción y montaje, explotación y beneficio).

Criterio aplicado:

A = Impacto Alto → Ponderación 3

M = Impacto Medio → Ponderación 2

B = Impacto Bajo → Ponderación 1

Se contabilizó cuántas veces cada impacto aparece con nivel Alto (A) en ambas matrices. Luego se calculó el porcentaje de significancia sobre el total de impactos evaluados.

Tabla 9. Ocurrencia de impactos ambientales.

<b>Impacto Ambiental</b>	<b>Frecuencia de nivel ALTO (A)</b>	<b>Porcentaje de Relevancia (%)</b>	<b>Interpretación</b>
Contaminación Físicoquímica del Agua	18 ocurrencias	24%	Relacionada principalmente con vertimientos sin tratamiento, uso de mercurio y cianuro.
Deterioro de Recursos Hidrobiológicos	16 ocurrencias	21%	Asociado a turbidez, presencia de metales pesados y alteración de parámetros físicoquímicos.
Erosión Superficial y Movimientos en Masa	14 ocurrencias	19%	Generada por aperturas de socavones, remoción de cobertura y desestabilización de taludes.
Pérdida de Cobertura Vegetal y Alteración de Hábitats	13 ocurrencias	18%	Resultado directo de deforestación y uso de áreas para estériles y accesos.
Generación de Ruido y Alteración del Entorno	9 ocurrencias	12%	Asociada a trituración, perforación, tránsito y actividad continua en plantas de beneficio.

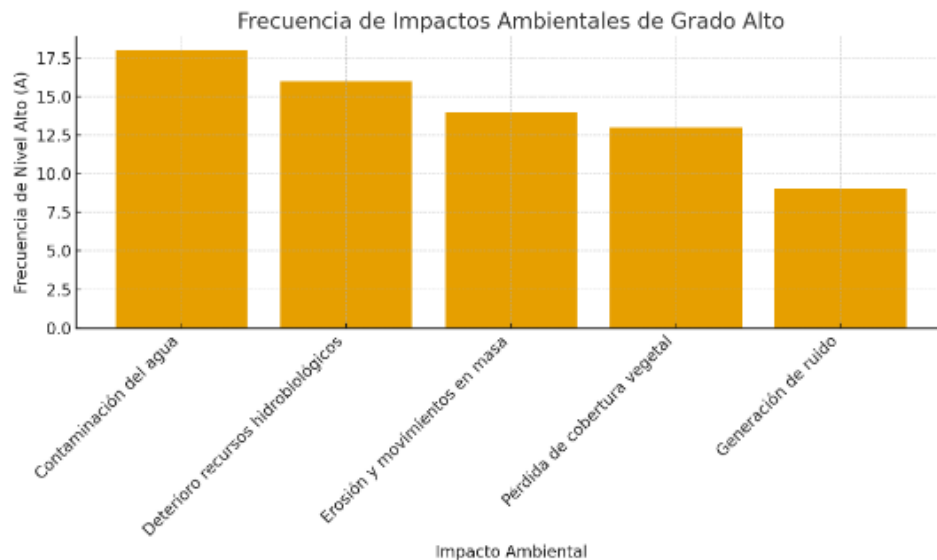
Fuente: Elaboración propia con base en "Diagnóstico Minero Ambiental del Distrito Minero La Llanada 2006, 2007".

Total de impactos con nivel Alto analizados: 75 (100%). Los porcentajes indican la participación relativa de cada impacto respecto al total de impactos altos. La contaminación del agua es el impacto más crítico (24%), afectando directamente la calidad del agua para consumo humano, riego y fauna acuática. Esto se vincula principalmente al uso de mercurio y cianuro, y a la descarga de relaves sin tratamiento. El deterioro de los recursos hidrobiológicos (21%) evidencia que las microcuencas han sufrido una reducción significativa en biodiversidad acuática, afectando la cadena trófica y los servicios ecosistémicos. La erosión y movimientos en masa (19%) están directamente ligados a la remoción de cobertura y excavaciones sin estabilización, lo que aumenta el riesgo de deslizamientos y pérdida de suelos productivos. La pérdida de cobertura vegetal y hábitats

(18%) impacta gravemente la fauna local, la conectividad ecosistémica y los procesos de regulación hídrica, aumentando la vulnerabilidad del territorio a sequías y escorrentías. La generación de ruido y deterioro del entorno (12%), aunque menor en comparación, influye en la calidad de vida, el paisaje y la percepción comunitaria del territorio, especialmente en zonas cercanas a plantas de beneficio ubicadas dentro del casco urbano.

El análisis demuestra que los impactos más significativos se concentran en los componentes agua y suelo, lo que confirma que las microcuencas El Murciélagos y El Arenal se encuentran en un estado de presión ambiental crítica debido a prácticas mineras de pequeña escala que, aunque históricamente arraigadas, se desarrollan con técnicas de baja eficiencia y sin control adecuado. La degradación observada amenaza la sostenibilidad hídrica, la estabilidad geomorfológica y la resiliencia ecológica del territorio.

