

ANDES (ANTIOQUIA)



GUÍA METODOLÓGICA
PARA EL MEJORAMIENTO PRODUCTIVO
DEL BENEFICIO DE ORO
SIN EL USO DE MERCURIO.

ANDES (ANTIOQUIA)



SERVICIO
GEOLÓGICO
COLOMBIANO



El futuro
es de todos

Minenergía

www.sgc.gov.co

GUÍA METODOLÓGICA

PARA EL MEJORAMIENTO PRODUCTIVO DEL BENEFICIO
DE ORO SIN EL USO DE MERCURIO.
ANDES (ANTIOQUIA)



© Servicio Geológico Colombiano

GUÍA METODOLÓGICA PARA EL MEJORAMIENTO PRODUCTIVO DEL BENEFICIO DE ORO SIN EL USO DEL MERCURIO. ANDES (ANTIOQUIA)

Bogotá, Colombia

Este documento se ha elaborado en el marco del Convenio Interadministrativo GGC n.º 311 del 2017 celebrado entre el Ministerio de Minas y Energía y el Servicio Geológico Colombiano, cuyo propósito fue la elaboración de una guía metodológica mediante la caracterización mineralógica, química, metalúrgica y ambiental de la zona minera de Andes (Antioquia), aplicada al mejoramiento productivo de la extracción del oro sin el uso del mercurio en el proceso de beneficio en la pequeña minería de Colombia.

Este documento debe citarse: Servicio Geológico Colombiano, Ministerio de Minas y Energía, Guía metodológica para el mejoramiento productivo del beneficio de oro sin el uso del mercurio. Andes (Antioquia). Bogotá, Colombia 2018.

Ministerio de Minas y Energía
Vicerministerio de Minas
Dirección de Formalización Minera

Servicio Geológico Colombia
Dirección de Laboratorios - Grupo de Trabajo Cali.

Fotografía de portada: la imagen muestra el trabajo de una mesa de concentración dentro de uno de los entables destinados para el montaje de las plantas de beneficio en la zona minera de Andes (Antioquia). La construcción de dichos entables es común denominador debido a la geografía, el tiempo y los costos. Fotografía tomada por Wilmar David Montenegro, Servicio Geológico Colombiano.

ISBN: 978-958-59782-7-0



9 789585 978270

MINISTERIO DE MINAS Y ENERGÍA

MARÍA FERNANDA SUÁREZ LONDOÑO
Ministra

PABLO CÁRDENAS REY
Secretario general

CAROLINA ROJAS HAYES
Viceministra de minas

JHON LEONARDO OLIVARES RIVERA
Director de Formalización Minera (E)

GILSON LEÓN GONZÁLEZ
Supervisor del convenio

CAMILO ENRIQUE ÁLVAREZ
Equipo jurídico-contractual

🏠 Punto de atención presencial: Calle 43 n.º 57-31, CAN, Bogotá D.C., Colombia
☎ PBX: (57) +1 2200300 / Línea gratuita nacional: 01 8000 910 180
✉ Código postal 111321

SERVICIO GEOLÓGICO COLOMBIANO

OSCAR PAREDES ZAPATA
Director general

EDGAR URIEL RODRÍGUEZ ROMERO
Secretario general

HÉCTOR MANUEL ENCISO PRIETO
Director técnico de Laboratorios

JORGE IVÁN LONDOÑO ESCOBAR
Supervisor del convenio

LUIS CARLOS QUINTERO MARTÍNEZ
Apoyo a la supervisión del convenio

CAROLINA DEL PILAR PINEDA MURCIA
Grupo de trabajo de contratos y convenios

OLGA PATRICIA ROCHA SÁNCHEZ
Grupo de trabajo de planeación

🏠 Punto de atención presencial: diagonal 53 n.º 34-53, Bogotá D.C., Colombia
☎ PBX: (57) +1 2200200 / 220 0100 / 222 1811 / 222 07 97. Línea gratuita nacional: (571) 01 8000 110842
✉ Código postal: 110842.

PRESENTACIÓN

La presente *GUÍA METODOLÓGICA PARA EL MEJORAMIENTO PRODUCTIVO DEL BENEFICIO DEL ORO SIN EL USO DEL MERCURIO ANDES (ANTIOQUIA)* se traduce en un aporte significativo del Servicio Geológico Colombiano a la minería en Colombia, atendiendo un claro compromiso del Ministerio de Minas y Energía por la preservación de la salud humana y la mitigación de los impactos ambientales generados por el desarrollo de actividades mineras, en especial aquellas que no cumplen plenamente con las normas y mandatos, nacionales e internacionales, orientadas hacia la eliminación del uso del mercurio en la actividad industrial minera.

Ésta guía metodológica y la generación de conocimiento geocientífico, en general, que realiza el Servicio Geológico Colombiano es consonante con lo preceptuado en las bases para la consolidación de una política de Estado en ciencia, tecnología e innovación (*artículo 3º. Ley 1286 de 2009 por la cual se modifica la Ley 29 de 1990, se transforma a COLCIENCIAS en Departamento Administrativo, se fortalece el Sistema Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación en Colombia y se dictan otras disposiciones.*), entre las que se destacan: *Incorporar la investigación científica, el desarrollo tecnológico y la innovación a los procesos productivos, para incrementar la productividad y la competitividad que requiere el aparato productivo nacional; integrar esfuerzos de los diversos sectores y actores para impulsar áreas de conocimiento estratégicas para el desarrollo del país; promover el desarrollo de estrategias regionales para el impulso de la Ciencia, la Tecnología y la Innovación, aprovechando las potencialidades en materia de recursos naturales.*

El Ministerio de Minas y Energía, mediante la adopción de la “Política Minera Nacional”, estableció claramente que “... *El objetivo fundamental es que la actividad minera en todas sus escalas, se desarrolle de forma ordenada, incluyente, competitiva y responsable*”, ante lo cual el Servicio Geológico Colombiano, dentro de los ámbitos de su competencia como Entidad perteneciente al Sistema Nacional de Competitividad, Ciencia, Tecnología e Innovación, genera nuevo conocimiento geocientífico, aportando en la solución de la necesidad que tiene el país de fomentar alternativas tecnológicas de producción más limpia para los procesos de beneficio de oro que conduzcan a la eliminación del uso del mercurio.

A lo largo de ésta guía metodológica, el lector podrá encontrar una descripción integral de los resultados del estudio, para lo cual, se incluyen capítulos como el Marco de Referencia, donde se indica la situación actual de la zona minera de Andes, los objetivos y el alcance de la guía; Metodología de Trabajo; Aspectos Geológicos, Metalúrgicos, Químico y Ambientales; Ruta Metalúrgica Propuesta; Estudio Económico y Financiero.

Vale la pena resaltar, que la guía metodológica no se centró solamente en definir elementos puramente tecnológicos, sino que se consideró relevante y necesario realizar un análisis económico y financiero riguroso y real, con fin de establecer la conveniencia de emprender exitosamente un proyecto minero y efectuar una asignación eficiente de recursos. En este capítulo se incluyen los fundamentos metodológicos, mínimamente necesarios, para que el minero pueda realizar un ejercicio de planeación y evaluación financiera de la operación futura de su planta de beneficio, utilizando la ruta metalúrgica propuesta en esta guía.

Oscar Paredes Zapata
Director General
Servicio Geológico Colombiano

AGRADECIMIENTOS

El Ministerio de Minas y Energía y el Servicio Geológico Colombiano (SGC) agradecen a todas las personas que realizaron aportes al desarrollo de la presente guía metodológica, quienes se mencionan en los listados de participantes, como a los integrantes del equipo de trabajo y a la Universidad Nacional de Colombia.

Asimismo, agradecen a los mineros de la zona de Andes (Antioquia) por abrir sus puertas y recibir a las instituciones para permitir la investigación, el reconocimiento y el muestreo en las diferentes minas y plantas de beneficio.

GUÍA METODOLÓGICA PARA EL MEJORAMIENTO PRODUCTIVO DEL BENEFICIO DE ORO SIN EL USO DE MERCURIO. ANDES (ANTIOQUIA)

MINISTERIO DE MINAS Y ENERGÍA
SERVICIO GEOLÓGICO COLOMBIANO

AUTORES SERVICIO GEOLÓGICO COLOMBIANO

Director Técnico de Laboratorios SGC:
Héctor Manuel Enciso Prieto. Químico, Magister en Administración

Coordinador del Grupo de Trabajo Cali SGC y supervisor del Convenio Interadministrativo GGC 311 de 2017:
Jorge Iván Londoño Escobar. Ingeniero químico, MSc en Ciencias Químicas

Apoyo a la coordinación y supervisión del Convenio GGC 311 de 2017 - Sede SGC Bogotá:
Luis Carlos Quintero. Geólogo, Administrador Público

GRUPO DE GEOLOGÍA

Jaime Mojica. Geólogo, experto en petrografía (Responsable del grupo)
Sonia Rojas Barbosa. Geóloga, MSc en Ciencias Geología
Óscar David Cardona Sánchez. Geólogo
Paulo Duarte Hernández. Geólogo
Eliana Molina Ramírez. Pasante de Geología

GRUPO DE METALURGÍA

Harold Concha. Ingeniero químico, especialista en Metalurgia (Responsable del grupo)
Wilmar David Montenegro. Ingeniero Químico (Responsable de mantenimiento y calibración de equipos)
Benedicto Galindo Aguirre. Ingeniero Metalúrgico
Fabián Ramírez Pita. Ingeniero Metalúrgico
Silvia Fuentes Torres. Ingeniera Metalúrgica
Jhon Alejandro Espinal. Pasante de Ingeniería Química

GRUPO DE QUÍMICA

Verónica Ruiz Solano. Química, MSc en Ingeniería Sanitaria y Ambiental (Responsable del grupo)
Viviana Pérez. Química, (Responsable de gestión de calidad)
Yolanda Cañón Romero. Química, especialista en Ing. Sanitaria y Ambiental
Annie Alexandra Arango. Tecnóloga Química
Daniel Castañeda Pinzón. Tecnólogo Químico
Giovanni Andrés Alarcón. Técnico Operativo
Liseth Irene Franco. Pasante de Ingeniería Sanitaria y Ambiental

ESTUDIO Y EVALUACIÓN FINANCIERA

Yury Marentes Laverde. Economista

DISEÑO Y DIAGRAMACIÓN

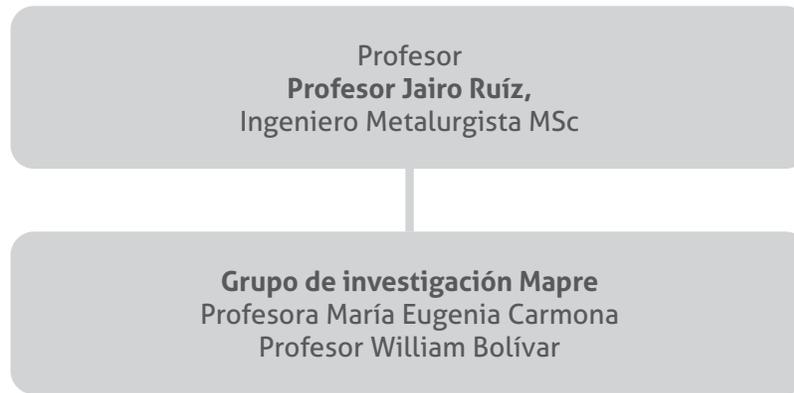
Juan Sebastián Garzón. Diseñador Industrial

