

# Comparative technical analysis of the current state of small-scale mining titles in California, Santander, Colombia

Cristian Diaz-Muriel, Alejandro Palacio-Arcila, Paula Katherine Vásquez-Carmona, Néstor Ricardo Rojas-Reyes, David Oliveros-Sepúlveda & Giovanni Franco-Sepúlveda

Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín, Facultad de Minas, Medellín, Colombia. [crdiazmu@unal.edu.co](mailto:crdiazmu@unal.edu.co), [alpalacioar@gmail.com](mailto:alpalacioar@gmail.com), [pvasquez@unal.edu.co](mailto:pvasquez@unal.edu.co), [nrrojasr@unal.edu.co](mailto:nrrojasr@unal.edu.co), [doliveross@unal.edu.co](mailto:doliveross@unal.edu.co), [gfranco@unal.edu.co](mailto:gfranco@unal.edu.co)

Received: July 27<sup>th</sup>, 2023. Received in revised form: December 13<sup>th</sup>, 2023. Accepted: February 13<sup>th</sup>, 2024.

## Abstract

The mining activity developed in California, Santander municipality, has been mainly subsistence or small-scale, rooted in its ancestral heritage. According to the current regulations in the country, conducting mining activities requires obtaining a concession contract, a mining title, and the necessary licenses, such as the environmental license. The last one has caused setbacks in the mineral extraction process due to outgoing regulations, such as the delimitation of the Santurbán moorland and the prohibition of mercury use. This document aims to analyze the current state of certain mining operations in the area, provide recommendations, and establish a technical baseline for the addressed titles for future work.

*Keywords:* artisanal mining; mining title; moorland delimitation; metallurgical recovery; PTO.

# Análisis técnico comparativo del estado actual de títulos mineros de minería a pequeña escala en California, Santander, Colombia

## Resumen

La actividad minera que se realiza en el municipio de California, Santander, ha sido en mayor medida de subsistencia o a pequeña escala, partiendo de la ancestralidad de la misma. Con la normativa presente en el país, para llevar a cabo la actividad minera, es necesario contar con la obtención de un contrato de concesión, título minero y con ello, los debidos licenciamientos, como lo es la licencia ambiental. Esta última, ha generado contratiempos en el desarrollo de la extracción mineral debido a las normas salientes como la delimitación del páramo de Santurbán y la prohibición del uso del mercurio. El presente documento plantea analizar el estado en el que se encuentran algunas operaciones mineras de la zona, realizar recomendaciones y dejar una línea base técnica de los títulos abordados para futuros trabajos.

*Palabras clave:* pequeña minería; títulos mineros; delimitación de páramo; recuperación metalúrgica; PTO.

## 1. Introducción

El municipio de California se encuentra ubicado en la Cordillera Oriental de los Andes colombianos, en el departamento de Santander. Está situado a aproximadamente 51 km al este de la capital del departamento, Bucaramanga. Una de las principales actividades económicas en esta zona es la minería, una

práctica que se remonta a tiempos ancestrales. A lo largo de los años, la actividad minera se ha llevado a cabo a pequeña escala y con un enfoque principalmente de subsistencia [1].

Durante la década de los noventa, varias empresas ingresaron al país con el objetivo de explorar y explotar minerales, entre ellas Greystar Resources Ltda. Esta compañía tenía una ambiciosa idea de negocio que dividió la historia de la minería en el municipio en dos etapas. Su interés radicaba en

llevar a cabo minería a gran escala [1]. Sin embargo, debido a problemas de seguridad en el año 2000, Greystar se vio obligada a abandonar sus instalaciones. No obstante, retomaron el proyecto en 2003 y continuaron hasta 2011, momento en el cual cambiaron su razón social a Eco Oro Minerals Corp. [2]. Sin embargo, debido a la falta de licenciamiento ambiental causada por la delimitación del páramo de Santurbán en 2014, establecida en la Resolución 2090 [3], la empresa decidió renunciar al contrato de concesión en 2019 y retirarse del país [4].

Para el año 2015, la Sociedad Minera de Santander (Minesa) empieza a hacer presencia en la zona, en área diferente abordada por Eco Oro, con la idea de realizar minería a gran escala en la Provincia de Soto Norte, donde la explotación minera estaría ubicada en el municipio de California y su proceso de beneficio se centraría en la zona de Surata. Minesa se ha esforzado por generar confianza en la comunidad con el apoyo a la formalización de mineros artesanales, para así tener el aval social para su operación [5]. En cuanto al licenciamiento ambiental, han estado atrasados en inicio de operación debido a la delimitación del páramo de Santurbán, aunque ellos han demostrado que sus operaciones estarían por debajo de los límites, operando a 2.640 msnm, les han negado el licenciamiento y para el 2022 el proyecto se encontraba en la categoría de “Proyectos en Evaluación” de la Agencia Nacional de Licencias Ambientales (ANLA) [6].

En la zona minera de California, hacen presencia tres agrupaciones mineras con diferentes características asociativas conformadas por mineros artesanales y de pequeña minería, sin contar con la participación de Minesa, estas asociaciones se distribuyen en: ASOMICAL, son aquellos mineros ancestrales que cuentan con título minero ante la Agencia Nacional de Minería (ANM) pero sin permiso de explotación para el 2023 por falta de licenciamiento ambiental, estos son 12 títulos asociados [7]. También está ASOPROMISOTO, asociación ubicada en 28 títulos, estos mineros son ancestrales al igual que la asociación anterior pero no cuentan con el título ante la ANM, se encuentran realizando actividades mineras por contar con la propiedad del terreno o por herencia familiar, además de otros que están dentro del título que fue anteriormente de Eco Oro y del título de Minesa. Por último, están aquellos mineros que no son del sector, mineros de subsistencia y los denominados galafardos, término adquirido en la zona para las personas que adelantan labores de extracción en los antiguos túneles de Eco Oro y extraen mineral para el sustento de sus familias, estos mineros no cuentan con la propiedad del terreno ni con el título minero, esta asociación es ECOOMINORO [8].

Con este panorama, el objetivo principal de este proyecto es realizar un diagnóstico de los títulos mineros que no cuentan con licenciamiento ambiental; ASOMICAL, para así avanzar por etapas y determinar algunas mejoras que se puedan realizar en sus operaciones. Para esto, se planeó la visita a cada uno de los títulos conjunto con sus operaciones que ahora se encuentran detenidas y obtener una perspectiva

inicial de lo que se encuentra en la zona y cuál es la forma en la que laboran, todo esto con el fin de obtener algunas muestras representativas que se puedan procesar para obtener indicadores que lleven a un primer panorama del material que están obteniendo y el mineral que extraen. Para complementar el trabajo realizado en campo, se hará una comparación de las actividades realizadas por los mineros con respecto a trabajos teóricos realizados previamente en zonas con potenciales similares para así finalmente dar algunas recomendaciones iniciales de lo que se evidenció en esta primera etapa.

## 2. Antecedentes y contexto general

Para tener conocimiento de la zona de influencia en la cual está centrado el presente trabajo, se debe tener en cuenta algunos aspectos que están estrechamente relacionados con la actividad minera y el desarrollo de la misma. Se determinó ahondar en factores sociales, ambientales, técnicos y legales. Todo esto con el fin de ampliar el contexto de la industria minera en la provincia de Soto Norte, con énfasis en el municipio de California.