Figura 3 Frecuencia de impactos ambientales de grado alto



Fuente: Elaboración propia

El análisis cuantitativo de las matrices de impacto ambiental permitió identificar los impactos con mayor recurrencia y severidad asociados a las actividades mineras en ambos municipios evaluados. Los resultados muestran que la contaminación del agua es el impacto más significativo, con la mayor frecuencia de registros de nivel alto, lo que refleja

una presión directa sobre las fuentes superficiales y subterráneas debido a vertimientos, arrastre de sedimentos y procesos de beneficio mineral. En segundo lugar, el deterioro de los recursos hidrobiológicos evidencia cómo la alteración de la calidad del agua y la dinámica de los cauces afecta directamente la biodiversidad acuática. La erosión y los movimientos en masa, junto con la pérdida de cobertura vegetal, destacan los efectos de la remoción de suelos y la transformación del paisaje, aumentando la vulnerabilidad a deslizamientos y procesos de degradación. Finalmente, la generación de ruido aparece recurrentemente, afectando tanto a las comunidades como a la fauna local. En conjunto, estos resultados indican que el componente agua y suelo es el más vulnerable frente a la actividad minera, por lo que las estrategias de manejo deben orientarse prioritariamente hacia la protección y recuperación de las dinámicas hidrológicas y la estabilidad de los ecosistemas

Esta correspondencia entre diagnóstico histórico, matriz de impacto y verificación en campo refuerza la validez y vigencia de las problemáticas identificadas, mostrando que las condiciones ambientales descritas más de una década atrás persisten debido a la continuidad de las prácticas productivas y la limitada capacidad de gestión territorial, la matriz completa se presenta en el Anexo 1.

### RESULTADOS FASE III. ANÁLISIS CAUSAL Y SÍNTESIS PARA LA GOBERNANZA

Con el propósito de comprender las razones que originan y mantienen las problemáticas ambientales identificadas en las microcuencas El Murciélagos y El Arenal, se desarrolló una matriz de causalidad que relaciona las problemáticas ambientales priorizadas (Fase II) con sus causas directas y los factores estructurales que permiten su persistencia en el territorio. Esta herramienta permitió pasar de un diagnóstico descriptivo a un análisis explicativo, orientado hacia la formulación de estrategias de gestión y gobernanza ambiental.

El proceso se llevó a cabo en tres pasos: identificación de problemáticas ambientales clave: se tomaron como referencia las problemáticas priorizadas en la fase anterior, entre ellas:

- Contaminación de agua en quebradas asociadas a la actividad minera
- Disposición inadecuada de residuos y relaves
- Pérdida de cobertura vegetal y alteración del paisaje

- Afectaciones por ruido y emisión de material particulado

Determinación de causas directas: se analizaron las prácticas y procesos mineros que generan dichas afectaciones, tales como:

- Uso de mercurio y cianuro en el beneficio del oro
- Descarga de vertimientos sin tratamiento
- Remoción de suelos y cobertura vegetal en zonas de explotación
- Disposición de relaves en laderas o cerca de cauces de agua

Identificación de factores subyacentes o estructurales: se reconocieron los elementos sociales, institucionales y tecnológicos que agravan o sostienen las problemáticas:

- Limitada capacidad institucional para el control y seguimiento de la actividad minera
- Débil aplicación de la normativa minera y ambiental
- Falta de alternativas tecnológicas disponibles y económicas para reemplazar el mercurio
- Escasa articulación entre entidades territoriales, mineros y comunidad
- Insuficiente formación ambiental y técnica en prácticas de minería responsable

Esta matriz permitió visualizar de manera integral las relaciones de causa y efecto, evidenciando que las problemáticas ambientales no se deben únicamente a prácticas operativas, sino también a factores estructurales como la informalidad, la falta de apoyo técnico y la debilidad institucional. Asimismo, el ejercicio facilitó la priorización de causas críticas sobre las cuales deben orientarse los esfuerzos de gobernanza ambiental, gestión interinstitucional y propuestas de mejora técnica sostenible en la región.

Tabla 10. Matriz de causalidad.

<b>Problemática Ambiental</b>	<b>Causas Directas (Prácticas Mineras)</b>	<b>Factores Subyacentes / Estructurales</b>	<b>Descripción / Relación Causal</b>
Contaminación del agua en quebradas y microcuencas	Uso de mercurio y cianuro en el beneficio del oro- Descarga de aguas residuales del	Falta de plantas de tratamiento de aguas residuales mineras- Limitada fiscalización	La práctica de amalgamación y cianuración sin sistemas de control genera