IMPRESIÓN

Imprenta Nacional de Colombia

Primera edición
Bogotá, Colombia. 2018

**GRUPO TÉCNICO DE APOYO
UNIVERSIDAD DE ANTIOQUIA - GRUPO MAPRE**



GRUPO DE MINEROS DE LA ZONA AURÍFERA DE ANDES

CONTENIDO

PRESENTACIÓN	
AGRADECIMIENTOS	
EQUIPO DE TRABAJO	7
INTRODUCCIÓN	12
CAPÍTULO 1. MARCO DE REFERENCIA	15
1.1. DESCRIPCIÓN DE LA SITUACIÓN ACTUAL	17
1.2. DESCRIPCIÓN DE LA NECESIDAD	20
1.3. OBJETIVOS	23
1.3.1. Objetivo General	23
1.3.2. Objetivos Específicos	23
1.4. ALCANCE	24
CAPÍTULO 2. METODOLOGÍA DE TRABAJO	25
2.1. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	28
2.2. MUESTREO	28
2.3. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN	28
2.4. PRUEBAS	28
CAPÍTULO 3. CARACTERÍSTICAS DE LA ZONA DE ESTUDIO	29
3.1. LOCALIZACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO	31
3.1.1. Municipio de Andes	32
3.1.2. Vías de acceso	34
CAPÍTULO 4. ASPECTOS GEOLÓGICOS	35
4.1. FUNDAMENTOS TEÓRICOS : GEOLOGÍA Y YACIMIENTOS MINERALES	37
4.1.1. Generalidades de los yacimientos auríferos	37
4.1.2. Identificación de minerales en el frente de mina	41
4.1.3. Sulfuros metálicos asociados a la mena	43
4.1.4. Tipos de ocurrencia de oro	44
4.2. GEOLOGÍA Y MINERALOGÍA DE LA ZONA MINERA DE ANDES (ANTIOQUIA)	45
4.2.1. Geología regional	45
4.2.2. Geología local y mineralogía de la mena	46
4.2.2.1. Geología local	46
4.2.2.2. Geología estructural	46
4.2.2.3. Alteración hidrotermal	47
4.2.2.4. Metalogénesis y mineralización aurífera	47
4.2.2.5. Secuencia paragenética	49
4.2.2.6. Ocurrencia de oro en la veta	50
4.2.2.7. Liberación de sulfuros	50
4.2.2.8. Tamaño de partículas de mena y oro	52
4.3. CONSIDERACIONES EN GEOLOGÍA Y EN MINERALOGÍA	53
CAPÍTULO 5. ASPECTOS METALÚRGICOS	54
5.1. FUNDAMENTOS TEÓRICOS : PROCESO DE BENEFICIO METALÚRGICO	56
5.1.1. Beneficio de minerales en planta	56
5.1.2. Proceso de conminución (trituration y molienda)	57
5.1.2.1. Trituración primaria (gruesos)	58
5.1.2.2. Trituración secundaria (finos)	59
5.1.2.3. Molienda	60
5.1.3. Clasificación granulométrica	62
5.1.4. Clasificación hidráulica	63
5.1.5. Concentración de minerales auríferos por gravimetría	65
5.1.6. Concentración de minerales auríferos por flotación	67
5.1.7. Cianuración	68
5.1.7.1. Precipitación por el proceso de Merrill Crowe	70
5.1.8. Fundición	71

CONTENIDO

CAPÍTULO 6. ASPECTOS QUÍMICO - AMBIENTALES	72	
6.1	CONTRIBUCIÓN DE LOS ANALISIS QUIMICOS EN LAS ETAPAS	74
6.2	FUNDAMENTOS TEÓRICOS: MÉTODOS Y APLICACIONES QUÍMICO - AMBIENTALES	75
6.2.1.	Contaminación por mercurio en minería	75
6.2.1.1	Ciclo del mercurio	75
6.2.2.	Uso del mercurio y su normatividad en Colombia	76
6.2.3.	Caracterización química y ambiental	76
6.2.3.	Análisis químicos aplicados para la caracterización y control de procesos metalúrgicos y ambientales	77
6.2.3.1.	Espectrofotometría de absorción atómica	78
6.2.3.2.	Espectrofotometría de ultravioleta visible	78
6.2.3.3.	Potenciometría del ion cianuro	78
6.2.4.	Tratamientos para la descomposición de cianuro: formas libre y complejo	78
6.2.4.1.	Cianuro y sus formas	78
6.2.4.2.	Tratamientos de descomposición: uso del peróxido de hidrógeno, sulfato ferroso y prueba de control ambiental	80
6.3.	CARACTERÍSTICAS QUÍMICO AMBIENTALES DE LA ZONA MINERA	83
6.3.1.	Relaves	83
6.3.2.	Test ABA	84
6.3.3.	Prueba de toxicidad (TCLP)	86
6.3.4.	Fuentes hídricas	87
6.3.5.	Tratamiento de aguas residuales cianuradas	87
6.4.	CONSIDERACIONES AMBIENTALES	89
CAPÍTULO 7. RUTA METALÚRGICA PROPUESTA PARA LA ZONA MINERA	90	
7.1	PROCESO DE BENEFICIO DESARROLLADO ACTUALMENTE	92
7.1.1.	Proceso de beneficio actual en la unidad geometalúrgica 1.	92
7.1.2.	Proceso de beneficio actual en la unidad geometalúrgica 2.	93
7.2	PROCESO DE BENEFICIO SUGERIDO SEGÚN LA MINERALOGÍA	94
7.2.1.	Recomendaciones metalúrgicas	95
7.3.	DIAGRAMA DE FLUJO DE OPERACIONES, PROCESOS Y MASA PARA EL BENEFICIO SUGERIDO	96
7.4.	MONTAJE DE PLANTA DE BENEFICIO SUGERIDA	98
7.5.	DIAGRAMA DE FLUJO PARA LA PLANTA DE BENEFICIO SUGERIDA	99
7.5.1.	Diagrama de flujo de planta de beneficio a largo plazo	100
7.6.	CONCLUSIONES METALÚRGICAS ACERCA DE LAS OPERACIONES ACTUALES	102
7.7.	CONCLUSIONES METALÚRGICAS ACERCA DE LA RUTA METALÚRGICA PROPUESTA	103
7.8.	CONCLUSIONES METALÚRGICAS ACERCA DE LA SUSTITUCIÓN DE LA AMALGAMACIÓN	105
CAPÍTULO 8. ESTUDIO ECONÓMICO Y FINANCIERO	106	
8.1.	FUNDAMENTOS TEÓRICOS PARA LA EVALUACIÓN FINANCIERA DEL PROYECTO	108
8.1.1.	Generalidades sobre los proyectos de inversión	108
8.1.1.1.	Definición	108
8.1.1.2.	Clasificación	108
8.1.1.3.	El ciclo de los proyectos	108
8.1.2.	Estudio y evaluación financiera de proyectos de inversión	109
8.1.2.1.	Propósito del estudio financiero	109
8.1.2.2.	Etapas del estudio financiero	110
8.1.2.3.	Propósito de la evaluación financiera	110
8.1.2.4.	Etapas de la evaluación financiera	110
8.2.	METODOLOGÍA PARA EL ESTUDIO Y EVALUACIÓN FINANCIERA DEL PROYECTO – UNIDAD GEOMETALÚRGICA 1	112
8.2.1.	Estudio financiero	112
8.2.1.1.	Identificación y valoración de la inversión inicial	112
8.2.1.2.	Identificación y valoración de costos de operación	113

CONTENIDO

8.2.1.3.	Identificación y valoración de ingresos de operación	118
8.2.2.	Evaluación financiera	118
8.2.2.1.	Construcción del flujo de caja del proyecto	119
8.2.2.2.	Aplicación de métodos para evaluar proyectos	120
8.3.	ESTUDIO Y EVALUACIÓN FINANCIERA DEL PROYECTO – UNIDAD GEOMETALÚRGICA 1	121
8.3.1.	Resultados e interpretación de indicadores de evaluación financiera - unidad geometalúrgica 1	123
8.4.	ESTUDIO FINANCIERO OPERACIÓN ACTUAL Vs OPERACIÓN FUTURA – UNIDAD GEOMETALÚRGICA 1	123
8.4.1.	Resultados de la operación actual	124
8.4.2.	Resumen de indicadores de operación actual vs. operación futura	125
8.4.3.	Análisis de resultados de indicadores de operación actual vs operación futura - unidad geometalúrgica 1	125
8.5.	CONSIDERACIONES SOBRE LA OPERACIÓN ACTUAL DE LA PLANTA DE BENEFICIO MODELO - UNIDAD GEOMETALÚRGICA 1	126
8.6.	CONSIDERACIONES SOBRE LA OPERACIÓN FUTURA DE LA PLANTA DE BENEFICIO MODELO - UNIDAD GEOMETALÚRGICA 1	127
8.7.	METODOLOGÍA PARA EL ESTUDIO Y EVALUACIÓN FINANCIERA DEL PROYECTO – UNIDAD GEOMETALÚRGICA 2	128
8.7.1.	Estudio financiero	128
8.7.1.1.	Identificación y valoración de la inversión inicial	128
8.7.1.2.	Identificación y valoración de costos de operación	129
8.7.1.3.	Identificación y valoración de ingresos de operación	134
8.7.2.	Evaluación financiera	135
8.7.2.1.	Construcción del flujo de caja del proyecto	135
8.7.2.2.	Aplicación de métodos para evaluar proyectos	136
8.8.	ESTUDIO Y EVALUACIÓN FINANCIERA DEL PROYECTO – UNIDAD GEOMETALÚRGICA 2	137
8.8.1.	Resultados e interpretación de indicadores de evaluación financiera - unidad geometalúrgica 2	139
8.9.	ESTUDIO FINANCIERO OPERACIÓN ACTUAL Vs OPERACIÓN FUTURA – UNIDAD GEOMETALÚRGICA 2	139
8.9.1.	Resultados de la operación actual	140
8.9.2.	Resumen de indicadores de operación actual vs. operación futura	141
8.9.3.	Análisis de resultados de indicadores de operación actual vs operación futura - unidad geometalúrgica 2	141
8.10.	CONSIDERACIONES SOBRE LA OPERACIÓN ACTUAL DE LA PLANTA DE BENEFICIO MODELO - UNIDAD GEOMETALÚRGICA 2	142
8.11.	CONSIDERACIONES SOBRE LA OPERACIÓN FUTURA DE LA PLANTA DE BENEFICIO MODELO - UNIDAD GEOMETALÚRGICA 2	143

GLOSARIO
REFERENCIAS

INTRODUCCIÓN

Mediante la resolución n.º 40391 del 20 de abril del 2016, el Ministerio de Minas y Energía adoptó la Política Minera Nacional, donde se establece que “[...] *El objetivo fundamental es que la actividad minera en todas sus escalas, se desarrolle de forma ordenada, incluyente, competitiva y responsable...*”. Esta política destaca, entre otros, los siguientes aspectos:

- Los problemas que enfrenta el país en torno a la minería de pequeña y mediana escala son numerosos y disímiles;
- Se requiere generar herramientas y estrategias de apoyo a los mineros para que con ayuda del Estado formalicen su actividad y mejoren sus condiciones de vida;
- Altos niveles de ilegalidad y/o informalidad en la actividad minera;
- La necesidad de articulación entre los diferentes estamentos del Estado para la eliminación del uso del mercurio en la actividad minera.

Para abordar la situación descrita, la Política Minera Nacional establece para la pequeña minería, entre otras, las siguientes líneas estratégicas:

- Apoyo para la regularización de la actividad minera.
- Asistencia técnica.
- Mejores prácticas para el fomento de la pequeña minería.
- Diálogo y coordinación con gobiernos territoriales.
- Mecanismos de participación y diálogo para lograr condiciones de mutua confianza entre los actores involucrados en la cadena de valor de la minería.
- Apoyo para la mejora de las condiciones de vida.

Dentro de este contexto, el Servicio Geológico Colombiano (SGC), perteneciente al Sistema Nacional de Competitividad, Ciencia, Tecnología e Innovación (SNCCTel), adscrito al Ministerio de Minas y Energía, tiene por objeto, entre otras actividades, según artículo 3 del decreto 4131 del 2011, realizar la investigación científica básica y aplicada del potencial de recursos del subsuelo. Adicionalmente, estableció una serie de funciones enfocadas en el desarrollo de actividades entre las que se encuentran: “generar e integrar conocimientos y levantar, compilar, validar, almacenar y suministrar, en forma automatizada y estandarizada, información sobre geología y recursos del subsuelo [...] integrar y analizar la información Geocientífica del subsuelo”.