### 2.1 Aspectos sociales

El municipio de interés se encuentra en la provincia de Soto Norte, la cual está conformada por los municipios de Surata, California, Vetas, Matanza, Charta y Tona, siendo Vetas y California los focos mineros principales de la zona que generan una influencia directa en Surata, debido a su ubicación geográfica y su orogenia plana, es considerado un municipio estratégico en la región [5]. El municipio de California cuenta con una población de 1.832 personas de las cuales 1.111 se encuentran en edad apta para laborar, siendo 52,7% hombres y 47,3% mujeres. El municipio de Vetas tiene una fuerza laboral muy similar, pues cuenta con 1.076 personas laboralmente aptas, de las cuales el 51,2% y el 48,85% corresponden a hombres y mujeres respectivamente. Por su parte, el municipio de Surata tiene una fuerza laboral mayor, con una población de 3.520 personas dentro de las cuales 2.003 se encuentran en edad apta para trabajar, correspondiendo el 51,9% a hombres y el 48,1% a mujeres, como lo muestra la gráfica 1 [9]. Estos datos indican que hay más disponibilidad de mano de obra masculina que femenina, dando como resultado un índice de masculinidad del 114% aproximadamente [9], demostrando así que los trabajos predominantes en la zona están relacionados con el sector primario: agricultura, ganadería y minería, siendo esta última, la actividad que predomina en la región. En la Fig. 1, mostrada a continuación, se observa la población en edad productiva de esta provincia.

El municipio de California fue duramente golpeado por el conflicto armado durante los años ochenta y noventa, dando como resultado desplazamiento forzoso, enfrentamientos en el casco urbano, homicidio y secuestro, acentuándose a mediados de los años noventa, que fue cuando iniciaron las operaciones de la compañía Greystar [10], llevando a la suspensión de las operaciones de la misma en el 2000 que se reanudaron en el 2003 [2,8].

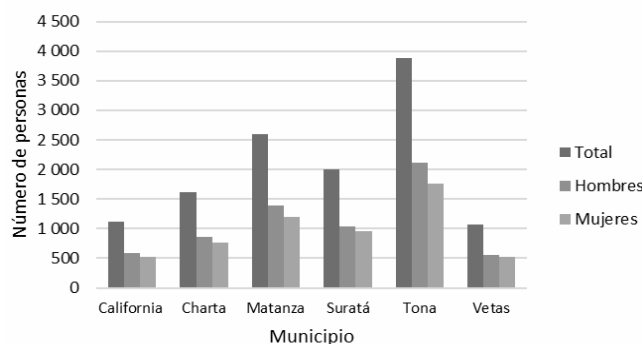


Figura 1. Población en edad productiva de la provincia de Soto Norte.  
Fuente: [9]

Al final del siglo XX muchos mineros ancestrales vendieron sus tierras y sus títulos, dado que el valor de estas era desconocido. A día de hoy, estas familias están regresando al territorio con el fin de retomar la actividad y dado que no cuentan con los recursos para cumplir con los estándares técnicos y ambientales, se ven obligados a operar de manera ilegal, lo cual deja en evidencia la falta de promoción de la formalización y legalización [11]. A nivel histórico, la minería ha sido la principal actividad económica de la región, localizada en las proximidades de la quebrada La Baja, desempeñándose por más de cinco siglos de forma generacional [5]. Para el año 2011, con la promulgación de la Ley 1450, se aprobó el Plan Nacional de Desarrollo que prohibía las actividades extractivas en zonas de páramo [12]. Ésta ley fue ratificada en el 2018 por la Ley 1930 y por esto no se permite la extracción de minerales en la zona [13]. Dadas estas circunstancias, las personas que viven de la actividad minera en la región, han tratado de formalizar sus títulos por medio del plan de formalización minera establecido en la Ley 2250 del 2022 [14], pero debido a la alta incertidumbre gubernamental y a la delimitación de páramos, no ha sido posible, lo que ha conllevado a un trabajo colectivo entre los mineros locales para poder desempeñar sus labores [8].

## 2.2 Aspectos ambientales

Teniendo en cuenta la historia socio-ambiental que ha tenido la zona, es de vital importancia tener en cuenta dos factores en este apartado: la ley del manejo del mercurio en la minería de oro del país y la delimitación del páramo de Santurbán. Estos aspectos son importantes ya que han marcado de manera importante el desarrollo de la actividad en la zona de estudio.

### 2.2.1 Ley del mercurio

Reconociendo los efectos causados al medio ambiente y a la salud por exposición al mercurio, en el año 2013, en Colombia se estipuló la Ley 1658 por medio de la cual se establecen las disposiciones adecuadas para la comercialización y el uso del mercurio en diversas

industrias, haciendo énfasis en la actividad minera. Para esta última, se establece un plazo no mayor a 5 años, es decir, para el año 2018 el uso del mercurio dentro de los procesos mineros debería de estar erradicado, prohibiendo así, desde el año de promulgación de la ley, la creación de nuevas plantas de beneficio donde se utilizase este elemento para la concentración de oro, definiendo desde entonces que los establecimientos con beneficio mineral deban solicitar licencia ambiental, adoptando un plan de manejo ambiental, donde expongan el no uso del mercurio dentro de sus actividades, haciendo énfasis en la amalgamación. En cuanto a las plantas de beneficio antiguas que utilizan este modo de obtención de oro, deberán reubicar el establecimiento si estas se encuentran dentro de lugares delimitados por el Plan de Ordenamiento Territorial de cada zona, esto no debe suceder en más de 3 años después de anunciada la ley [15].

### 2.2.2 Delimitación de páramo de Santurbán

Según el Atlas de Páramos de Colombia, el páramo de Santurbán tiene jurisdicción en los departamentos de Santander y Norte de Santander. Tiene un área total de 82.664 ha, de las cuales 1.131 ha (1,37%) pertenecen a California y 7.339 ha (8,88%) a Vetas [16]. Para el año 2012, por parte del Instituto Humboldt se presenta un ajuste cartográfico el cual incrementa el área del páramo a 142.608 ha, disminuyendo notablemente el porcentaje que corresponde a los municipios de Vetas y California [17].

La Resolución 769 de 2002 del Ministerio de Medio Ambiente, establece que, en la cordillera oriental se denomina zona de páramo a la extensión de tierra que se encuentre sobre los 3.000 msnm. Dado que la zona de estudio se encuentra en el municipio de California, donde las altitudes oscilan entre 2.005 y los 4.000 msnm, la resolución ha generado consecuencias para la actividad minera local [18].

Para el 2011, con la Ley 1450 se aprueba el Plan Nacional de Desarrollo 2010-2014. En el artículo 22, capítulo 5, se prohíbe el desarrollo de actividades agropecuarias, exploración o explotación de hidrocarburos y minerales [12], posterior a esto, en el 2014 mediante la Resolución 2090 del Ministerio del Medio Ambiente y Desarrollo, se delimita la jurisdicción del Páramo de Santurbán, abarcando extensión territorial de más de 40 municipios entre Santander y Norte de Santander [3], donde Vetas y California son dos de los municipios involucrados en el caso de estudio que, para el 2022, entre estos dos municipios solo Vetas habría firmado este acuerdo de delimitación [19].