<b>Problemática Ambiental</b>	<b>Causas Directas (Prácticas Mineras)</b>	<b>Factores Subyacentes / Estructurales</b>	<b>Descripción / Relación Causal</b>
	proceso sin tratamiento- Arrastre de sedimentos provenientes de frentes de explotación	ambiental- Insuficiente asistencia técnica para implementación de tecnologías limpias	vertimientos que afectan la calidad del agua, aumentando la toxicidad y reduciendo la biodiversidad acuática.
Disposición inadecuada de relaves y residuos mineros	Acopio de relaves a cielo abierto- Descarga en laderas próximas a cauces- Ausencia de confinamiento o impermeabilización	Carencia de infraestructura para disposición segura- Costos elevados para manejo adecuado- Falta de lineamientos claros para pequeños mineros	La acumulación de estériles sin manejo técnico favorece la erosión, el escurrimiento contaminando y la alteración física de los cauces, incrementando riesgos de contaminación y afectación del suelo.
Pérdida de cobertura vegetal y alteración del paisaje	Remoción de vegetación para habilitar zonas de explotación- Apertura de vías de acceso improvisadas- Ampliación de áreas intervenidas sin planificación	Ausencia de ordenamiento territorial actualizado- Actividad minera no formalizada en su totalidad- Limitada cultura de restauración ecológica	La intervención del territorio sin planificación genera pérdida de hábitats, disminución de la cobertura boscosa y fragmentación de ecosistemas estratégicos en las microcuencas.
Afectaciones a la biodiversidad acuática y terrestre	Aumento de turbidez y sedimentos en el agua- Liberación de metales pesados como Hg, As y Pb- Alteración de microhábitats por pisoteo y movimientos de tierra	Escasa articulación entre entidades ambientales y mineros- Falta de monitoreo continuo de calidad ecológica- Desconocimiento del impacto sobre especies locales	La disminución de calidad del agua y la modificación de hábitats afecta la presencia y diversidad de macroinvertebrados, peces y fauna asociada.

<b>Problemática Ambiental</b>	<b>Causas Directas (Prácticas Mineras)</b>	<b>Factores Subyacentes / Estructurales</b>	<b>Descripción / Relación Causal</b>
Impactos sociales y laborales asociados a condiciones de informalidad minera	Actividades realizadas sin certificación ni asistencia técnica- Procesos artesanales heredados por tradición sin actualización tecnológica	Débil formalización minera- Falta de inclusión de los mineros en procesos de capacitación y gobernanza- Dependencia económica directa de la minería	La informalidad reduce la capacidad de implementar buenas prácticas, incrementa riesgos ambientales y limita la acción institucional para el control y mejora de los procesos mineros.

Fuente: Elaboración propia con base en “Diagnóstico Minero Ambiental del Distrito Minero La Llanada 2006, 2007”.

La matriz evidencia que las problemáticas ambientales identificadas no se originan únicamente en las prácticas mineras directas, sino que están profundamente relacionadas con factores estructurales como la debilidad institucional, la falta de acceso a tecnologías limpias y la informalidad en la actividad minera. Por lo tanto, cualquier estrategia de mitigación o manejo debe contemplar:

- Enfoque territorial y participativo
- Fortalecimiento de capacidades locales
- Articulación interinstitucional
- Apoyo tecnológico y financiero a minero

## ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

El análisis y discusión de los resultados se estructuró conforme a los objetivos establecidos, integrando la caracterización histórico-espacial de la pequeña minería con la evaluación ambiental de las microcuencas El Murciélagos y El Arenal, y la identificación de los factores causales subyacentes. Este proceso permitió trascender la mera descripción de los daños, para enfocar el análisis en las dinámicas socio-territoriales y normativas que perpetuaron

las problemáticas. Los hallazgos confirmaron que, si bien la minería de oro en La Llanada fue vital para el sustento económico de tres generaciones de pobladores (Narváez, 2016), su desarrollo, caracterizado por bajos niveles tecnológicos y la operación de la Cooperativa Coodmilla, generó una afectación ambiental sistemática y mensurable, documentada a través de la síntesis de informes técnicos.

La Fase I de Caracterización estableció que la pequeña minería se concentró predominantemente en la minería de filón (socavones), lo cual orientó el análisis de las problemáticas hacia los procesos de molienda y beneficio, en lugar de la remoción masiva de terrenos propia de la minería de aluvión a gran escala. La cartografía temática generada a partir del Catastro Minero Colombiano y el registro de la CAR evidenció una superposición de títulos mineros y áreas de explotación informal, lo que constituía una barrera inicial para la fiscalización y la aplicación uniforme de la normativa. La ubicación de los socavones y las plantas de beneficio cerca de la cabecera municipal, confirmada mediante la georreferenciación de informes (Herrera, 2018), delimitó el foco de las problemáticas en la infraestructura asociada al procesamiento del mineral, más que en la extracción per se.

En cuanto a la Fase II: Evaluación Ambiental y Determinación de Problemáticas, el análisis cuantitativo de los datos históricos de calidad de agua reportados por Corponariño arrojó resultados preocupantes. La aplicación de la Metodología de Ponderación de Grados de Afectación (escala 1-10, basada en incumplimiento de la norma) evidenció que el componente agua exhibió el mayor grado de afectación, principalmente debido a la presencia de metales pesados y altos niveles de sólidos suspendidos totales (SST). Esto confirmó que las problemáticas ambientales más relevantes se concentraron en la contaminación hídrica derivada de la descarga de residuos y la lixiviación de escorias en las microcuencas, como resultado de técnicas de beneficio inadecuadas y la falta de plantas de tratamiento eficientes.