El SGC debe propender por el cumplimiento de sus objetivos y por el desarrollo de las actividades contempladas en la Ley 1286 del 2009, entre los cuales cabe destacar la generación y uso del conocimiento, a través del desarrollo científico, tecnológico y la innovación, como actividades esenciales para darle valor agregado a nuestros recursos; crear nuevas empresas basadas en investigación, desarrollo tecnológico e innovación, y alcanzar mayores y sostenidas tasas de crecimiento económico, acumulación y distribución de riqueza, con el objeto de mejorar los niveles de calidad de vida de los ciudadanos.

En este mismo sentido, le corresponde a la Dirección de Laboratorios del SGC, en el marco del decreto 2703 del 2013 “Por medio del cual se establece la estructura interna del SGC y se determinan las funciones de sus dependencias”, realizar, entre otras, las siguientes funciones:

“[...] 1. Proponer a la Dirección General, políticas, planes, programas y proyectos en materia de investigación y caracterización de materiales geológicos. 2. Dirigir y realizar la caracterización de materiales geológicos en los componentes químicos, físicos, geotécnicos, petrográficos y metalúrgicos. 3. Dirigir, diseñar, desarrollar e implementar nuevos ensayos de laboratorio y de campo que cumplan con los requerimientos de los planes, programas y proyectos del Servicio Geológico Colombiano (SGC). 6. Dirigir y realizar investigaciones asociadas con la caracterización, procesamiento y utilización de materiales geológicos. 7. Dirigir y realizar acciones encaminadas al aseguramiento de la calidad de los resultados de los ensayos generados en los laboratorios, de acuerdo con los lineamientos del Subsistema Nacional de la Calidad.”

Dentro de las funciones de la Dirección de Laboratorios en el Grupo de Trabajo Caracterización y Procesamiento de Minerales y Carbones, según la resolución 128 del 8 de marzo del 2017, se encuentran:

- Desarrollar proyectos para la caracterización, procesamiento y aprovechamiento de materiales geológicos (carbones y minerales) con énfasis en la promoción minero-ambiental.
- Realizar asesoría técnica en la caracterización, procesamiento y aprovechamiento de carbones y minerales en la pequeña y mediana minería.
-

En el Plan Estratégico del Conocimiento Geológico del Territorio Colombiano 2014-2023 definido por el SGC, se establece para la Dirección de Laboratorios, en el capítulo 7, numeral 7.2, realizar investigaciones especiales como la de beneficio de minerales y transformación de carbones, por lo que el Laboratorio está enfocado en la generación de estudios y el desarrollo de esquemas técnico-científicos, ambientalmente sostenibles, para el beneficio de minerales como parte de la cadena de valor de la minería. Los temas en los cuales se orienta son:

- Generación de información destinada a la clasificación mineralógica y metalúrgica de zonas auríferas del país.
- Aporte tecnológico a las comunidades mineras mediante diseños productivos, técnicas productivas, métodos determinativos y controles ambientales.
- Entrenamiento a técnicos en procesos de beneficio y análisis químicos.

El Ministerio de Minas y Energía adoptó la Política Minera Nacional, donde se establece que “[...] El objetivo fundamental es que la actividad minera en todas sus escalas, se desarrolle de forma ordenada, incluyente, competitiva y responsable”.

Del mismo modo, para el desarrollo de sus funciones, la Dirección de Laboratorios del SGC ha partido de las bases del Plan Nacional de Desarrollo 2014-2018 “Todos por un nuevo país”, en el cual se continúa consolidando al sector minero-energético como uno de los motores de desarrollo a través de su aporte al crecimiento económico, al empleo rural, a la inversión privada y a la generación de recursos para la inversión social del Estado, y lo concibe como una importante fuente de recursos para la inversión pública, aportando al desarrollo social en armonía con el medio ambiente y con otras actividades productivas, desde una visión territorial y ambientalmente responsable, lo que plantea que para la toma de decisiones que verdaderamente desarrollen el potencial de recursos del subsuelo de Colombia es necesario contar con un conocimiento geológico, geoquímico y geofísico adecuado del subsuelo que permita identificar zonas con potencial mineral.

El SGC-Grupo de trabajo Cali cuenta con una infraestructura tecnológica que incluye una planta piloto de beneficio de minerales, donada por la Agencia de Cooperación Internacional de Japón (JICA), la cual ha permitido la realización de estudios asociados al aprovechamiento sostenible de minerales auríferos, permitiendo la verificación y la proyección a escala industrial de las alternativas tecnológicas limpias para el mejor aprovechamiento de los recursos minerales.

La perspectiva desde la cual trabaja la Dirección de Laboratorios del SGC para la sustitución del mercurio se define experimentalmente en la evaluación de las condiciones de las operaciones y procesos metalúrgicos que correspondan, según las características mineralógicas de los depósitos.

La presente guía se realiza con el fin de establecer las características mineralógicas de la zona minera de Andes (Antioquia), que permitan deducir y comprobar los procesos y operaciones geometalúrgicas para el mejor aprovechamiento del recurso aurífero sin el uso del mercurio, como un aporte fundamental a las buenas prácticas en minería que ayudarán a contar con un sector organizado, legítimo, incluyente y competitivo.

Panorámica tomada desde el Río San Juan, zona rural Andes (Antioquia)
Fotografía tomada por: Verónica Ruíz / Servicio Geológico Colombiano

1. MARCO DE REFERENCIA



1.1. DESCRIPCIÓN DE LA SITUACIÓN ACTUAL

Después de la actividad agrícola cafetera, la minería de oro es la actividad económica de mayor importancia en el municipio de Andes y está concentrada, especialmente, en el corregimiento de Santa Rita. Los mineros en su mayoría se encuentran asociados a la Cooperativa Minera de Andes (COOMINANDES); no solamente los explotadores, sino también los propietarios de las plantas de beneficio particulares, poco tecnificadas y que son conocidas como "entables". La titularidad minera está representada en cinco títulos mineros, cuatro de ellos se encuentran en la etapa de explotación y uno en etapa de exploración, ubicado dentro del área de reserva forestal protectora. Sin embargo, la mayoría de la minería activa se encuentra dentro de cinco solicitudes de formalización minera, las cuales se localizan fuera de las áreas forestales protegidas. Dado que gran parte del territorio del municipio representa un importante potencial minero, toda la parte occidental de la zona urbana se encuentra cubierta por solicitudes de contratos de concesión minera. La zona minera limita y se superpone parcialmente con la zona ampliada de la Reserva forestal protectora regional de los Farallones de Citará.

De acuerdo con la información suministrada por la Secretaría de Minas de Antioquia, en el 2013 había actividad minera en las siguientes veredas del municipio de Andes: El Chaquiro, La Soledad, San Agustín, Campamento, Caja de Oro, Santa Rita, La Rochela, San Pancho, San Pablo, San Julián, Santa Inés, Quebrada Arriba, Cañada Honda, El Julio-La Sombra, La Siembre, San Rafael, La Bodega, El Gaitán, San Antonio y La Cristalina. El 7 % de estas veredas se encontraban formalizadas en el 2013. Toda la actividad minera aurífera, que actualmente se adelanta en el territorio del municipio de Andes, está parcialmente tecnificada y se utiliza en todos los casos el proceso de amalgamación, consistente en la adición de mercurio al mineral para atrapar el oro liberado de mayor tamaño, para posteriormente realizar la fundición de dicho material y recuperar el oro; este proceso de extracción trae como consecuencia la liberación de mercurio al medio ambiente. Lo anterior conlleva, aparte de una recuperación incompleta del mineral aurífero y su consecuente pérdida de recursos económicos, una gran afectación ambiental a las aguas de escorrentía y al aire en las zonas de beneficio y de comercialización del oro, ya que según un estudio realizado por el Grupo de Investigación Mapre, de la Universidad de Antioquia, en el cual el límite admisible de mercurio en el aire es de $0,025 \text{ mg Hg/m}^3$, arrojó que un porcentaje superior al 50 % de entables y establecimientos de compra de oro exceden los límites permisibles de mercurio en el ambiente, lo que implica que es necesario adelantar una reconversión tecnológica en las prácticas mineras que actualmente se adelantan en Andes.



Fotografía 1: "Cocos de amalgamación" y tanque de relaves en planta. Fuente: Propia..

Figura 1.1: Diagrama proceso de beneficio actual en Andes (Antioquia) unidad geometalúrgica 1.
Fuente: Propia.