## 2.3 Aspectos geológicos

La provincia de Soto Norte se encuentra ubicada en la cordillera oriental. Esta cordillera alberga el macizo de Santander el cual está constituido principalmente por gneises y granitos peraluminosos, cuya edad varía desde el triásico superior hasta el jurásico temprano y se encuentra limitado por la Falla de Bucaramanga al oeste y por la Falla de Socota al este [20].

La geología presente se asocia a procesos de magmatismo y metamorfismo de contacto ubicadas en el centro de ambas fallas

[21]. La mineralización se encuentra asociada a sistemas de vetas de alta sulfuración, propias de procesos porfiríticos, específicamente de molibdeno [22]. En la zona se evidencian tres yacimientos: La Bodega, La Mascota y Angosturas, siendo La Bodega y Angosturas las más ricas en recursos auríferos y la orientación de estas estructuras, son controladas por la falla La Baja, cuyo rumbo va en dirección NE. Las zonas de baja mineralización de oro se encuentran asociadas a la alteración sericitica (<1%), las cuales tienen contenido de bornita, covelina, calcopirita, hubnerita, enargita y pirita, todos estos se encuentran asociados a oro nativo y a telururos de oro y plata. Como consecuencia de la alteración supergénica, se pueden encontrar especies mineralógicas como hematita, goethita y algunas mezclas no determinadas de jarosita asociada a pirita y calcantita producto de la meteorización de sulfuros de cobre, como calcopirita [22].

La importancia de zonas de falla en el proceso de meteorización radica en su capacidad para facilitar el flujo de aguas superficiales hacia capas más profundas, lo cual contribuye a la oxidación de rocas y vetas. Es común observar una completa oxidación de los sulfuros presentes en las vetas y de los minerales de hierro en la roca hasta una profundidad de aproximadamente 10 metros por debajo de la superficie [22].

## 2.4 Aspectos técnicos y legales

La producción de oro en Colombia, específicamente en la provincia de Soto Norte, se ha llevado a cabo principalmente a través de la minería artesanal y en pequeña escala [23], la cual se caracteriza por la poca tecnificación de sus operaciones; haciendo uso de máquinas simples y herramientas portátiles y rudimentarias, intensificando el uso de mano de obra no calificada y generando bajos márgenes de producción por yacimiento [24,25].

Estas características son producto de limitaciones económicas y sociales que se ven reflejadas en el escaso acceso a tecnologías que permitan un adecuado proceso de extracción y beneficio del oro y en la formación básica, técnica y tecnológica de los mineros, las cuales, en muchos de los casos, es transmitida por generaciones, lo que lleva a bajos rendimientos en los procesos extractivos, que conducen, en algunos casos, a una recuperación de menos del 60%, y en la mayoría de unidades productivas, a costos de operación y producción elevados asociado a baja rentabilidad, generando de esta manera, una dinámica económica que tiende a estancar y a pauperizar las condiciones de las pequeñas operaciones, generando riesgos relacionados a la salud y seguridad de los mineros, así como al agua, aire y medio ambiente [26].

La contaminación por uso de mercurio en el proceso de beneficio del oro, es una de las afectaciones más importantes asociadas a la degradación de las condiciones de estas operaciones, aun cuando su uso es ilegal. De acuerdo a la Corporación Geoambiental Terrae, en el año 2018 se realizó un estudio de la calidad del agua superficial

relacionada a la actividad minera en la cuenca alta de la quebrada Páez y cuenca baja y media de la quebrada La Baja en el municipio de California, en el cual se encontró presencia de Hg (II) en todos los puntos de muestreo, aguas abajo. En aquellos puntos situados después de vertimientos procedentes de pequeñas unidades mineras, los valores se incrementaron más de 18 veces, el valor más alto que se encontró fue de 788,9 µg Hg/kg [27]. El aumento en la concentración de esta especie de mercurio a lo largo de la quebrada puede indicar una relación con la actividad minera, especialmente cuando se detectaron valores de más de 480 µg Hg (II)/kg. Además de esto, estas pequeñas operaciones mineras enfrentan una serie de situaciones que dificultan y amenazan la actividad, como la desconfianza y zozobra frente al estado colombiano, la falta de seguridad jurídica de cara al sector minero y la falta de articulación entre los distintos sectores. Estas situaciones, generan además, problemas relacionados a la falta de acceso a créditos y beneficios tributarios favorables y a la ausencia de acceso a suministros químicos y explosivos debido a restricciones impuestas desde el gobierno y el ejército colombiano [26].

Desde gobiernos anteriores, se han adelantado esfuerzos encaminados a mejorar este tipo de condiciones técnicas y económicas que rodean esta actividad. En agosto de 2001 se promulga el actual Código de Minas a través de la Ley 685. En esta ley, en el artículo 84 se introduce el Plan de Trabajos y Obras (PTO), el cual es el instrumento legal que viabiliza un proyecto minero. Este documento suministra la base técnica, logística, económica y comercial para tomar la decisión de invertir y desarrollar un proyecto minero [28] y debe ser anexado como exigencia contemplada dentro de las obligaciones técnicas.

Este documento debe contener la siguiente información, siguiendo como referencia las guías minero ambientales expedidas por la ANM, en concordancia con el actual código minero [29]:

1. Delimitación definitiva del área de explotación.
2. Mapa topográfico de dicha área.
3. Detallada información cartográfica del área y, si se tratase de minería marina, especificaciones batimétricas.
4. Ubicación, cálculo y características de las reservas que habrán de ser explotadas en desarrollo del proyecto.
5. Descripción y localización de las instalaciones y obras de minería, depósito de minerales, beneficio y transporte y, si es el caso, de transformación.
6. Plan Minero de Explotación, que incluirá la indicación de las guías técnicas que serán utilizadas.
7. Plan de obras de recuperación geomorfológica, paisajística y forestal del sistema alterado.
8. Escala y duración de la producción esperada.
9. Características físicas y químicas de los minerales por explotar.
10. Descripción y localización de las obras e instalaciones necesarias para el ejercicio de las servidumbres inherentes a las operaciones mineras.
11. Plan de cierre de la explotación y abandono de los montajes y de la infraestructura

Según este código, los requerimientos aquí exigidos no hacen distinción alguna entre los distintos tipos de minería [28].

En el 2014, bajo el Decreto 480, se reglamentan las condiciones y requisitos para la celebración y ejecución de los subcontratos de formalización minera. Dentro de este decreto, se introducen los Planes de Trabajos y Obras Complementarias (PTOC) para la fiscalización diferencial [30].

Posteriormente, en el año 2022 el gobierno promulga la Ley 2250, la cual, además de introducir la definición de minería tradicional, establece un marco jurídico especial en materia de legalización y formalización minera y normas especiales en materia ambiental para este tipo de minería [14]. Dentro de este marco, el gobierno implementa los Planes de Trabajos y Obras Diferencial (PTOD) ya dispuestos en la Resolución 614 de 2020, la cual instaura los criterios para evaluar las condiciones económicas de un proyecto minero, con el fin de adoptar los términos de referencia para la presentación del documento como anexo a la propuesta de concesión [31].