La problemática del suelo también se determinó como relevante, manifestándose en la remoción de la capa vegetal y el abandono de material estéril sin gestión de drenaje, lo que incrementó la erosión y el riesgo de salinización, tal como se identificó mediante la superposición de capas de uso del suelo en ArcGIS 10.8. Respecto al componente aire, el análisis cualitativo de contenido temático confirmó la existencia de problemáticas de ruido

y olores en la cabecera municipal, asociados directamente a la ubicación de la planta de procesamiento y la acumulación de residuos, tal como lo describió Herrera (2018). La cartografía de afectación/contaminación resultante de esta fase se constituyó en una herramienta clave para visualizar la extensión espacial del daño, localizando los puntos calientes de vertederos en relación directa con las fuentes hídricas.

El análisis se profundizó en la Fase III: Análisis Causal y Síntesis para la Gobernanza, donde la Matriz de Causalidad reveló que la persistencia de las problemáticas no fue únicamente técnica, sino fundamentalmente institucional y normativa. La causa directa (ej. uso de mercurio o descarga de efluentes) fue exacerbada por factores subyacentes como la ausencia de un área específica para plantas de beneficio en el EOT y la debilidad en la articulación institucional para la legalización y supervisión de las Unidades Productoras de Minería (UPM). Estos vacíos normativos se identificaron como elementos clave que facilitaron la continuidad de prácticas extractivas deficientes.

Los resultados del Juicio de Expertos (Técnica Delphi Modificada), obtenidos del análisis estadístico de conceptos de académicos y especialistas, aportaron un alto grado de consenso al confirmar que el factor más crítico para la contaminación hídrica fue la falta de infraestructura de tratamiento de efluentes, seguido por la ineficiencia de los controles en la disposición de material estéril. Esta validación por pares reforzó la conclusión sobre la multicausalidad de los fenómenos, donde la falta de inversión en tecnología de mitigación y la ausencia de planificación territorial para la actividad minera crearon el escenario para el deterioro ambiental de las microcuencas.

En el marco de la discusión, se contrastó el valor económico de la actividad con los costos de recuperación ambiental. Se argumentó que el modelo de pequeña minería de La Llanada, si bien es una columna vertebral para el empleo local, operó bajo un esquema de externalización de costos ambientales que comprometió la sostenibilidad del recurso hídrico, recurso esencial para la comunidad en general, y que generó conflictos socioambientales por la escasez, tal como se documentó.

Finalmente, el análisis geográfico y temático realizado mediante ArcGIS Pro permitió integrar la dimensión espacial y temporal de las problemáticas, llevando a la conclusión de

que la solución requería una intervención en la gobernanza hídrica y minera. Los resultados finales, sintetizados en tablas de ponderación y la cartografía elaborada, sirvieron para la elaboración de propuestas orientadas a la planificación territorial y a la promoción de una conciencia ambiental que buscaba la responsabilidad compartida entre mineros, autoridades y la comunidad, garantizando un desarrollo sostenible en el territorio.

## IMPACTO SOCIAL Y HUMANÍSTICO DEL PROYECTO

El análisis de las problemáticas ambientales asociadas a la pequeña minería de oro en las microcuencas El Murciélagu y El Arenal generó un impacto real y multifacético en el entorno de La Llanada, trascendiendo el mero diagnóstico técnico para incidir directamente en el ámbito social y humanístico. Al identificar las problemáticas críticas, principalmente la contaminación hídrica y las fallas en el manejo de residuos y vincularlas a factores como la falta de educación ambiental y los vacíos normativos en el EOT (Herrera, 2018), el proyecto proporcionó a la comunidad y a las autoridades una herramienta de conocimiento fundamentada. Este conocimiento se convirtió en la base para que la comunidad, que previamente experimentaba conflictos socioambientales por la escasez de agua, pudiera comprender la multicausalidad de su situación, moviendo la discusión desde el simple enfrentamiento entre usuarios hacia la necesidad de una gestión responsable y sostenible del territorio.

El principal impacto social del estudio radicó en la visibilización cartográfica y analítica de las afectaciones. La generación de mapas de vertederos y de contaminación, obtenidos mediante el procesamiento de información secundaria en ArcGIS, transformó las problemáticas percibidas (ruido, olores, agua sucia) en datos georreferenciados y cuantificables. Esta cartografía sirvió para empoderar a la comunidad al proporcionarles un lenguaje técnico y una evidencia espacial sólida para sus demandas, lo cual fue crucial dado que el proyecto buscó impulsar una conciencia ambiental y el compromiso con el uso racional y responsable de los recursos. Al identificar la ubicación de las plantas de beneficio y las áreas de mayor riesgo hídrico, el estudio facilitó el desarrollo de un diálogo constructivo entre los mineros de Coodmilla y la población general, necesario para superar los conflictos

de interés generados por la dependencia económica de la minería frente a la necesidad del recurso hídrico.