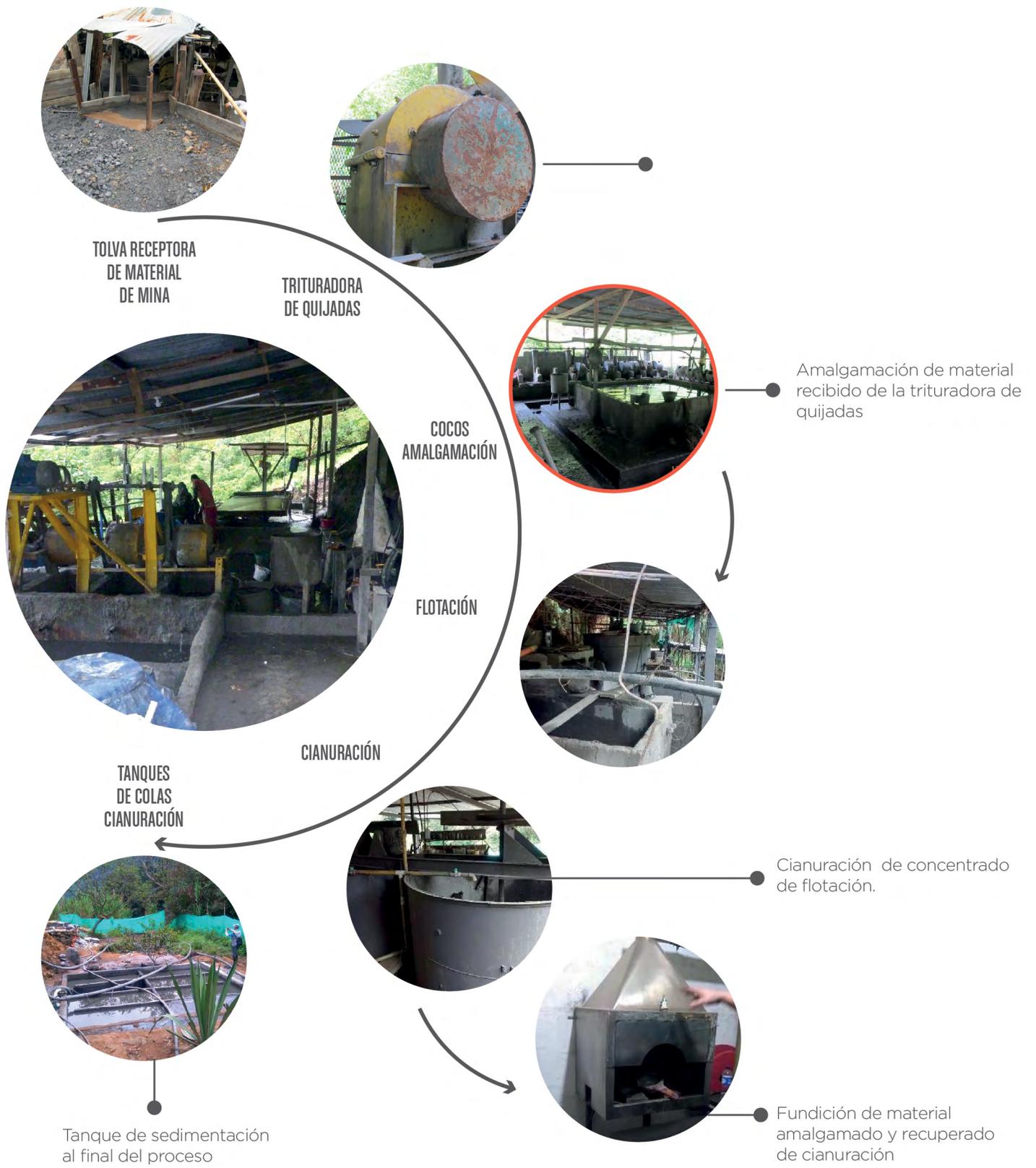
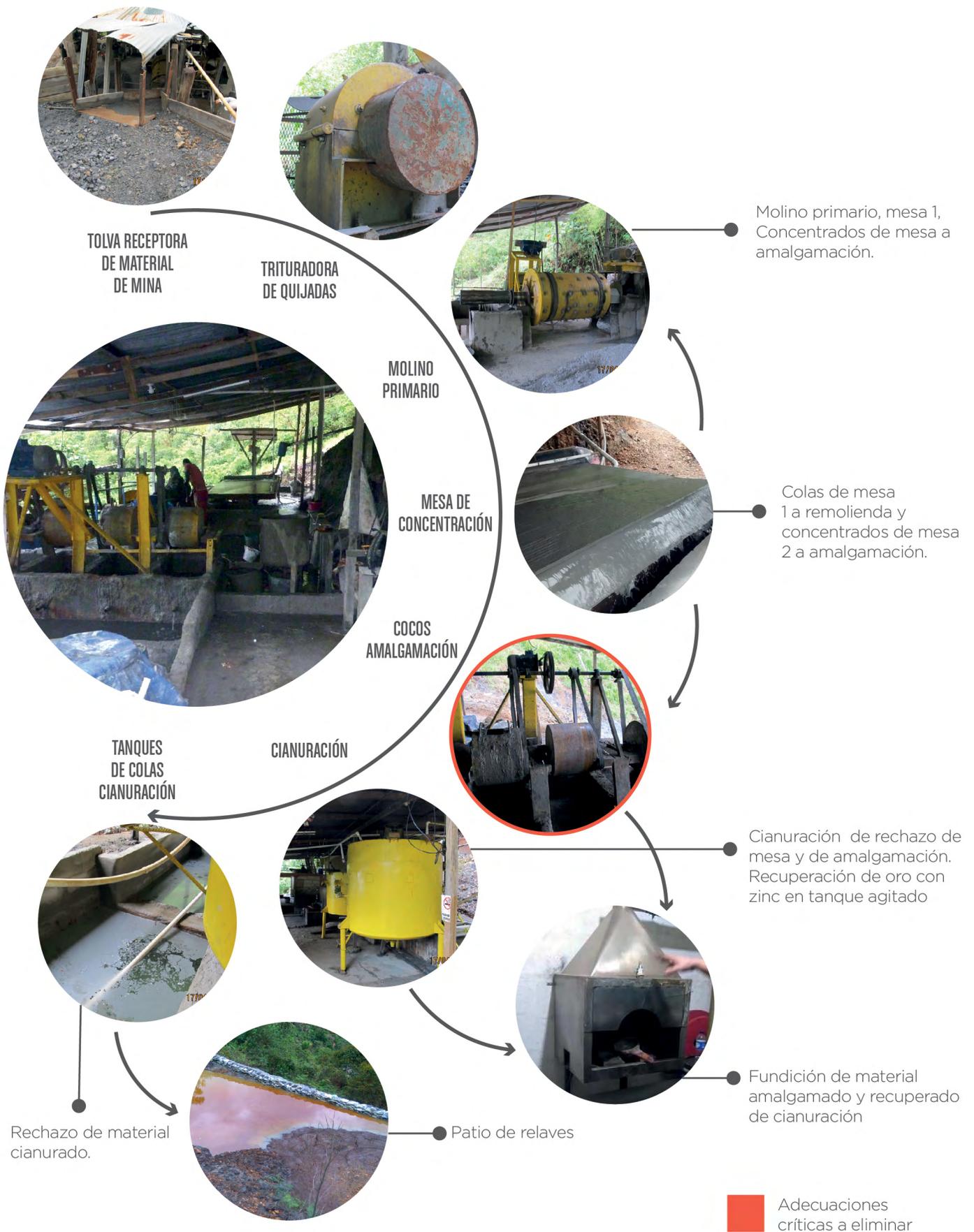


Figura 1.2: Diagrama proceso de beneficio actual en Andes (Antioquia) unidad geometalúrgica 2.
Fuente: Propia.



1.2. DESCRIPCIÓN DE LA NECESIDAD



Fotografía 2: "Amalgama" de mercurio y oro. Fuente: Propia..

El Estado colombiano atendiendo un claro compromiso por la preservación de la salud humana y la mitigación de los impactos ambientales generados por el desarrollo de actividades mineras, en especial aquellas que no cumplen plenamente con los estándares que rigen la industria, ha venido adoptando un marco regulatorio, cuyo propósito es cumplir con los mandatos y normas nacionales e internacionales orientados hacia la reducción y la eliminación del uso del mercurio de la actividad industrial minera.

En este contexto, se expidió la Ley 1658 del 15 de julio del 2013, "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", norma que tiene dentro de su alcance y como propósito la eliminación total del mercurio en el proceso de beneficio del oro, estableciendo un plazo máximo de cinco años, es decir, hasta el 2018; esto se logra a través de la implementación de tecnologías limpias en la recuperación del oro, que sean más eficientes que las actuales y que definitivamente no requieran la utilización de mercurio en el proceso de beneficio, en especial en procesos de recuperación de metales preciosos.

Complementario a lo anterior y bajo el liderazgo del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, en diciembre del 2014 se lanzó el Plan Único Nacional de Mercurio, que busca eliminar gradual y definitivamente el uso de mercurio en el sector minero e industrial de Colombia. Dicho plan fue adoptado y acordado entre los siguientes ministerios: Ambiente y Desarrollo Sostenible; Minas y Energía; Salud y Protección Social; Trabajo; Comercio, Industria y Turismo; Relaciones Exteriores; Agricultura y Desarrollo Rural, y Transporte, y dos instituciones del sector minas y energía: Agencia Nacional Minera y la Unidad de Planeación Minero Energética..

El Plan Único Nacional de Mercurio se convierte en la ruta que debe seguir el Gobierno nacional para eliminar el uso del mercurio e implica actividades de inspección, control, vigilancia y gestión de información y del conocimiento en la industria minera, en todo el territorio nacional. Se trata de un esfuerzo conjunto entre los distintos niveles de gobierno; los sectores minero, industrial, comercial, ambiental, salud, trabajo y la sociedad civil en general, para cumplir con los compromisos nacionales e internacionales que han sido establecidos al respecto. Este plan establece lineamientos claros para reducir y eliminar progresivamente el uso del mercurio en las actividades de minería en todo el territorio nacional con plazo a julio del 2018, y en todos los procesos industriales y productivos con plazo a julio del 2023.

El Ministerio de Minas y Energía y sus entidades adscritas y vinculadas, entre ellas el SGC, trabajaron de manera coordinada en el diseño y la concertación del Plan Estratégico Sectorial para la Eliminación del Uso del Mercurio de la Actividad Minera, el cual se desarrolla con objetivos específicos que contribuyen claramente al cumplimiento de las metas establecidas en los cuatro grandes programas del Plan Único Nacional, a saber: programa de fortalecimiento institucional; programa de gestión ambiental, de salud pública, de seguridad y salud en el trabajo, sectorial-tecnológica y social; programa de educación y comunicación, y programa de gestión del conocimiento-investigación aplicada.

De conformidad y en el marco del eje "gestión del conocimiento-investigación aplicada" del plan, cabe resaltar los siguientes objetivos específicos: 1) ampliar, masificar y promover el uso de tecnologías limpias para la pequeña minería; 2) apoyar proyectos de investigación que generen nuevas técnicas para la recuperación de oro sin uso de mercurio, y 3) documentar experiencias exitosas en transferencia de tecnología que permitan la eliminación del uso del mercurio de los procesos de beneficio de oro, pues estos se enfocan en la promoción de nuevas alternativas

para la producción más limpia de este metal precioso. De igual forma, en el marco del eje "educación y comunicación", se busca que exista una concertación con las comunidades para producir el cambio partiendo de procesos de comprensión profunda relacionadas con las temáticas técnicas y, para cumplir con ello, se destaca el siguiente objetivo específico, expresado en el Plan Estratégico: 1) generar guías técnicas para la comunidad minera de cada región, con el fin de implementar el uso de tecnologías eficientes en el proceso de beneficio de oro sin utilizar mercurio.

Dado lo anterior, los ejes del Plan Estratégico mencionados permiten formular y ejecutar proyectos que puedan aportar nueva información valiosa y necesaria para el entendimiento geometalúrgico y la optimización de los procesos de beneficio del oro, sin la utilización de mercurio; esto mediante la formulación e implementación de procesos verdes ecoeficientes, orientados hacia la mitigación del impacto ambiental y que conduzcan a la disminución de condiciones potencialmente riesgosas para la salud humana en el desarrollo de actividades mineras, en especial aquellas asociadas con el beneficio del oro en las zonas mineras existentes en el territorio nacional.

Producto del diagnóstico levantado en campo de las unidades de beneficio aurífero de pequeña escala, que actualmente registra el Ministerio de Minas y Energía, se identificaron las principales falencias en materia de eliminación de uso de mercurio por parte de los mineros, dentro las cuales se encuentran entre otras las siguientes:

- Falta de conciencia sobre la problemática ambiental a consecuencia del uso de mercurio, toda vez que realizan la actividad con limitada asistencia técnica y con poca planificación, lo que no permite mantener índices de productividad y de sostenibilidad adecuados, y causando de paso, entre otras cosas: deterioro ambiental, impactos negativos sobre los recursos naturales; riesgo directo para los operarios de las unidades productivas e indirectos para las comunidades y

ecosistemas aledaños. Toda esta problemática mencionada, significa poner en riesgo la salud de la población pues todos los vertimientos cargados con sustancias contaminantes, como el mercurio son descargados a las corrientes hídricas que surten los acueductos regionales.

- De igual forma, se ha planteado, el desconocimiento de alternativas de tecnologías más limpias para recuperación del metal sin el uso del mercurio.
- Se menciona también, el desconocimiento científico, en particular acerca de las condiciones geoquímicas de los depósitos auríferos; las características geológicas, mineralógicas y metalogenéticas propias de cada uno de las zonas y distritos auríferos en el país, incluyendo su asociación mineral, su paragénesis y la reactividad de los diferentes minerales, asociados al proceso de beneficio. Por lo anterior, la falta de información impide generar una metodología de beneficio más eficiente adecuada, y que actualmente puede generar

En el marco del plan estratégico se busca que exista una concertación con las comunidades para producir el cambio partiendo de procesos de comprensión profunda, relacionadas con las temáticas geocientíficas e ingenieriles. Es por ello, que se propuso generar guías técnicas para la comunidad minera de cada región, con el fin de implementar el uso de tecnologías eficientes en el proceso de beneficio de oro sin utilizar mercurio, partiendo del entendimiento geometalúrgico.



Fotografía 3: Serie de "cocos" para amalgamación. Fuente: propia.



Fotografía 4: Valla sendero Laguna Santa Rita, Andes (Antioquia). Fuente: propia.

menores ingresos a los mineros y causar un mayor impacto ambiental.

En este contexto, se suscribió entre el SGC y el Ministerio de Minas y Energía el Convenio Interadministrativo GGC n.º 311 del 2017, que tiene por objeto "aunar esfuerzos técnicos, administrativos y financieros para la caracterización mineralógica y metalúrgica en distritos mineros de Colombia, con el fin de realizar guías para procesamiento de minerales y su control ambiental que permitan mejorar la recuperación del oro sin el uso de mercurio"

Dadas las anteriores razones, el Ministerio de Minas y Energía tiene la necesidad de fomentar alternativas tecnológicas de producción más limpia para los procesos de beneficio de oro que conduzcan a la eliminación del uso del mercurio en zonas mineras de producción activa; es por ello que se requiere el conocimiento especializado de entidades y grupos investigación reconocidos, por lo que el SGC, junto con algunas universidades, son las instituciones idóneas para dar cumplimiento a los objetivos del presente proyecto, cuya realización se propuso para generar conocimiento científico y tecnológico aplicado al mejoramiento productivo del beneficio de oro, con tecnologías de producción más limpia, sin el uso de mercurio en la pequeña minería de Colombia.