### 3. Metodología

El presente estudio se realiza con base a la comparación cualitativa y cuantitativa de los parámetros técnicos consignados y observados de cinco de las operaciones mineras, de once títulos de interés. Esta comparación nos permitirá establecer un diagnóstico técnico de las unidades mineras que se encuentran en el área de influencia.

Las discusiones planteadas, resultados y recomendaciones se construyeron a partir de la información facilitada por los titulares mineros mediante los PTOs, la información recolectada y las muestras tomadas en campo que fueron procesadas en un laboratorio ubicado en el municipio de Medellín, Antioquia.

Las muestras fueron tomadas de operaciones mineras ubicadas en la zona de estudio. Corresponden a muestras de material de cabeza (M1), veta (M2) y material de colas (M3), a las cuales se les realizó un análisis de liberación y dos ensayos al fuego de oro y análisis químico de plata respectivamente. Aunque se obtuvieron resultados de los muestreos, estos arrojaron pocos niveles de recuperación debido a los incorrectos procesos desarrollados en las operaciones, razón por la cual no se profundizó en este aspecto.

Inicialmente, se realizó una revisión de los PTOs de dichos títulos con el fin de establecer el estado técnico del mismo y así poder determinar, si están o no presentes en dicho documento los requerimientos técnicos consignados en los términos de referencia expedidos por la autoridad minera, en este caso la ANM. Posteriormente, con los componentes técnicos registrados en cada uno de los documentos de acuerdo a los términos de referencia, fueron identificadas aquellas componentes comunes a todos los PTOs, con el fin de contrastar con la realidad de las operaciones.

Con cada uno de estos elementos, y de acuerdo a la evidencia encontrada y registrada en campo, se comparan los registros de campo con lo expedido en cada uno de los documentos, estableciendo el nivel de adherencia y grado de concreción de cada título a su respectivo PTO.

Adicionalmente, se incluyen datos puntuales de carácter técnico y económico de interés, y los resultados entregados de los análisis de las muestras reportados por el laboratorio, los cuales permitirán un análisis detallado de los resultados y una mejor interpretación de los mismos.

### 3.1 Descripción de títulos (PTO)

Para el estudio, se solicitan los PTOs de los títulos localizados en la zona de interés, los cuales, por fines de confidencialidad, se van a nombrar de la siguiente forma: T1, T2, T3, T4, T5. La información más relevante para este ejercicio, extraída de los PTO de dichos títulos, se encuentra condensada en la Tabla 1 a continuación:

Tabla 1.  
Resumen de PTOs

Variable	T1	T2	T3	T4	T5
Vida del proyecto [años]	30	20	20	32	30
Tenor de oro [g/t]	1,4	8,95	4	7	3,25
Producción anual [t/año]	2.711	6.728,5	7.762.6	21.000	2.420
Precio g oro [\$ COP/ g]	\$73.000	\$235.699	\$87.000	\$118.733	\$47.472
Variación del Valor oro [%]	2,50%	11,90%	N/I	6,50%	10%
VPN [M COP]	\$271	\$3.181	\$687	\$5.724	\$4.804
TIR [%]	21%	17%	28%	106%	18,%
Recuperación metalúrgica [%]	80%	80%	60%	55%	80%
Área [ha]	94	10,46261	1	10,088	38
Densidad [t/m <sup>3</sup> ]	2,8	2,7	2,7	2,65	2,8
Capacidad de planta [t/h]	20 - 40	2,5	0,8	1,5	20 - 100
Cut off [g/t]	9,2	3,68	N/I	N/I	N/I
Trabajadores	12	7	11	8	34
Recursos medidos	N/I	N/I	N/I	90.559,560 [ton]	4'328.800 [m <sup>3</sup> ]
Recursos indicados	N/I	N/I	N/I	N/I	N/I
Recursos inferidos	N/I	N/I	N/I	N/I	N/I
Reservas probadas	N/I	N/I	4.992	N/I	N/I
Reservas probables	N/I	38.851	N/I	11.211	4.805
Dilución [%]	10	N/I	N/I	N/I	N/I
Tenor de plata [g/t]	5	N/I	N/I	N/I	N/I
Ley de plata [ppm]	39,5	N/I	N/I	N/I	N/I
Metros perforados [m]	3.600	10.932,14	N/I	N/I	N/I

N/I: No hay información en el PTO.

Fuente: Los autores.

### 3.2 Verificación y comparación

En esta etapa, se busca identificar el estado de cumplimiento de cada uno de los documentos, de acuerdo a los términos de referencia expedidos por la autoridad minera, la ANM.

A continuación, en la Tabla 2, se presentan los resultados de dicha identificación de las componentes presentes y ausentes en cada uno de los PTOs, denotando por SI aquella componente presente y por NO aquella componente ausente en el documento.

A partir de los datos consignados en las Tablas 1 y 2, fueron identificados aquellos componentes comunes en todos los documentos. A éstos, fueron añadidos otros parámetros que aunque no eran comunes en todos los documentos, se consideran destacables para este ejercicio analítico.

Con los factores identificados, se realiza la comparación entre lo consignado en los documentos con lo observado en campo, significando SI, aquella componente presente ya sea en el documento o en la realidad y para aquellas donde se determina NO, significa que no se evidencia ni en el PTO o en la realidad. A continuación, en la Tablas 3 y 4 se presentan las tablas obtenidas de esta identificación y de su posterior comparación.

Tabla 2. Verificación de términos de referencia en PTOs.

Componente	T1	T2	T3	T4	T5
Descripción y localización del proyecto	SÍ	SÍ	SÍ	SÍ	SÍ
Delimitación definitiva del área de explotación	SÍ	SÍ	SÍ	SÍ	SÍ
Mapa topográfico del área	SÍ	SÍ	SÍ	SÍ	NO
Análisis de precios	SÍ	SÍ	SÍ	SÍ	NO
Análisis de oferta	SÍ	NO	NO	SÍ	NO
Análisis de demanda	SÍ	SÍ	NO	NO	NO
Pronóstico de venta	SÍ	SÍ	NO	SÍ	NO
Proyecciones futuras nacionales	SÍ	NO	NO	NO	NO
Proyecciones futuras internacionales	SÍ	NO	SÍ	NO	NO
Análisis de alternativas de explotación	NO	NO	SÍ	NO	SÍ
Selección de método de minado	SÍ	SÍ	SÍ	SÍ	SÍ
Estimativos de producción	SÍ	SÍ	SÍ	SÍ	SÍ
Mano de obra requerida	SÍ	SÍ	SÍ	SÍ	SÍ
Infraestructura requerida	SÍ	SÍ	NO	SÍ	SÍ
Modelo geológico	SÍ	SÍ	NO	NO	NO
Perforaciones	SÍ	SÍ	NO	NO	NO
Características físicas y químicas del mineral	SÍ	SÍ	SÍ	SÍ	NO
Selección de equipos	SÍ	SÍ	SÍ	SÍ	SÍ
Diseño de mina	SÍ	SÍ	SÍ	SÍ	NO
Plan de ventilación	SÍ	NO	SÍ	SÍ	SÍ
Diseño de planta de beneficio	SÍ	SÍ	NO	SÍ	NO
Estabilidad de taludes, túneles y manejo de aguas	SÍ	SÍ	SÍ	SÍ	SÍ
Mantenimiento y suministro	SÍ	SÍ	SÍ	SÍ	SÍ
Seguridad minera	SÍ	SÍ	SÍ	SÍ	SÍ
Escala y duración del proyecto	SÍ	SÍ	SÍ	SÍ	SÍ
Análisis de flujo de caja	SÍ	SÍ	SÍ	SÍ	SÍ
Evaluación económica	SÍ	SÍ	SÍ	SÍ	SÍ
Evaluación financiera	SÍ	SÍ	SÍ	SÍ	SÍ
Plan de obras de recuperación geomorfológica, paisajística y forestal	SÍ	SÍ	SÍ	SÍ	SÍ
Plan de cierre	SÍ	SÍ	NO	SÍ	SÍ