Desde una perspectiva humanística, el proyecto se justificó en la necesidad de abordar las problemáticas ambientales como fenómenos socioespaciales complejos, donde la ciencia geográfica jugó un papel indispensable. Al determinar que las causas profundas radicaban en la debilidad institucional para legalizar las UPM y la ausencia de planificación territorial adecuada, el estudio señaló directamente la responsabilidad de la gobernanza en la calidad de vida de los habitantes. La socialización de los resultados, que se concibió como una acción final del proyecto, tuvo el objetivo de devolver el conocimiento a la comunidad y a los mineros, reconociéndolos como protagonistas y afectados. Este enfoque buscó impulsar una respuesta colectiva basada en el respeto por los principios de desarrollo sostenible, promoviendo la transición hacia prácticas que aseguraran el bienestar futuro de la población y mitigaran el riesgo de que la riqueza económica se obtuviera a costa de la salud ambiental y la calidad de vida.

En suma, la trascendencia del proyecto no se midió únicamente por la precisión del análisis ambiental, sino por su capacidad de catalizar el cambio social a través de la información. La identificación clara y georreferenciada de las problemáticas ambientales, aunada a la propuesta de estrategias de planificación territorial y ordenamiento del sector minero, sentó las bases para que el municipio de La Llanada pudiera gestionar su recurso minero sin comprometer su patrimonio natural y ecológico. Los hallazgos se constituyeron como una herramienta de incidencia política y educativa, ofreciendo argumentos sólidos para que las autoridades pudieran generar estrategias de mitigación y que la comunidad pudiera ejercer una vigilancia activa, asegurando que la actividad minera contribuyera genuinamente a un desarrollo adecuado y sostenible.

## CONCLUSIONES

La minería en La Llanada constituye una actividad profundamente arraigada en la historia, economía y cultura local, con más de ochenta años de continuidad que han configurado la identidad territorial y la estructura socioeconómica del municipio. La minería ha permitido el

sustento de generaciones y la consolidación de procesos organizativos como Coodmilla, evidenciando que se trata de una práctica comunitaria y no meramente extractiva. Sin embargo, esta continuidad también ha generado un conjunto de impactos ambientales acumulativos en suelo, agua y cobertura vegetal, los cuales, al no haber contado con gestión y monitoreo sostenidos, se han intensificado con el tiempo. Por tanto, cualquier intervención debe considerar la dimensión histórica, social y económica del territorio, para evitar enfoques impositivos y promover soluciones concertadas.

Los resultados obtenidos muestran que las principales problemáticas ambientales se concentran en las microcuencas El Murciélago y El Arenal, donde se evidencia deterioro de la calidad del agua, presencia de sedimentos, alteración en los cauces y pérdida de áreas de bosque protector. La presencia de metales pesados y residuos de procesos de beneficio se relaciona directamente con la disposición inadecuada de relaves y estériles, así como con el uso histórico de sustancias contaminantes como el mercurio. Esta situación limita el acceso al agua para el consumo humano y productivo, además de incrementar la vulnerabilidad ecosistémica del territorio.

La escasez y la competencia por el agua durante temporadas secas representan un eje crítico de conflicto socioambiental en La Llanada. Según Herrera (2018), estos conflictos no solo se originan en la demanda creciente del recurso, sino también en la ausencia de instrumentos claros de distribución, control y restitución al sistema hídrico. La disputa por el agua entre mineros, agricultores, cultivadores de coca y la población urbana refleja una debilidad estructural en la gobernanza de las cuencas. Esta problemática podría agravarse en escenarios de cambio climático si no se implementan medidas de manejo integral del recurso hídrico.

El análisis causal evidencia que los impactos ambientales no responden únicamente a prácticas técnicas de extracción, sino también a factores estructurales como la débil presencia institucional, la falta de acompañamiento técnico sostenido, la limitada educación ambiental y las barreras históricas para la implementación de tecnologías más limpias. Es decir, la problemática no se circunscribe únicamente a la extracción del mineral, sino a la ausencia de mecanismos de gestión territorial y de corresponsabilidad entre actores públicos, comunitarios y productivos.

El análisis general del área de estudio y la generación de las distintas matrices permitió identificar las problemáticas ambientales más significativas, bajo la validación y los datos técnicos aportados por el ingeniero Juan Carlos Patiño. Este cruce de información entre conocimiento local, técnico y documental, incluyendo el Diagnóstico Minero Ambiental de La Llanada (2006–2007) confirma que los sectores identificados históricamente como críticos continúan presentando condiciones de vulnerabilidad. Esto subraya la urgencia de intervenir de manera integral las áreas priorizadas para evitar que los procesos de deterioro sean irreversibles.

En conclusión, la continuidad de la minería como actividad económica vital para La Llanada depende de la transición hacia modelos de manejo ambiental más sostenible, con énfasis en la protección de las cuencas, la restauración de áreas afectadas y el fortalecimiento de la gestión territorial. La gobernanza del agua debe convertirse en el eje articulador de decisiones políticas y comunitarias, promoviendo acuerdos y responsabilidades compartidas que garanticen la preservación de los ecosistemas y la sostenibilidad de la actividad minera a futuro.