Los resultados de este proyecto quedarán consignados en un informe técnico y harán parte de la guía metodológica correspondiente. Esta información valiosa será compartida y socializada directamente con la comunidad minera para motivar su aplicación e implementación, lo que permitirá, además, que el conocimiento adquirido aporte al entendimiento particular de la metalogénesis, la optimización de los procesos de beneficio del oro y la mitigación del posible impacto ambiental asociado a las actividades mineras.

El Ministerio de Minas y Energía y el SGC suscribieron el Convenio Interadministrativo GGC n.º 311 del 2017, que tiene por objeto "aunar esfuerzos técnicos, administrativos y financieros para la caracterización mineralógica y metalúrgica en distritos mineros de Colombia, con el fin de realizar guías para procesamiento de minerales y su control ambiental, que permitan optimizar la recuperación del oro sin el uso de mercurio".

1.3. OBJETIVOS

1.3.1. OBJETIVO GENERAL

Caracterizar química, mineralógica y metalúrgicamente la zona minera de Andes (Antioquia), con el fin de generar conocimiento geometalúrgico que permita la recuperación de oro sin el uso de mercurio, para el mejoramiento productivo del beneficio de oro en la pequeña minería en Colombia.

1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Realizar el reconocimiento geológico de la zona minera de Andes (Antioquia) haciendo énfasis en zonas y estructuras mineralizadas y de extracción activa, que incluya toma de información de dichas estructuras, medición de datos estructurales y toma de muestras de roca.
2. Realizar la caracterización química y mineralógica de la mena para identificar su composición, asociaciones minerales, texturas, tamaños de grano, metalogénesis y la ocurrencia de oro en la veta para establecer un adecuado beneficio del mineral aurífero.
3.
 - Llevar a cabo pruebas metalúrgicas para definir la efectividad de los procesos actuales de beneficio y, junto con toda la información de caracterización del depósito, proponer una ruta metalúrgica adecuada para el procesamiento y la recuperación del oro.
4.
 - Realizar ensayos ambientales que permitan identificar los riesgos asociados a la toxicidad de relaves y plantear metodologías que permitan el control y la prevención de impactos negativos al medio ambiente.
5. Elaborar la guía metodológica para el mejoramiento productivo, económico y ambiental del beneficio del oro sin el uso del mercurio para la zona minera de Andes.
6.
 - Definir la viabilidad financiera y económica de la implementación de la propuesta de uso de tecnologías limpias para la sustitución del mercurio en el proceso de beneficio de oro en la zona minera de Andes.

1.4. ALCANCE

La guía metodológica propone procesos de producción más limpia, sin uso de mercurio, a través de alternativas tecnológicas que permiten un mejor aprovechamiento del mineral, una mayor eficiencia y productividad en las operaciones de beneficio. Lo anterior, fundamentado en la profundización del conocimiento geológico, metalogénico, mineralógico, metalúrgico y físico - químico de los depósitos minerales los cuales son aprovechados por las unidades de beneficio de la zona minera de Andes (Antioquia) y la aplicación de este conocimiento en los procesos de beneficio del oro y la disminución del impacto al medio ambiente. No obstante, se tendrá en cuenta los procesos metalúrgicos y operaciones unitarias utilizadas actualmente por los mineros de la región, para finalmente proponer una ruta metalúrgica que permita un mejoramiento de los procesos productivos sin el uso del mercurio.

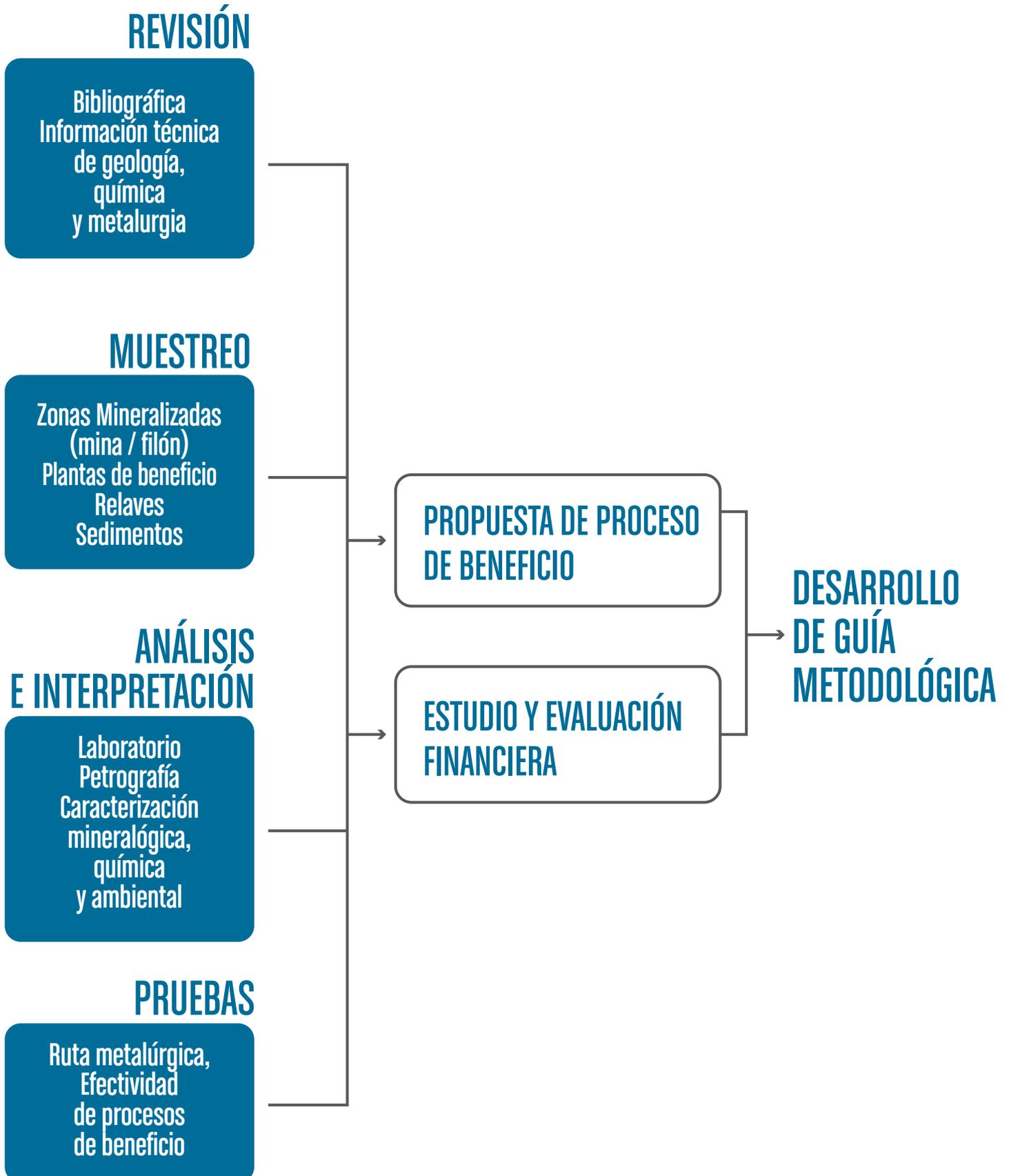
La guía comprenderá 8 capítulos: 1) Marco de referencia, 2) Metodología de trabajo, 3) Características de la zona, 4) Aspectos geológicos, 5) Aspectos metalúrgicos, 6) Aspectos ambientales, 7) Ruta metalúrgica para la zona minera propuesta y 8) Estudio económico y financiero.

Filón con oro diseminado en mina de Andes (Antioquia)
Fotografía tomada por: Verónica Ruíz / Servicio Geológico Colombiano

2. METODOLOGÍA DE TRABAJO

2. METODOLOGÍA DE TRABAJO

Figura 2.1: Diagrama metodología de trabajo
Fuente: Propia.



2.1. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

El primer paso dentro de la metodología de trabajo es seleccionar la zona minera a estudiar, luego se realiza la revisión de la documentación minera existente, de acuerdo con los diferentes distritos mineros definidos en Colombia; posteriormente, se revisa la información geológico-minera de la zona de estudio, lo anterior con el fin de adquirir bases de conocimiento para realizar el trabajo de campo y el respectivo muestreo.

2.2. MUESTREO

Una vez se realizaron las diligencias institucionales correspondientes se llevaron a cabo varias jornadas de campo para adelantar el trabajo de reconocimientos geológico de la zona, revisión de los procesos de beneficio de oro y la toma de muestras. En terreno se realizó la toma de cuatro tipos de muestras:

- Muestras de zonas mineralizadas: muestras de roca en vetas y en zonas de respaldos.
- Muestras en plantas de beneficios: material de cabeza y material de salidas de las diferentes operaciones unitarias practicadas en el beneficio.
- Muestras de relaves: rechazos o colas provenientes de los diferentes procesos.
- Muestras en sedimentos y quebradas: para identificar los posibles elementos que están pasando al medio ambiente luego de la finalización del proceso de beneficio.

2.3. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN

Con base en las observaciones hechas en campo, se realizó una definición de los análisis, pruebas y ensayos a practicar, y se procedió a preparar las muestras para iniciar con los análisis de petrografía, caracterización mineralógica y composición química. Este proceso condujo a realizar diagnósticos mineralógico y metalúrgico, los cuales son el pilar para desarrollar la propuesta de ruta metalúrgica eficiente y ambientalmente sostenible para aplicar en la zona.

Los procedimientos analíticos aplicados fueron:

PETROGRAFÍA:

- Análisis de la roca: se seleccionó la muestra y se extrajo una fracción a la que se le realizó el pulido, de 60 a 40 μm (secciones delgadas pulidas) para realizar análisis con microscopio (petrográfico y de metalografía).
- Análisis mineralógico general: se seleccionó la muestra, se pulverizó a un d80 de 1,4 mm para realizar el pulido del material particulado.
- Análisis mineralógico específico para oro: la muestra del análisis mineralógico general se pulverizó a un d80 de 300 μm y se concentró para sustraer el oro y hacerlo visible al análisis petrográfico. El material se concentró y se montó sobre vidrio para realizar desbaste a 40-50 μm ; posteriormente este concentrado se pulió y se brilló para análisis petrográfico y metalográfico.

ANÁLISIS QUÍMICOS ELEMENTALES:

- Ensayo al fuego: análisis de oro y plata por fundición de 30 g de muestra.
- Análisis de hierro, cobre, mercurio, plomo, y zinc por espectrofotometría de absorción atómica.
- Análisis de azufre por el método gravimétrico.
- Análisis cualitativo de carbonato de calcio.

ANÁLISIS AMBIENTALES:

- Análisis de arsénico, cadmio, cromo, plata, mercurio y plomo por el método de diagnóstico de toxicidad de depósitos.
- Análisis de cianuro total por descomposición química de complejos y lectura con electrodo de ion selectivo para ion cianuro.

2.4. PRUEBAS

La interpretación de estos análisis dio lugar a la realización de las pruebas metalúrgicas correspondientes, las comprobaciones y confirmaciones para crear la propuesta de ruta metalúrgica óptima a aplicar.

PROPUESTA RUTA METALÚRGICA

Se definió una ruta metalúrgica adecuada para el proceso de beneficio de oro optimizando todos los parámetros tecnológicos, la cual resultará beneficiosa en términos económicos para los mineros e implicará la eliminación del mercurio en el proceso productivo.