Fuente: Los autores

Tabla 3. Comparación de PTO vs visto en campo.

Componente	T1	Real	T2	Real
Descripción y localización del proyecto	SÍ	SÍ	SÍ	SÍ
Delimitación definitiva del área de explotación	SÍ	SÍ	SÍ	SÍ
Selección de método de minado	SÍ	SÍ	SÍ	SÍ
Ley	SÍ	NO	SÍ	SÍ
Estimativos de producción	SÍ	NO	SÍ	NO
Mano de obra requerida	SÍ	NO	SÍ	SÍ
Infraestructura requerida	SÍ	SÍ	SÍ	SÍ
Perforaciones	SÍ	NO	SÍ	NO
Selección de equipos	SÍ	SÍ	SÍ	SÍ
Diseño de mina	SÍ	NO	SÍ	SÍ
Plan de ventilación	SÍ	NO	NO	SÍ
Diseño de planta de beneficio	SÍ	SÍ	SÍ	SÍ
Estabilidad de taludes, túneles y manejo de aguas	SÍ	NO	SÍ	SÍ
Plan de obras de recuperación geomorfológica, paisajística y forestal	SÍ	NO	SÍ	NO
Seguridad minera	SÍ	NO	SÍ	SÍ

Fuente: Los autores.

Tabla 4. Comparación de PTO vs visto en campo (continuación).

Componente	T3	Real	T4	Real	T5	Real
Descripción y localización del proyecto	SÍ	SÍ	SÍ	SÍ	SÍ	SÍ
Delimitación definitiva del área de explotación	SÍ	SÍ	SÍ	SÍ	SÍ	NO
Selección de método de minado	SÍ	SÍ	SÍ	NO	SÍ	NO
Ley	SÍ	NO	SÍ	NO	NO	NO
Estimativos de producción	SÍ	SÍ	SÍ	NO	NO	NO
Mano de obra requerida	SÍ	SÍ	SÍ	SÍ	SÍ	NO
Infraestructura requerida	SÍ	SÍ	SÍ	NO	SÍ	NO
Perforaciones	NO	NO	NO	NO	NO	NO
Selección de equipos	SÍ	SÍ	SÍ	NO	SÍ	NO
Diseño de mina	SÍ	SÍ	SÍ	SÍ	NO	NO
Plan de ventilación	SÍ	SÍ	SÍ	SÍ	SÍ	NO
Diseño de planta de beneficio	SÍ	SÍ	SÍ	NO	NO	NO
Estabilidad de taludes, túneles y manejo de aguas	NO	SÍ	SÍ	SÍ	SÍ	NO
Seguridad minera	SÍ	SÍ	SÍ	NO	SÍ	NO
Plan de obras de recuperación geomorfológica, paisajística y forestal	SÍ	NO	SÍ	NO	SÍ	NO

Fuente: Los autores.

## 4. Análisis, resultados y discusión

A continuación, se presentan los análisis realizados con la información levantada en campo y proporcionada por el laboratorio. Dentro de las discusiones planteadas en el marco del proyecto, se sugieren algunas mejoras cuyo sustento se encuentra dentro del análisis estadístico realizado.

### 4.1 Análisis estadístico

A partir del estudio realizado a los títulos mineros por medio de la comparación de los PTOs de los mismos, se calcula el porcentaje de títulos que cumplen con los términos de referencia allí mencionados, dando como resultado lo que se muestra en la Tabla 5.

Tabla 5.  
Porcentaje de cumplimiento.

Componente	Cumplimiento
Descripción y localización del proyecto	100%
Delimitación definitiva del área de explotación	100%
Mapa topográfico del área	80%
Análisis de precios	80%
Análisis de oferta	40%
Análisis de demanda	40%
Pronóstico de venta	60%
Proyecciones futuras nacionales	20%
Proyecciones futuras internacionales	20%
Análisis de alternativas de explotación	40%
Selección de método de minado	100%
Estimativos de producción	100%
Mano de obra requerida	100%
Infraestructura requerida	100%
Modelo geológico	40%
Perforaciones	40%
Características físicas y químicas del mineral	60%
Selección de equipos	100%
Diseño de mina	80%
Plan de ventilación	80%
Diseño de planta de beneficio	80%
Estabilidad de taludes, túneles y manejo de aguas	80%
Mantenimiento y suministro	100%
Seguridad minera	100%
Escala y duración del proyecto	100%
Análisis de flujo de caja	100%
Evaluación económica	80%
Evaluación financiera	100%
Plan de obras de recuperación geomorfológica, paisajística y forestal	100%
Plan de cierre	80%

Fuente: Los autores

De acuerdo a la Tabla 5, el mayor cumplimiento se da en las componentes relacionadas a la descripción del proyecto, su delimitación; en algunos aspectos técnicos propios de la operación como mano de obra, selección de método de minado y algunos aspectos económicos como análisis económico. Esto contrasta con el déficit de cumplimiento en aspectos relacionados a los precios y proyecciones futuras nacionales e internacionales y en la falta de un estudio de mayor rigor al respecto. Esto puede verse reflejado en los precios del oro que cada proyecto estima, y en las variaciones que presentan. Es importante tener en cuenta que los aspectos económicos son importantes para la viabilidad del proyecto.

Además, los componentes de mayor cumplimiento son aquellos que, a priori, no necesitan inversiones para estimarse. Lo cual deja en evidencia, la poca inversión en cada uno de los proyectos, a la hora de disminuir la incertidumbre dentro del mismo. Lo anterior se ve reflejado no solo en el bajo nivel de detalle de exploración que exhibe cada proyecto, sino en la ausencia de definición de recursos y reservas en cada uno, dejando en entredicho cualquier análisis económico o financiero.

Para complementar la información, se evalúa el porcentaje de adherencia que tienen los PTOs con respecto a lo evidenciado en la visita técnica, para determinar qué tanto se acoge el PTO a la realidad, como se muestra a continuación en la Tabla 6.

Tabla 6.  
Porcentaje de adherencia.