## RECOMENDACIONES

Fortalecer la gestión integrada del recurso hídrico en las microcuencas El Murciélagos y El Arenal a través de la implementación de un proceso de gestión integrada del recurso hídrico (GIRH), que permita articular a las comunidades mineras, autoridades ambientales locales y gobiernos municipales en torno al manejo del agua como eje estratégico. Esto implica actualizar o formular planes de ordenamiento del recurso hídrico a nivel de microcuenca, con componentes de monitoreo participativo de calidad del agua, especialmente en los puntos críticos vinculados a procesos de beneficio del oro. De igual manera, es fundamental establecer acuerdos comunitarios para la protección de nacederos y rondas hídricas, integrando prácticas de restauración ecológica y recuperación de cobertura vegetal. Este enfoque permite que la minería se desarrolle bajo criterios de sostenibilidad y respeto por los servicios ecosistémicos que sostienen la vida local.

Reducir progresivamente el uso de mercurio mediante asistencia técnica y sustitución tecnológica gradual, implementando un plan de sustitución tecnológica gradual y acompañada, que no se limite solo a prohibiciones, sino que incluya asistencia técnica continua para los pequeños mineros. Este proceso debe partir del diagnóstico de capacidades locales, disponibilidad de equipos y condiciones económicas de los mineros, garantizando que la transición sea viable. La adopción de tecnologías limpias como mesas gravimétricas, centrífugas o sistemas de flotación debe ser acompañada de formación práctica y acceso a créditos blandos o incentivos de reconversión. Esto permitiría disminuir la contaminación del agua y del suelo, reduciendo riesgos para la salud humana y los ecosistemas de la microcuenca.

Fortalecer la gobernanza territorial mediante espacios locales de concertación y seguimiento ambiental buscando reactivar o consolidar espacios locales de concertación, como comités de cuenca o mesas minero-ambientales, donde participen mineros, autoridades locales, líderes comunitarios y entidades ambientales. Estos espacios deben trabajar sobre agendas concretas, como control de vertimientos, protección de áreas sensibles y acuerdos de buenas prácticas mineras. Su función principal será generar seguimiento participativo a los compromisos adquiridos por todos los actores y garantizar transparencia en la toma de decisiones. La gobernanza de cuencas requiere diálogo permanente y construcción de confianza entre actores, especialmente en territorios donde la minería tiene arraigo histórico y valor cultural.

Implementar procesos continuos de educación y formación ambiental dirigidos a operadores mineros y comunidad local promoviendo espacios formales e informales de capacitación ambiental, orientados a comprender la dinámica de las cuencas, los impactos de la minería y las alternativas de manejo sostenible. Estas capacitaciones pueden realizarse mediante alianzas con instituciones académicas, SENA, organizaciones ambientales y entidades municipales. Además, se sugiere impulsar la participación de mineros y comunidades en foros, encuentros y eventos regionales donde se compartan experiencias exitosas de minería responsable y restauración ecológica. La educación ambiental basada en la práctica y el intercambio de saberes es un componente clave para cambios sostenibles en el territorio.

## BIBLIOGRAFÍA

Agencia Nacional de Minería. *lineamientos para la formalización minera en Colombia*. Bogotá: ANM, 2020.

Aguilar, S. (2005). *Fórmulas para el cálculo en la muestra en investigaciones de salud*.

Alcaldía de La Llanada (2012). *Plan de Desarrollo del municipio de La Llanada unidos por la mejor propuesta*.

Alcaldía de La Llanada. (2016). *Plan de Desarrollo del municipio de La Llanada “un gobierno de calidad, con sentido social”*.

Alianza Mundial de Derecho Ambiental (ELAW). (2010). *Guía Para Evaluar EIAs de Proyectos Mineros*.

Arcila, M. y Hoyos, E. (2016). *Consideraciones ambientales por el uso de mercurio en minería aurífera en el municipio de el Bagre, Antioquia: estrategias de producción limpia*.

Bareto, L. (2014). *Minería, Minerales y Desarrollo Sustentable en Brasil*.

Bustillo, M., & López, C. (1996). *Recursos minerales, Tipología, Prospección, Evaluación, Explotación, Mineralurgia, Impacto Ambiental*. Madrid, España: MÓSTOLES.

Campos, I. (2013). *Saneamiento ambiental*.

Castro, L. (2011). *Minería de oro artesanal y a pequeña escala en Timbiquí-cauca: una aproximación histórica a sus efectos socioambientales desde la perspectiva de los actores locales*.

Centro Nacional de Planeación Más Limpia. (2016). *Manual de Producción y Consumo Sostenible Gestión del Recurso Hídrico MINERIA DE ORO*.

Código de Minas (15 de agosto de 2001). (*Ley 685 de 2001*).

Constitución Política de Colombia. (1991). *Artículo 80*.

Corporación Autónoma Regional de Nariño. (2006). *Diagnostico minero ambiental Distrito minero de la Llanada 2006-2007*.

Corantioquia. *Guía para la gestión ambiental en la pequeña minería aurífera*. Medellín: corporación autónoma regional de Antioquia, 2018.

Chaparro, E. (2000). *La llamada pequeña minería: un renovado enfoque empresarial*.

Departamento Nacional de Planeación (DNP). *Bases del Plan Nacional de Desarrollo*. (2014).

Derek, E. (1990). *La contaminación atmosférica*.