Detalle de planta de café, principal fuente de desarrollo económico de la zona.
Fotografía tomada por: Verónica Ruíz / Servicio Geológico Colombiano

3. CARACTERÍSTICAS DE LA ZONA DE ESTUDIO

Conocer las generalidades de la zona de estudio permite tener una referencia sobre la localización geográfica y efectuar un acercamiento a los aspectos económicos y sociales que se desarrollan en los municipios de estudio.

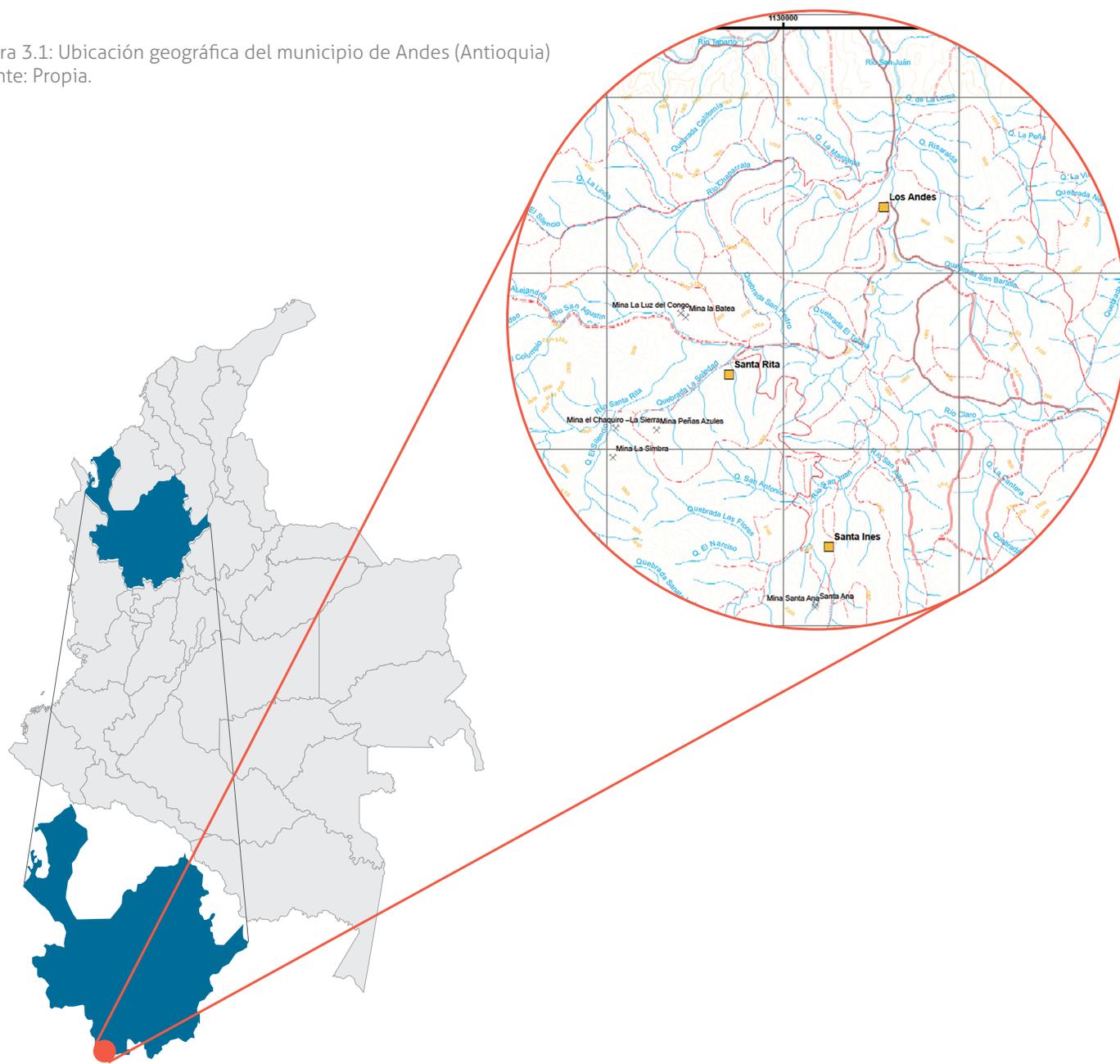
3.1. LOCALIZACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO

El municipio de Andes se encuentra ubicado en el Suroeste antioqueño, situado en la Cordillera Occidental, en el extremo suroccidental del departamento de Antioquia. En su mayoría, el área del municipio está situada principalmente sobre depósitos torrenciales, cuaternarios y rocas volconosedimentarias terciarias de la Formación Combia.

Todas sus montañas pertenecen a la Cordillera Occidental, que marca límites al sur y al occidente. El núcleo principal corre al occidente y en él se destacan como alturas principales los cerros de Caramanta, el San Bernardo y Paramillo. Todas sus aguas buscan el río San Juan, que nace en el Cerro de Paramillo con el nombre de Docató. Entre sus principales afluentes están los ríos Tapartó, Guadualejo, Santa Rita, Bolívar, El Barroso y Río Claro, y las quebradas Santa Bárbara, Chaparrala, Cañaverla y Remolina. El terreno sobre el que descansa, así como la mayor parte de las poblaciones del suroeste, es de topografía desigual; sin embargo, este marco natural no ha impedido los constantes procesos urbanos ni el intercambio y la vitalidad económica por los que es reconocido habitualmente en la región y en el municipio.

Figura 3.1: Ubicación geográfica del municipio de Andes (Antioquia)

Fuente: Propia.



3.1.1. MUNICIPIO DE ANDES

LOCALIZACIÓN

Latitud norte: 05° 39' 29"
Longitud oeste: 75° 52' 51"

EXTENSIÓN TOTAL

444 km²

ALTITUD ZONA URBANA

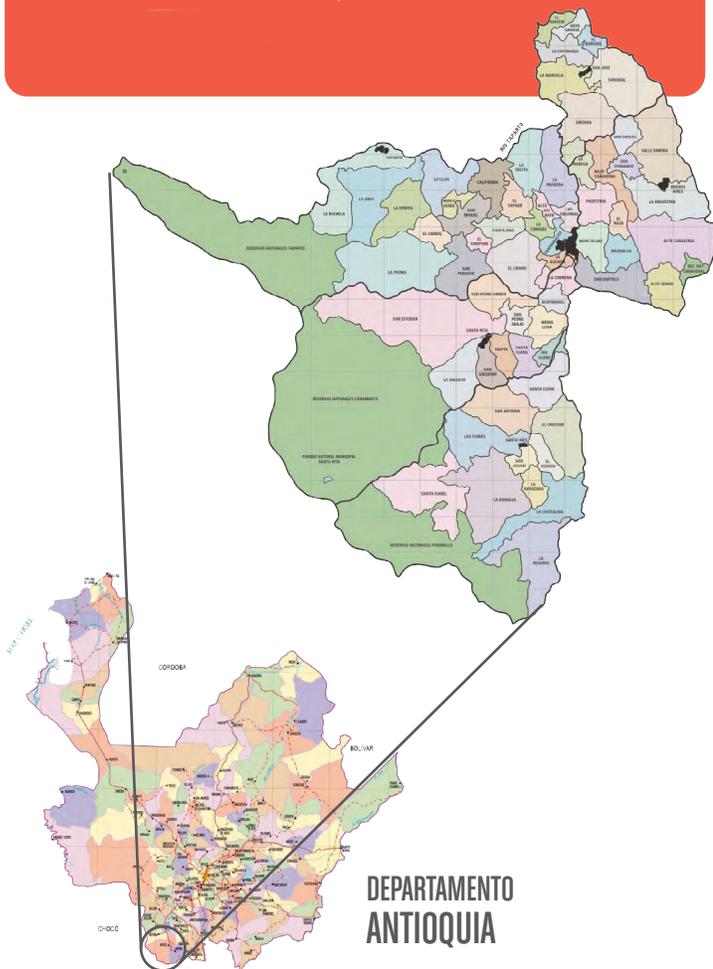
1300 msnm

TEMPERATURA PROMEDIO

21.2 °C

LÍMITES

Oriente: con Jericó y Jardín.
Norte: con Betania, Hispania y Pueblo Rico.
Occidente: con el departamento de Chocó.
Sur: Con el departamento de Risaralda.



Economía: el municipio de Andes es considerado polo de desarrollo de esta zona del departamento de Antioquia; es denominado "capital cafetera y comercial de Suroeste antioqueño", siendo el café el producto que genera la mayor parte del empleo y los ingresos de la zona. El uso actual del suelo rural se distribuye así: el 28,17 % en cultivos silvoagrícolas; el 23,70 % en potreros; el 22 % en reservas naturales; el 18 % en bosques protectores productores; el 5,7 % en rastrojos; el 2,2 % en cultivos semilimpios y densos, y el 0,23 % en áreas urbanizadas.

Después de la actividad agrícola cafetera, la minería es la actividad de mayor importancia en el municipio de Andes, especialmente concentrada en el corregimiento de Santa Rita.

Ecología: la principal fuente hídrica la constituye el río San Juan, el cual alimenta los municipios de Jardín, Andes, Betania, Ciudad Bolívar, Pueblorrico, Tarso, Hispania y Salgar. Esta cuenca está atravesada por la Falla de Mistrató, cuya zona de influencia se caracteriza por su alto grado de fracturación del territorio que recorre.

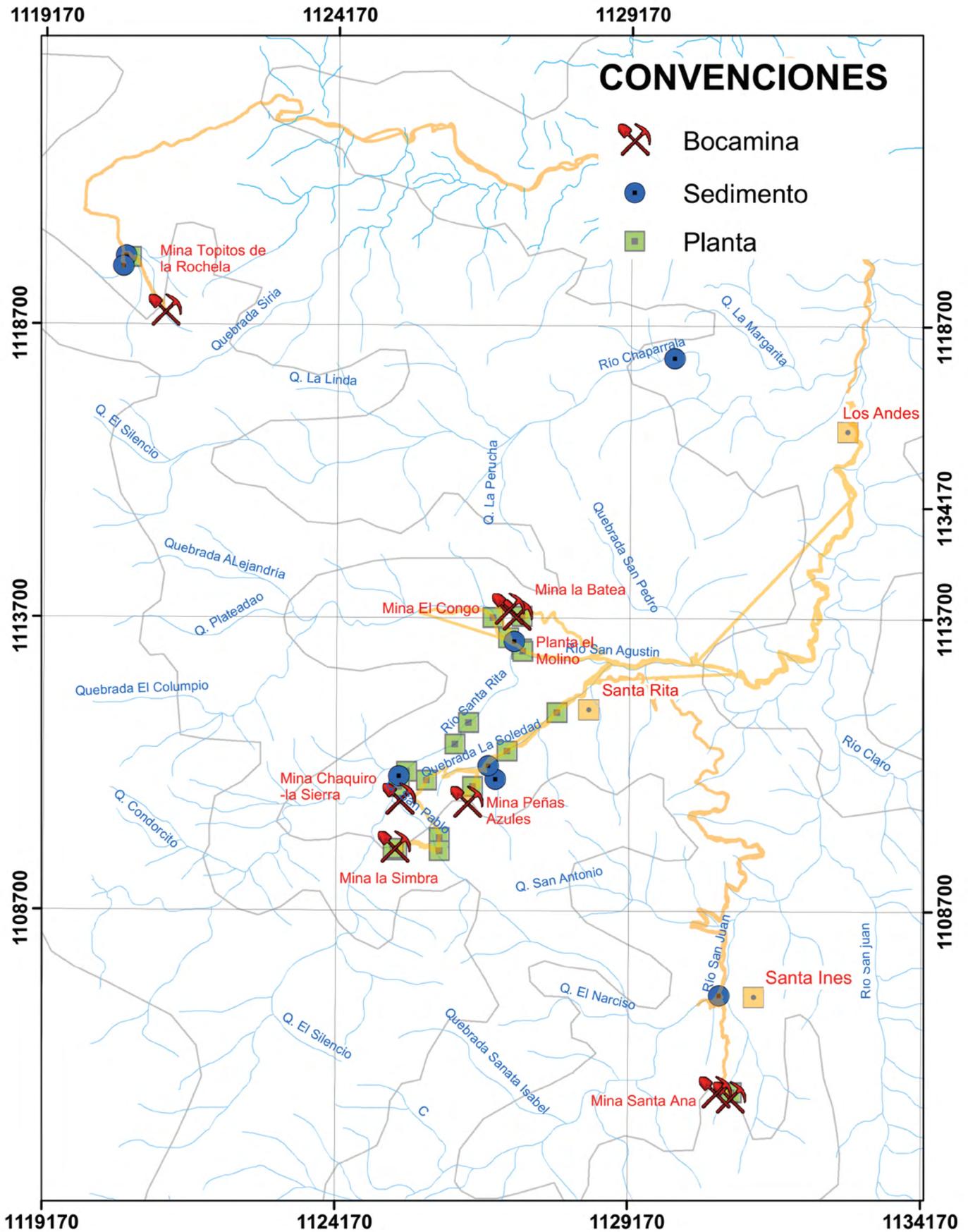
En cuanto a la flora y la fauna, aún se conservan áreas de bosque poco intervenidas que por su importancia para la preservación, los recursos hídricos y el sostenimiento de la calidad ambiental deben protegerse; se destacan entre estas: Farallones del Citará, Alto San Fernando, Cabeza del Niño, La Teta, y la Cuchilla de Paramillo.