Componente	Adherencia
Descripción y localización del proyecto	100%
Delimitación definitiva del área de explotación	80%
Selección de método de minado	60%
Ley	20%
Estimativos de producción	20%
Mano de obra requerida	60%
Infraestructura requerida	60%
Perforaciones	0%
Selección de equipos	60%
Diseño de mina	60%
Plan de ventilación	40%
Diseño de planta de beneficio	60%
Estabilidad de taludes, túneles y manejo de aguas	40%
Seguridad minera	40%
Plan de obras de recuperación geomorfológica, paisajística y forestal	0%

Fuente: Los autores

Tabla 7.  
Porcentaje de cumplimiento y adherencia de títulos a PTO.

	T1	T2	T3	T4	T5
Porcentaje de Cumplimiento	96%	83%	67%	80%	57%
Porcentaje de Adherencia	40%	86%	92%	43%	10%

Fuente: Los autores

El componente que mayor adherencia presenta es la descripción y localización del proyecto, siendo este, nuevamente, uno de los componentes que menos inversión requiere. En contraste a esto, los componentes que menos adherencia exhiben son los de perforación y de plan de obras de recuperación geomorfológica, paisajística y forestal, siendo estos los de mayor inversión. Es importante resaltar el contexto ambiental presente en esta zona y las problemáticas asociadas a la minería, por lo que se hace imperante la necesidad de acoger un plan que contemple la recuperación geomorfológica y paisajística de la zona, a fin de viabilizar y armonizar la actividad minera en la región. Los porcentajes de adherencia y cumplimiento se muestran en la Tabla 7.

Con respecto al grado de adherencia que tienen los documentos a la realidad, se puede observar, de acuerdo a la Tabla 8, que así como hay títulos donde este valor es muy elevado, aproximadamente del 92%, hay otros títulos donde apenas alcanza el 10%, siendo el promedio de 54%. Si se asume que los cinco títulos tienen una representatividad del 80% de los títulos de California, con una desviación de más o menos el 30%, podría significar que todos los títulos del municipio presentan adherencias entre el 24% y el 84%, con media de 54%.

#### 4.2 Resultados de laboratorio

De acuerdo al análisis de liberación realizado a la muestra M2 en el laboratorio, se puede observar el 73,34% del oro libre se retiene entre las mallas 50 y 80, el cual es posible recuperar mediante procesos gravimétricos, posterior a una molienda que

Tabla 8.  
Resultados del ensayo de liberación.

Malla	Tamaño [μm]	Masa retenida [g]	Au libre [%]	Au asociado [%]
-50/+80	300	10,38	24,58	37,93
-80/+100	180	11,15	48,76	13,40
-100/+140	150	13,53	5,06	11,82
-140/+200	106	13,35	5,61	10,69
-200/+270	75	11,71	8,12	9,87
-270	53	39,88	7,87	16,29

Fuente: Laboratorio

lleve el material a tamaño de 53 μm y previo a una etapa de cianuración. Se puede observar que el oro asociado se puede recuperar a este tamaño, haciendo innecesario, remoler a tamaños más pequeños. En la Tabla 8 mostrada a continuación, se observan los resultados del ensayo de liberación.

Con respecto a los ensayos al fuego para oro y análisis químico de plata en las muestras M1 y M3, en la Tabla 9, es posible deducir que el índice de recuperación asociado a procesos gravimétricos es de aproximadamente el 45%, produciendo un mineral de colas muy rico en plata y una cantidad considerable de oro atrapado. Es importante considerar los tenores de plata aquí encontrados como subproductos con valor económico. De acuerdo con los componentes analizados, solo el 20% de los documentos (1 título), incluye la plata en los análisis de ley y ninguno lo incluye como subproducto en los análisis económicos.

Tabla 9.  
Resultados de ensayo al fuego y ensayo químico de plata.

Muestras	Tenor Ag [g/t]	Tenor Au [g/t]
M1	144,45	75,81
M2	159,53	565,77
M3	1563,79	34,21

Fuente: Laboratorio

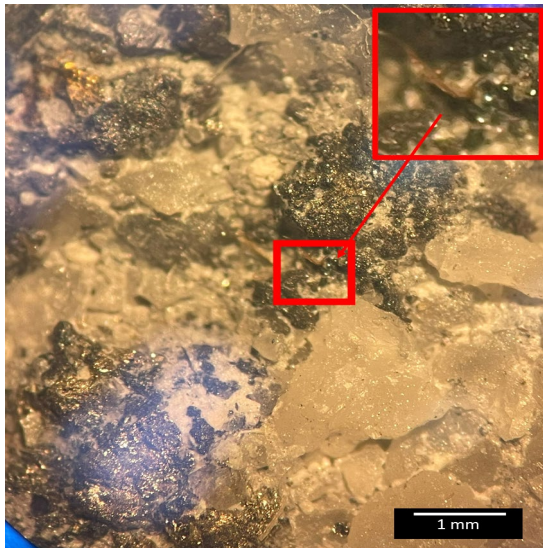


Figura 2. Vista en estereoscopia de muestra M2 donde se visualiza oro en su estado nativo.

Fuente: Los autores.

Esto implica una pérdida directa por costo de oportunidad. Sumado a esto, se tiene que solo el 40% de los PTOs reportan ley de corte, solo el 20% reporta reservas probadas y el 60% reporta reservas probables.

Es importante tener en cuenta que las leyes reportadas en los ensayos de laboratorio, especialmente aquellas tomadas sobre la veta, son significativamente más altas que las reportadas en los documentos, posiblemente debido al sesgo del muestreo y efecto pepita asociado. En la Fig. 2 se observa la vista en estereoscopia de la muestra M2.

## 5. Conclusiones y recomendaciones

Teniendo en cuenta que, en los documentos suministrados por cinco de los once títulos de interés, se resalta que el precio del mineral corresponde al de los años en los que se realizaron los PTOs (en 2007, el más antiguo y del 2020 el más reciente) y no se tuvo en cuenta la fluctuación del mismo, perdiendo el costo de oportunidad que se presenta para la actualidad, sabiendo que para el 1 de junio del 2023, el precio del oro se sitúa en \$ 232.517,27 COP/g [35].

Se evidencia que la adherencia que tienen los PTOs con respecto a la realidad de las operaciones, en el 60% de los títulos el índice es inferior al 50%, por esto se recomienda a los titulares no solo refinar el instrumento legal, sino ahondar esfuerzos en implementarlo.

Con respecto al cumplimiento de los lineamientos expedidos por la autoridad minera, se observa que solo uno de los documentos presenta un cumplimiento de más de 90%. Es importante tener en cuenta que para la sostenibilidad de la actividad económica generada por la minería y especialmente; bajo el escenario socio-ambiental en el que se encuentran inmersas estas operaciones, se debe trabajar en pro del carácter legal de las mismas, manteniendo en todo momento el pleno cumplimiento de los lineamientos expedidos por la autoridad.

A partir de los resultados obtenidos del laboratorio, se encuentra que en la zona de California hay mineral auroargentífero de alto tenor cuya recuperación es ineficiente, por lo tanto, se recomienda proponer para fases futuras, abordar de manera rigurosa el reporte del tenor de mineral en los títulos, proporcionando información que puede ser útil para los titulares de la zona.