Díaz, J. (2013). *Diseño de una estrategia de intervención basada en el desarrollo de capital humano para la minería artesanal*.

Encarnación, F. (1985). *Introducción a la Flora y a la Vegetación de la Amazonía Peruana: estado actual de los estudios, medio natural y ensayo de una clave de determinación de las formaciones vegetales en la llanura amazónica*.

Energía, M. D. M. (2003). *Glosario técnico minero*. Bogotá.

Escobari, J., Caro, V. y Malky, A. (2004). *Problemática Ambiental en Bolivia*.

Fierro Morales, J. (2012). *Políticas mineras en Colombia*.

García, C. y Yamá, O. (2015). *Elaboración del diagnóstico ambiental para el área de influencia por la actividad de explotación aurífera en el municipio de Los Andes–Sotomayor*.

- González, O. (2011). *Impacto ambiental en áreas de minería metálica: aplicación de metodologías analíticas no destructivas al análisis geoquímico*.
- Guiza, L. (2013). *La pequeña minería en Colombia: una actividad no tan pequeña*. Dyna 181, volumen (1), 110-111.
- Herrera, F. (2018). *Informe final El Distrito Minero de La Llanada (Nariño) Principales conflictos socio ambientales, análisis ROLPA y recomendaciones*.
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM). *Estimación de las reservas forestales estratégicas de Colombia*. Bogotá: IDEAM, 2018.
- Instituto Geológico y Minero de España. (2006). *Los residuos minero-metalúrgicos en el medio ambiente*.
- Instituto Nacional de Estadística de Santiago de Chile. (2008). *Minería: La actividad exportadora más importante de Chile*.
- Instituto Nacional de Minería (SONAMI). (2012). *Chile país minero: El Mercurio*.
- James, R. y Menon, R. (1999). *Industrias basadas en recursos naturales*. Barcelona, España: Editorial Chantal Dufresne.
- Jerez, M. (2007). *Eficacia de las medidas legales existentes para evitar la contaminación visual en la ciudad de Guatemala*.
- Jojoa, O. (2007). *Estrategias ambientales para optimizar la explotación de materiales de arrastre en la cuenca del río san pedro, municipio de Colon-Departamento del Putumayo*.
- Juarez, F. (2015). *La minería ilegal en Colombia: un conflicto de narrativas*.
- Kopta, F. (1999). *Problemática ambiental con especial referencia a la Provincia de Córdoba*.

Lillo, J. (2015). *Impactos de la minería en el medio natural*.

Merriam, W. (2010). *Merriam-webster*. Recuperado de [www.merriam-webster.com](http://www.merriam-webster.com)

Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. (5 de agosto de 2010). *Decreto 2820 de 2010*.

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (15 de julio de 2013). *(Ley 1685 de 2013)*.

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. *política nacional para la gestión integral del recurso hídrico*. Bogotá: minambiente, 2014.

Ministerio de Educación Nacional (Minieducación). (2017). *Sector minero minerales oro y carbón Marco Nacional de Cualificaciones*.

Ministerio de Energía y Minas de la República Dominicana. (28 de septiembre de 2016). *(KIT DE MINERÍA El cierre de minas 4)*.

Ministerio del Medio Ambiente–Ministerio de Minas y Energía–MINERCOL. (2004). *Guía minero aurífero ambiental de minería subterránea*.

Ministerio de Minas y Energía. (1994). *Procesamiento de minerales auríferos, técnicas para la extracción aurífera y procesos de cianuración y amalgamación, cartilla No. 2*.

Ministerio de Minas y Energía. (2001). *Ley 685 del 2001 Código de Minas*.

Ministerio de Minas y Energía. (2003). *Glosario Técnico minero*.

Ministerio de Minas. (2009). *Así es la minería*. Bogotá, Colombia.

Ministerio de Minas y Energía. (3 de noviembre de 2011). *(Decreto 4134 de 2011)*.

- Ministerio de Minas y Energía. (17 de mayo de 2012). *(Ley 1530 de 2012)*.
- Ministerio de Minas y Energía (21 de septiembre de 2012). *(Decreto 1970 de 2012)*.
- Ministerio de Minas y Energía. (25 de marzo de 2014). *(Resolución 90325 de 2014)*.
- Ministerio de Minas y Energía. (21 de octubre de 2016). *(Decreto 1666 del 2016)*.
- Ministerio de Minas y Energía. *guía para la implementación de tecnologías limpias en minería aurífera de pequeña escala*. bogotá: minminas, 2018.
- Monroy, J. (2014). *Contaminación del aire a causa de las emisiones de fuentes móviles*.
- Monsalve, C. (2017). *Análisis de las consecuencias ambientales y económicas que genera la minería en Colombia*.
- Montes, M. (2017). Análisis Causa y Efecto [Mensaje en un blog].
- Movimiento Mundial por los bosques tropicales. (2004). *Minería impactos sociales y ambientales*.
- Muriel, R. (2005). *Orígenes de la problemática ambiental*.
- Narváez, C. (2016). *Plan estratégico en ciencia, tecnología e innovación de Nariño. Potencializar la inteligencia, alcanzar el bienestar*.
- Nava, F., Rodríguez, E., Uribe, A. y Pérez, R. (2007). *Análisis químico de cianuro en el proceso de cianuración: revisión de los principales métodos*. Metalurgia, 43 (1).
- Observatorio de conflictos mineros de América Latina (OCMAL). (2015). *Auge de minería en Latinoamérica*.
- O'Neill, J. y Telmer, K. (2017). *Métodos y herramientas: determinación del uso de mercurio en el sector de la minería de oro artesanal y en pequeña escala (MAPE)*.

- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). *Gestión integrada de cuencas hidrográficas: principios y prácticas*. roma: fao, 2017.
- Organización Mundial de la Salud (OMS). *Mercurio y salud*. ginebra: OMS, 2019.
- Palacios, N. (2013). Condiciones sociales, y ambientales de la minería en Zaragoza, base para una propuesta ecopedagógica.
- Pantoja, F. y Pantoja, S. (2016, 8 de marzo). *Problemáticas y desafíos de la minería de oro artesanal y en pequeña escala en Colombia*. Investigación y Reflexión.
- Pineda, J. (s.f). Impacto Ambiental de las Actividades Humanas sobre su Entorno. Encolombia.Unidad de Planeacion Minero Energetica. (2018). *Situacion aurifera y del mercado internacional del oro*.
- Plan Nacional de Ordenamiento Minero (PNOM). (2014). *(Resolución 0256)*.
- Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA). *convenio de Minamata sobre el mercurio*. Nairobi: PNUMA, 2017.
- Raffino, M. (2019). *“Problemáticas ambientales”*.
- Real Academia Española. (2001). *Diccionario de la Lengua Española*.
- Restrepo, L. J. (2018). *Historia de la Minería en el Sur de Colombia: El caso del oro en Nariño*.
- Revilla, C. (2018). *Contaminación del agua a causa de la minería*.
- Sagardoy, J. (1994). Irrigation management transfer; selected paper, FAO.
- Sánchez, I. y Álvarez, c. *Minería artesanal y gobernanza ambiental en territorios rurales*. revista *gestión y ambiente*, 24(2): 45-60, 2021.

Timaran, F. (2016). *Problemática social y ambiental de la minería del oro en pequeña escala en Latinoamérica Andina*.

Vásquez, t. y rodríguez, a. *Conflictos ambientales derivados de la minería aurífera en Colombia*. revista estudios sociales, (72): 90-105, 2020.

---

Anexo 1 Actividades e impactos

COMPONENTE AMBIENTAL	IMPACTOS	ACTIVIDADES DE LA MINERÍA DE ORO																			
		EXPLORACIÓN			CONSTRUCCIÓN Y MONTAJE			EXPLOTACIÓN						BENEFICIO							
		ESTUDIO GEOLÓGICO	APERTURA DE LABORES	DISPOSICIÓN DE ESTÉRILES	INFRAESTRUCTURA MINERA	CONSTRUCCIÓN BOCATOMAS/CANALIZACIONES DE AGUA	LINEAS DE TRANSMISIÓN/PLANTA	DISPOSICIÓN DE ESTÉRILES	APERTURA DE TUNELES	SOSTENIMIENTO	PERFORACIÓN Y VOLADURA	TRANSPORTE INTERNO	TRANSPORTE EXTERNO	DISPOSICIÓN DE ESTÉRILES	TRITURACIÓN MANUAL	TRITURACIÓN MECÁNICA	MOLIENDA	CONCENTRACION	AMALGAMACIÓN	CIANURACIÓN	DISPOSICIÓN DE ARENAS RESIDUALES
AIRE	Emisión de gases		B			B			M		A										
	Emisión de material particulado		M	B		M		B	M		A		B	B	B	A					
	Generación de ruido		B			M			B		A					A	A				
AGUA	Contaminación Físico-Química					B			B								B				
	Disminución recursos hídricos					B											B	B			
	Alteración de drenajes superficiales		B			M							A								A
	Alteración de aguas subterráneas		M			B			M												
	Áportes sedimentos a corrientes		B	B		M		B	M		M			B			A	A			A
	Ocupación del cauce																				
	Alteración del curso					M								M			A	A			B
SUELO Y SUBSUELO	Cambios Geomofológicos-Subsistencia		B	B		A							M								M
	Erosión superficial y movimiento en masa		B	B		A		B					B								B
	Movimiento mástico rocoso					M															
	Contaminación del suelo			B		M		B					M			A					A
	Cambio uso del suelo					B															
PAISAJE	Alteración compactación del suelo			B		M		B			B	A	B								B
	Deterioro del entorno		B	B	B	A		B													A
	Contrastes visuales			B	B	A		B								A					M
BIOTICO	Pérdida de cobertura vegetal			B	B	M							B								M
	Afectación de flora y fauna		B	B	B	M		B	M		A		B	A		B					B
	Desbroce de vegetación				B	M		B					B								
	Extracción de madera					M				M											
	Emigración de especies			B	B	M					A						A				
	Perturbación de hábitat específico			B		M									M		B				
Alteración rutas migratorias		M	B		M																

Fuente: Elaboración propia