Hidrografía: el municipio de Andes cuenta con una gran riqueza hidrográfica siendo el río San Juan el principal canal colector de todas las aguas de la región; este nace en el Cerro Paramillo, en la zona límite de los departamentos de Antioquia y Risaralda, recorre el territorio de sur a norte y va a desembocar al río Cauca.

Son también otros tributarios: el río Tapartó y las quebradas Santa Bárbara, Santa Rita, la Cañaverala, San Bartolo, Mont-Blanc, Calenturas, La Ciudad, Naranjal, La Velásquez, Quebradona y La Chaparrala; quebradas que se aprovechan para mover caudales importantes para el diseño de los acueductos veredales, multiveredales y municipal. En el municipio solo existe la laguna de Santa Rita y también se encuentran otras 75 quebradas menores, 15 cañadas y numerosos nacimientos.

Habitantes el Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE): según el Censo Nacional Poblacional del 2005, la población total del municipio de Andes es de 41.591 habitantes; la población de la cabecera municipal es de 19.176 habitantes y la el sector rural de 22.415 habitantes.

Figura 3.2: Mapa de localización de minas y plantas de beneficio visitadas en mapa de fuentes hídricas.
Fuente: Propia.



Vista en microscopio ocurrencia de oro.
Oro asociado a arsenopirita (Aspy)

Arsenopirita (Aspy) —————●

Oro (Au) —————●

4. ASPECTOS GEOLÓGICOS

La composición mineralógica de los depósitos determina el comportamiento de las menas en los procesos de beneficio. Por este motivo, es de gran importancia conocer desde su origen los procesos geológicos involucrados en su formación, así como de las condiciones finales del depósito mineral.

Teniendo en cuenta el origen y los procesos mineralizantes se puede establecer el tipo de depósito, particularmente aquellos de origen hidrotermal, característicos de la zona de estudio. Este capítulo busca describir características mineralógicas obtenidas a partir de análisis petrográficos, de metalografía y de fluorescencia de rayos X, que brindan información importante acerca de los procesos que condujeron a la formación de los minerales encontrados y que a su vez facilitan la selección apropiada de procesos geometalúrgicos.

4. ASPECTOS GEOLÓGICOS

4.1 FUNDAMENTOS TEÓRICOS: GEOLOGÍA Y YACIMIENTOS MINERALES

La geología es la ciencia que estudia el origen, la estructura y la composición del planeta Tierra, así como la evolución y los procesos que la han modificado desde su origen hasta el tiempo actual. El interior de la Tierra se ha diferenciado en tres capas concéntricas principales, según características establecidas especialmente por métodos geofísicos:

Corteza: es la capa más externa de la Tierra y en esta se encuentran concentrados los yacimientos minerales; tiene una profundidad de 20 a 70 km bajo los continentes (corteza continental), y de 10 km bajo los océanos (corteza oceánica). La corteza oceánica es más densa que la corteza continental.

Manto: tiene un espesor de 70 a 2900 km de profundidad, es la capa intermedia.

Núcleo: es la parte interna de la Tierra y tiene una profundidad de 2900 a 6000 km; se cree que la parte interna está formada por minerales de hierro.

La corteza se compone de placas o fragmentos móviles individuales, más o menos rígidos, que se desplazan e interactúan entre ellos y se conocen como placas tectónicas. En la dinámica terrestre se crea y se destruye corteza continuamente en los límites divergentes de las placas tectónicas. En los límites convergentes de las placas tectónicas, donde estas se mueven hacia un punto común, a veces una placa se hunde (subduce) debajo de otra; estas zonas que se conocen como zonas de subducción son responsables de la formación de grandes cadenas montañosas, como los Andes, de la generación de eventos sísmicos y del emplazamiento y acumulación de yacimientos minerales (pórfidos y yacimientos epitermales de metales preciosos, entre otros). El origen de los depósitos minerales metálicos está estrechamente relacionado con ambientes asociados a la interacción de placas tectónicas (fragmentos de corteza terrestre).

4.1.1. GENERALIDADES DE LOS YACIMIENTOS AURÍFEROS.

Un yacimiento mineral es la acumulación en superficie o cerca de ella de compuestos metálicos y no metálicos, los cuales debido a su extensión, disposición o enriquecimiento pueden recuperarse con beneficio económico. El oro se transporta, inicialmente, desde el interior hacia la corteza terrestre, mediante procesos magmáticos. Los fluidos involucrados en este proceso reaccionan con las rocas circundantes y permiten la movilización del oro a través de fracturas y poros, y los cambios de presión, temperatura y reactividad geoquímica dan lugar a su precipitación. En los yacimientos minerales el oro se asocia principalmente con elementos como plata (Ag), arsénico (As), antimonio (Sb), mercurio (Hg), selenio (Se), telurio (Te), y en algunos depósitos se presenta asociado con hierro (Fe), zinc (Zn), plomo (Pb) y cobre (Cu). El tamaño y tipo del depósito aurífero depende de los factores ya mencionados, así como de la magnitud del evento y el tiempo de ocurrencia.

A continuación se mencionan y describen las generalidades de los principales yacimientos auríferos que han sido descritos a nivel mundial, y que han sido reconocidos en territorio colombiano, o con potencial en el país, dada la diversidad de ambientes de formación de yacimientos que se presentan.

- **Depósitos epitermales:** en este tipo de depósitos la mineralización de metales preciosos y de sulfuros asociados se produce a partir de fluidos hidrotermales calientes, cargados de metales que se precipitan en las fracturas y fallas de las rocas encajantes (vetiformes), o en forma de diseminaciones formadas dentro de la roca caja, cuando se presentan las condiciones adecuadas de porosidad y permeabilidad. Los depósitos epitermales se forman a profundidades de entre 1 y 2 km de profundidad desde la superficie y genéticamente se encuentran relacionados con ambientes de vulcanismo activo. La mineralización de yacimientos epitermales de metales preciosos puede formarse a partir de dos tipos de fluidos químicamente distintos; los denominados depósitos epitermales de baja sulfuración, que tienen un pH cercano a neutro y los fluidos de alta sulfuración que son más oxidados y ácidos. Los términos alta y baja sulfuración fueron introducidos por Hedenquist (1987) y se refieren al estado de oxidación del azufre; en los de baja sulfuración se presenta como S^{-2} en forma de H_2S (reducido), mientras que en los de alta sulfuración el azufre se presenta como S^{+4} en forma de SO_2 (oxidado). Se pueden

destacar a nivel mundial como depósitos epitermales de alta sulfuración Yanacocha (Perú), y El Indio (Chile); como depósitos de baja sulfuración se destaca Guanajuato (México). En Colombia se menciona que el depósito de Angostura, en la provincia minera de Vetas-California corresponde a un depósito epitermal de alta sulfuración, y en general los depósitos epitermales relacionados con el plutón de farallones son considerados como de baja sulfuración.

- **Depósitos tipo pórfido (pórfidos auríferos y cobre-oro):** estos depósitos se originan por el emplazamiento de cuerpos intrusivos subvolcánicos. Son yacimientos de baja ley (0,5-2 g/t) y alto tonelaje, en los que ocurren eventos mineralizantes asociados a alteración hidrotermal (alteración potásica, fílica y argílica). Con respecto a la mineralogía, en este tipo de depósitos se encuentra oro libre, con partículas de algunos micrones, o como inclusiones en calcopirita, en bornita, o en granos de pirita, que se presentan en estructuras de stockwork (estovercas o enrejados); en venillas o en diseminaciones. A nivel mundial pueden citarse como ejemplo el depósito de Bajo la Alumbraera (Argentina); La Coipa, Cerro Casale y Marte/Lobo (norte de Chile), y Panguna (Papúa, Nueva Guinea). En Colombia se pueden citar el depósito de la Colosa, en Cajamarca (Tolima, Cordillera Central); Murindó (Antioquia), y Acandí (Chocó).
- **Depósitos de sulfuros masivos volcanogénicos - polimetálicos:** Este tipo de depósitos puede estar relacionado con el vulcanismo submarino que ocurre en las dorsales meso-oceánicas en las cuales, por procesos hidrotermales, las sucesiones estratiformes o lenticulares vulcano-sedimentarias que se acumulan se pueden enriquecer en metales como cobre, plomo y zinc, además del oro como subproducto. En Colombia, al occidente de la Falla de Romeral, en la Cordillera Occidental, se presentan ambientes de formación adecuados para la acumulación de este tipo de depósitos; actualmente se reconoce la mina del Roble (Chocó) como un depósito de sulfuros masivos, pero igualmente se destacan los prospectos del Dovio (Valle del Cauca) y Anzá (Antioquia).
- **Depósitos de placer (paleoplaceres y placeres auríferos recientes):** se definen como depósitos minerales, formados en superficie y que se acumulan por concentración mecánica, bien sea por corrientes aluviales, por corrientes marinas, en zonas lacustres o por procesos coluviales, de partículas minerales pesadas (densas) que son inertes a procesos oxidantes minerales, y que proceden de fragmentos líticos meteorizados. Los placeres auríferos recientes son muy importantes en la producción de oro en Colombia, y se destacan los distritos mineros del Bagre (Antioquia), Bajo Cauca-Nechí; las cuencas de los ríos San Juan y Atrato (Chocó); río Naya (Valle del Cauca), y Ataco (Tolima), entre otros. Los paleoplaceres son depósitos de placer auríferos antiguos que fueron depositados en ambientes sedimentarios fluviales deltaicos, bajo condiciones reductoras (atmósfera pobre en oxígeno). En Colombia, las áreas más favorables para la ocurrencia de paleoplaceres corresponden a depósitos de metaconglomerados con oro en la Serranía de Naquén y Caranacoa (Guainía) y Taraira (Vaupés).
- **Otros tipos de depósito:** de acuerdo con la importancia para Colombia, se puede destacar potencialidad en depósitos tipo skarn auríferos, en los cuales se presenta emplazamiento de plutones o de cuerpos intrusivos en rocas sedimentarias carbonatadas, produciéndose metamorfismo de contacto, metasomatismo y acumulación de depósitos de metales (sulfuros de cobre, plomo, zinc; magnetita, molibdenita y oro como subproducto). En Colombia se destaca como un área como potencial Mina Vieja y El Sapo (Tolima), asociada con las calizas de la Formación Payandé.

Figura 4.1: Depósitos auríferos y su relación con la tectónica de placas.

Fuente: Modificado de Lydon (2007).