Para trabajos futuros, se recomienda actualizar cada uno de los documentos asociados a los distintos títulos, ya que algunos de estos son incluso, anteriores al 2013 previo a la expedición de la ley del mercurio, en los cuales aún se reportan técnicas de beneficio que incluyen uso del elemento.

## Agradecimientos

El proyecto pudo ser ejecutado gracias a la Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín y a la Alcaldía del municipio de California, Santander en su alianza para la financiación del proyecto de extensión solidaria “Mejoramiento de Unidades Productivas de Pequeña Minería en el Municipio de California Santander” (código 314010038847), al Grupo de Investigación de Planeamiento Minero (GIPLAMIN) por haber facilitado el uso de espacios y herramientas para el desarrollo



del mismo, además hacer un reconocimiento a la buena disposición de los mineros tradicionales de California y una mención especial al ingeniero Jheyson Andrés Bedoya Londoño por su acompañamiento integral.

## Referencias

- [1] Alcaldía Municipal de California Santander. Nuestro municipio. [en línea]. 2018. [Acceso 24 Abr. - 2023]. Disponible en: [www.california-santander.gov.co](http://www.california-santander.gov.co). Disponible en: <http://www.california-santander.gov.co/municipio/nuestro-municipio>
- [2] Atlas de Justicia Ambiental. Páramo de Santurbán, Colombia | EJAtlas. Environmental Justice Atlas. [en línea] 2014. [Acceso 26 Abr. - 2023]. Disponible en: <https://ejatlas.org/conflict/paramo-de-santurban-colombia?translate=es>
- [3] Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible [Minambiente]. Resolución 2090, “Por medio del cual se delimita el Páramo jurisdicciones - Santurbán - Berlín, y de adoptan otras disposiciones”. Bogotá, Colombia, 2014.
- [4] LAUDOS. Mayoría de tribunal en Eco Oro vs. Colombia encuentra incumplimiento de nivel mínimo de trato, sostiene que una excepción general ambiental no excluye la obligación de pagar compensación – Investment Treaty News. [en línea]. 2021. [Acceso 4 May de 2023]. Disponible en: <https://www.iisd.org/itm/es/2021/12/20/majority-in-eco-oro-v-colombia-finds-violation-of-minimum-standard-of-treatment-holds-that-a-general-environmental-exception-does-not-preclude-obligation-to-pay-compensation/>
- [5] Sociedad Minera de Santander - Minesa. Estudio de Impacto Ambiental -EIA - Proyecto de Explotación Subterránea de Minerales Auroargentíferos "Soto Norte". Bucaramanga, Santander, Colombia. 2018.
- [6] Agencia Nacional de Licencias Ambientales - ANLA. Datos abiertos. Portal de Datos Abiertos ANLA. [en línea]. 2022. [Acceso: 7 May - 2023]. Disponible en: <https://datosabiertos-anla.hub.arenis.com/datasets/anla::anla-proyectos-en-evaluaci%C3%B3n-areas/explore?location=7.363912%2C-72.921934%2C13.78>
- [7] Agencia Nacional de Minería - ANM. Geocortex Viewer for HTML5. [en línea]. 2023. [Acceso: 10 Feb. - 2023]. Disponible en: <https://annamineria.anm.gov.co/Html5Viewer/index.html?viewer=SIGMExt&locale=es-CO&appAcronym=sigm>
- [8] Galindo-Cubillos, D.I., ¿Un adiós o una bienvenida al desarrollo de la minería tradicional en California, Santander? Tesis de Grado MSc., Facultad de Ciencias Sociales, Área de Derecho, Ciencias Políticas y Relaciones Internacionales, Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano, Bogotá Colombia, 2021.
- [9] Departamento Administrativo Nacional de Estadísticas - DANE. Censo nacional Población censada en hogares particulares, por auto reconocimiento étnico y áreas (Total, Cabecera y Centros poblados y Rural disperso), según municipio y grupos de edad. 2018.
- [10] Lizcano-Pulido, H.A., Presentación alternativa de delimitación del Páramo de Santurbán - Berlín. Propuesta elaborada por: Sindicato de Trabajadores del Sector Minero de Santander, Fundación para el Desarrollo Sostenible de Santurban, Sociedad Minera La Montaña SAS, Veeduría Minero-Ambiental Jurisdicción Santurban y Micro Cuenca Río Surata, Santander, 2019.
- [11] Gamboa-Guerrero, G., Informe Asociativo Pequeños Mineros Tradicionales de California. 2021.
- [12] Congreso de Colombia. Ley 1450, “Por la cual se expide el Plan Nacional de Desarrollo, 2010-2014”. Bogotá, Colombia, 2011.
- [13] Congreso de Colombia. Ley 1930, “Por medio de la cual se dictan disposiciones para la gestión integral de los páramos en Colombia”. Bogotá, Colombia, 2018.
- [14] Congreso de Colombia. Ley 2250, “Por medio de la cual se establece un marco jurídico especial en materia de legalización y formalización minera, así como para su financiamiento, comercialización y se establece una normatividad especial en materia ambiental”. Bogotá, Colombia, 2022.
- [15] Congreso de Colombia. Ley 1658, “Por medio de la cual se establecen disposiciones para la comercialización y el uso de mercurio en las diferentes actividades industriales del país, se fijan requisitos e incentivos para su reducción y eliminación y se dictan otras disposiciones”. Bogotá, Colombia, 2013.
- [16] Morales, M., Otero, J., Van der Hammen, T., Torres, A., Cadena, C., Pedraza, C., Rodríguez N., Franco, C., Betancourth, J.C., Olaya, E., Posada, E. y Cárdenas, L., Atlas de páramos de Colombia. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. Bogotá, D.C., Colombia, 2007, 208 P.
- [17] Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt-IAVH., Actualización cartográfica del Atlas de Páramos de Colombia como insumo para su delimitación. IAVH, MinAmbiente. Bogotá D.C., Colombia, 2012.
- [18] Ministerio de Medio Ambiente - Minambiente. Resolución 769, “Por la cual se dictan disposiciones para contribuir a la protección, conservación y sostenibilidad de los páramos”. Bogotá, Colombia, 2002.
- [19] Redacción Colombia, 21 de enero de 2022. Firman primer pacto de delimitación del Páramo de Santurbán. El Espectador, 2022.
- [20] Madrid, A.L.R., Bissig, T., Hart, C.J.R., and Figueroa, L.C.M., Late pliocene high-sulfidation epithermal gold mineralization at the la bodega and La Mascota deposits, Northeastern Cordillera of Colombia. *Economic Geology*, 112(2), pp. 347-374, 2017. DOI: <https://doi.org/10.2113/econgeo.112.2.347>
- [21] Aris Gold Corporation., NI 43-101 Technical report feasibility study of the Soto Norte gold project, Santander, Colombia, 2021.
- [22] Rodríguez-Madrid, A.L., Geology, alteration, mineralization and hydrothermal evolution of the La Bodega - La Mascota deposits, California-Vetas mining district, Eastern Cordillera of Colombia, Northern Andes, 2014. DOI: <https://doi.org/10.14288/1.0165893>
- [23] Ministerio de Minas y Energía. Censo Minero Departamental 2010-2011. 2012. ISBN 978-958-98603-5-9.
- [24] Hentschel, T., Hruschka, F., and Priestner, M., *Global Report on Artisanal & Small-Scale Mining*, 2002.
- [25] Güiza-Suárez, L., Minería y derechos humanos: una mirada desde el sector artesanal y de pequeña escala. Fundación Alianza por la Minería Responsable, Serie sobre la MAPE Responsable, Volumen 7, Envigado, Colombia. 2015, 173 P. ISBN: 978-958-99798-2-2
- [26] Pantoja-Timarán, F.H. y Pantoja-Barrios, S.D., Problemas y desafíos de la minería de oro artesanal y en pequeña escala en Colombia, *Revista Facultad de Ciencias Económicas: Investigación y Reflexión*, 24(2), pp. 147-160, [En línea]. 2016. [Accedido 27 de junio de 2023]. Disponible en: <https://doi.org/10.18359/rfce.2217>
- [27] Corporación Geoambiental TERRAE., Cuenca alta de la quebrada Páez y cuenca baja y media de la quebrada La Baja, municipio de California, Páramo de Santurbán, Santander. Informe técnico de evaluación preliminar de calidad de agua superficial en zonas de minería de oro, Convenio Corporación Geoambiental Terrae- Interamerican Association for Environmental Defense (AIDA)- True Costs Initiative (TCI). [en línea]. 2018. Disponible en: <https://www.terraegeoambiental.org/santurban-2018>
- [28] Congreso de Colombia. Ley 685, “Por la cual se expide el Código de Minas y se dictan otras disposiciones”. 2001.
- [29] Minagricultura y Unidad de Restitución de Tierras. *Cartilla Minería Preguntas Frecuentes*. 2015.
- [30] Ministerio de Minas y Energía - Minminas. Decreto 480, “Por el cual se reglamenta las condiciones y requisitos para la celebración y ejecución de los subcontratos de formalización minera”. Bogotá, Colombia, 2014.
- [31] Agencia Nacional de Minería - ANM. Resolución 614, “Por medio de la cual se establecen los criterios para evaluar la capacidad económica, las condiciones para acogerse a la modificación de solicitudes a propuesta de contrato de concesión con requisitos diferenciales y se adoptan los términos de referencia para la presentación del anexo técnico de las propuestas de contratos de concesión con requisitos diferenciales”. Bogotá, Colombia, 2020.
- [32] Banco de la República Colombia. Boletín Número 25 de la Junta Directiva del Banco de la República. Banco de la República Colombia. [en línea]. 2023. Disponible en: <https://www.banrep.gov.co/es/normatividad/boletines-junta-directiva/25-2023>.

**C. Díaz-Muriel**, es estudiante de Ingeniería de Minas y Metalurgia de la Universidad Nacional de Colombia sede Medellín. Se ha desempeñado como estudiante auxiliar del Grupo de Investigación de Planeamiento Minero (GIPLAMIN) durante un año aproximadamente, el cual se encuentra adscrito al Departamento de Materiales y Minerales de la Facultad de Minas, ha sido partícipe del de la escuela de verano realizada por el laboratorio de planificación minera DELPHOS de la Universidad de Chile. Su principal línea de investigación parte desde el planeamiento minero para el mejoramiento de las prácticas mineras en pro de una minería bien hecha.

ORCID:0000-0002-5761-0390

**A. Palacio-Arcila**, es Ing. de Minas y Metalurgia en 2023, de la Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín. Ha trabajado el último año como estudiante auxiliar en el grupo de investigación en planeamiento minero GIPLAMIN con reconocimiento de Colciencias y adscrito al Departamento de Materiales y Minerales de la misma Universidad. Ha participado en la escuela de verano realizada anualmente por el laboratorio de planificación minera DELPHOS y la Universidad de Chile, en el seminario internacional de buenas prácticas para la estimación y reporte de recursos y reservas realizado por Dassault Systemes y en el macro entrenamiento en inteligencia artificial (MeIA) realizado por la Red de Universidades de Latinoamérica y el Caribe. Sus intereses abarcan desde la estimación de recursos y reservas hasta la planeación estratégica de largo plazo.

ORCID:0000-0001-5556-4346

**P.K. Vásquez-Carmona**, es estudiante del pregrado de Ingeniería de Minas y Metalurgia de la Facultad de Minas, en la Universidad Nacional de Colombia en la Sede de Medellín. Se desempeña como estudiante auxiliar en el Grupo de Investigación en Planeamiento Minero GIPLAMIN, adscrito al Departamento de Materiales y Minerales de la misma institución. Sus intereses de investigación abarcan el planeamiento minero y la implementación de mejoras técnicas minero-metalúrgicas de unidades mineras.

ORCID: 0000-0002-5749-7965

**N.R. Rojas-Reyes**, es Ing. Metalúrgico de la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, MSc. en Ciencias de la Ingeniería con mención en Metalurgia Extractiva de la Universidad de Concepción en

Chile, y Dr. en Ciencias de la Ingeniería con especialización en Ciencia de Materiales de la Universidad Nacional de Colombia. Actualmente, es profesor titular en el campus Medellín de la Universidad Nacional de Colombia, investigador del Instituto Mineral CIMEX y Director del Grupo de Investigación en Planeamiento Minero (GIPLAMIN). Sus áreas de interés investigativo abarcan la caracterización de minerales, la hidrometalurgia de metales preciosos, la recuperación de metales a partir de residuos y la reología de suspensiones minerales.

ORCID: 0000-0002-1644-471X

**D. Oliveros-Sepúlveda**, es Ing. de Minas y Metalurgia de la Universidad Nacional de Colombia, MSc. en investigación en Medio Ambiente y Desarrollo y Máster Oficial en Gestión Pública de la Universitat Autònoma de Barcelona, España. Tiene experiencia de más de 5 años en investigaciones de inclusión de factores ambientales y de cierre de minas en el planeamiento minero, y en el diseño y análisis de políticas públicas en el sector minero. Actualmente se encuentra admitido en el programa de PhD. en Ingeniería en la Facultad de Minas de la Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín. Tiene experiencia docente en áreas de Economía de Minas y Planeamiento Minero, y experiencia académica y de investigación en GIPLAMIN, en el Grupo de Planificación Minera Delphos de la Universidad de Chile y en la Universitat Autònoma de Barcelona, además de experiencia en empresas del sector público y minero en Colombia y Europa.

ORCID: 0000-0003-1879-0402

**G. Franco-Sepúlveda**, es Ing. de Minas y Metalurgia de la Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín. MSc. en Ciencias Económicas y Dr. en Ingeniería, Ciencia y Tecnología de Materiales de la Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín. Exviceministro de Minas en el Ministerio de Minas y Energía de Colombia. Cuenta con más de 20 años de experiencia como docente, codirector y director en la Facultad de Minas de la Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín en las áreas de planeamiento minero, minería de superficie, economía de minas, optimización minera, arquitectura y urbanismo. Se desempeñó durante 13 años como director del Grupo de Investigación en Planeamiento Minero (GIPLAMIN). Adicionalmente, cuenta con experiencia laboral en la subdirección de Minería de la Unidad de Planeación Minero-Energética (UPME) y la subdirección del Negocio Geocientífico de Ingeominas.

ORCID: 0000-0003-4579-8389