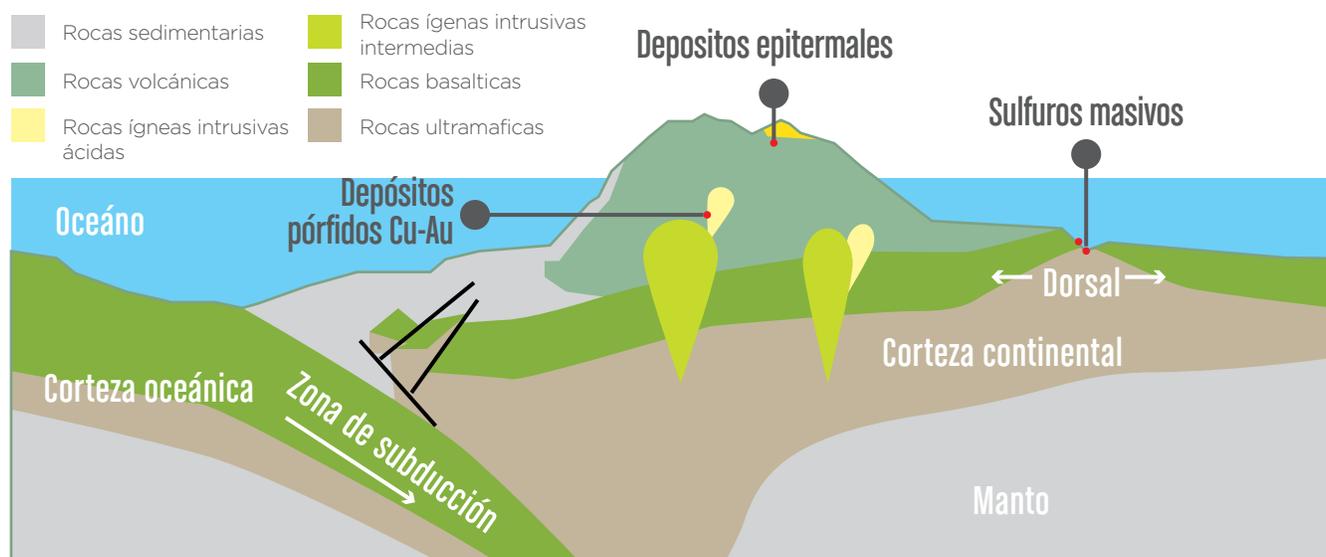
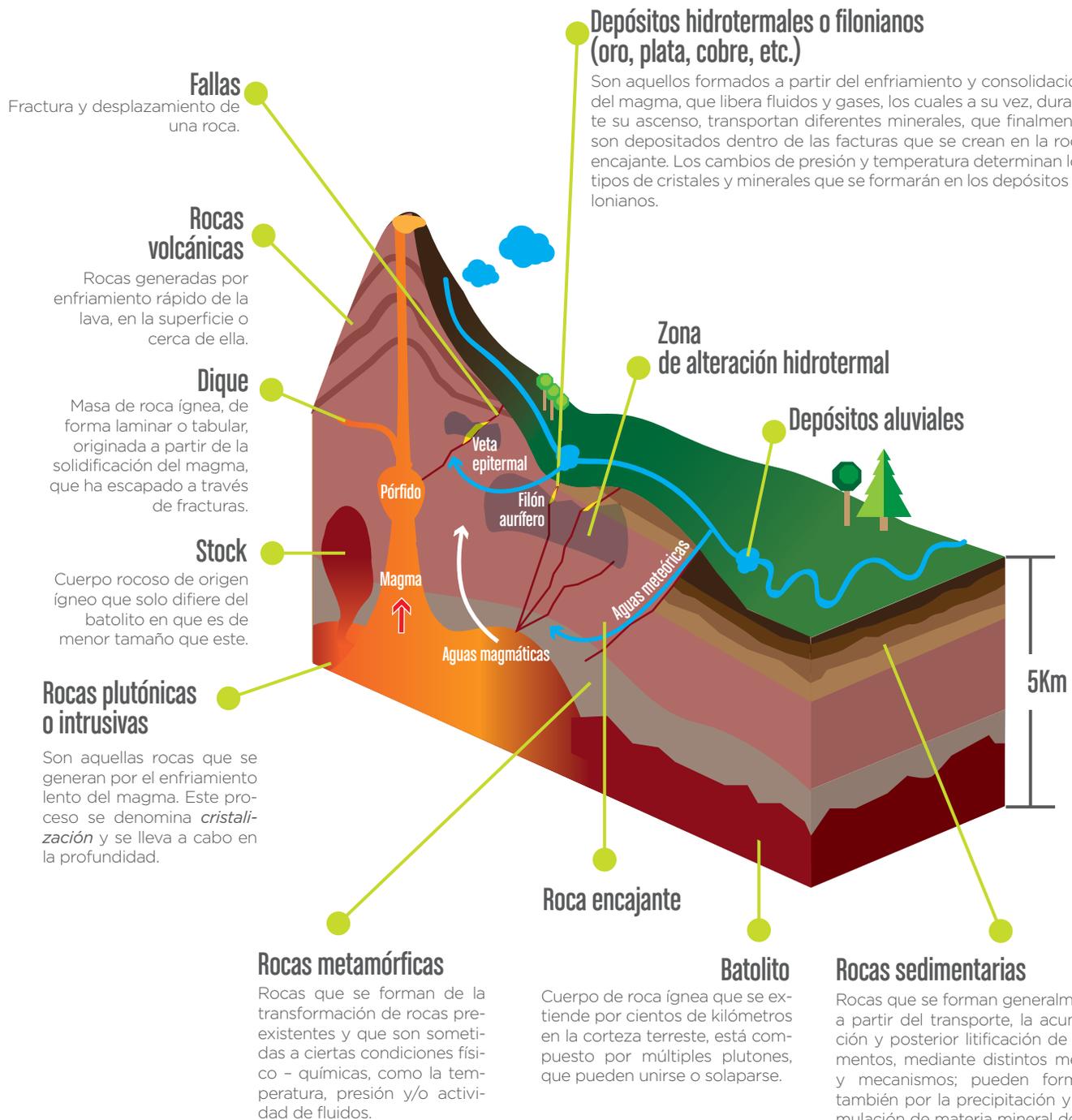


Figura 4.2: Perfil generalizado de la corteza terrestre indicando los principales elementos que intervienen en la formación de depósitos hidrotermales filonianos.

Fuente: Propia.



Los sistemas hidrotermales dan lugar a variados depósitos auríferos los cuales han sido clasificados según la profundidad y las condiciones de presión y temperatura como hipotermales —los más profundos—, mesotermales —los intermedios— y epitermales —los más someros— (Lindgren, 1933).

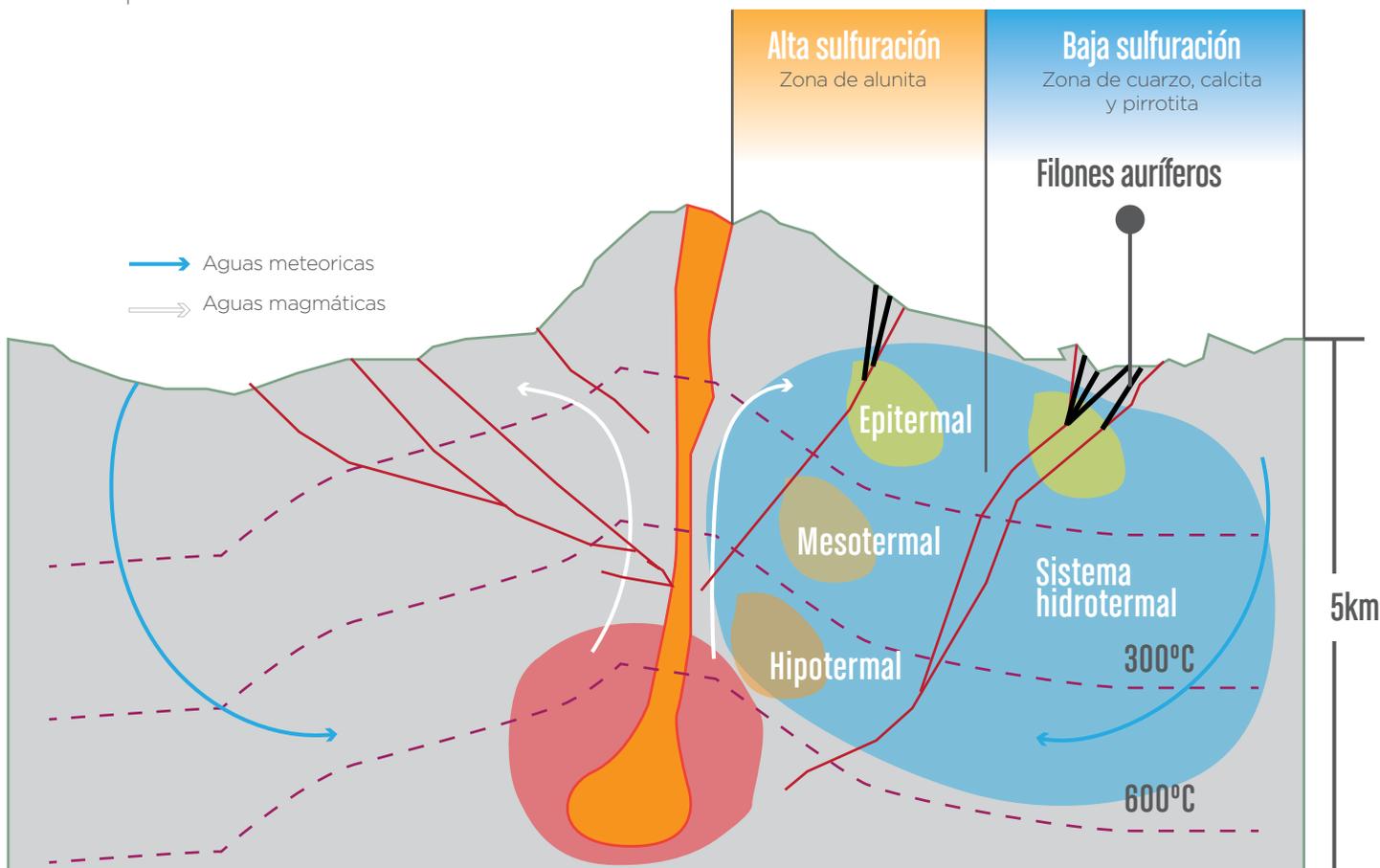
Los depósitos epitermales se han diferenciado según la afinidad geoquímica de los fluidos que intervienen en la mineralización y se distinguen dos tipos principales: aquellos en los que el azufre se encuentra relativamente más oxidado (SO_2), conocidos como de alta sulfuración, y aquellos en los cuales el azufre se encuentra más reducido (HS , H_2S), conocidos como de baja sulfuración (Hedenquist, 1987). Cada uno de ellos se encuentra en una posición relativa con respecto a la fuente termal, y tiene composición mineral y características estructurales propias.

BAJA SULFIDACIÓN pH - Neutro, meteórico	ALTA SULFIDACIÓN pH - Ácido, magmático
Vetas espacio - abierto principalmente.	Mineral diseminado dominante.
Stockwork son comunes.	Mena de reemplazamiento común.
Menor diseminación de minerales.	Vetas subordinadas, localmente dominantes.
Menor reemplazamiento de minerales.	Stockwork menor.

Fuente: White and Hedenquist (1995).

Figura 4.3: Perfil general de los depósitos auríferos de tipo hidrotermal (aproximación al ambiente de depósito aurífero en Andes (Antioquia).

Fuente: Propia.



4.1.2. IDENTIFICACIÓN DE MINERALES EN EL FRENTE DE MINA

Figura 4.4: Diagrama frente de mina unidad geometalúrgica 1.

Fuente: Propia.

BOCAMINA

La entrada a una mina, generalmente un túnel horizontal.



FRENTE DE MINA

Zona en la que se trabaja en la perforación y extracción del material.

FILÓN

Relleno de una fractura con cuarzo, minerales metálicos y metales preciosos.

**SULFUROS METÁLICOS
ENRIQUECIDOS CON ORO**

**ROCA ENCAJANTE
SILICIFICADA**

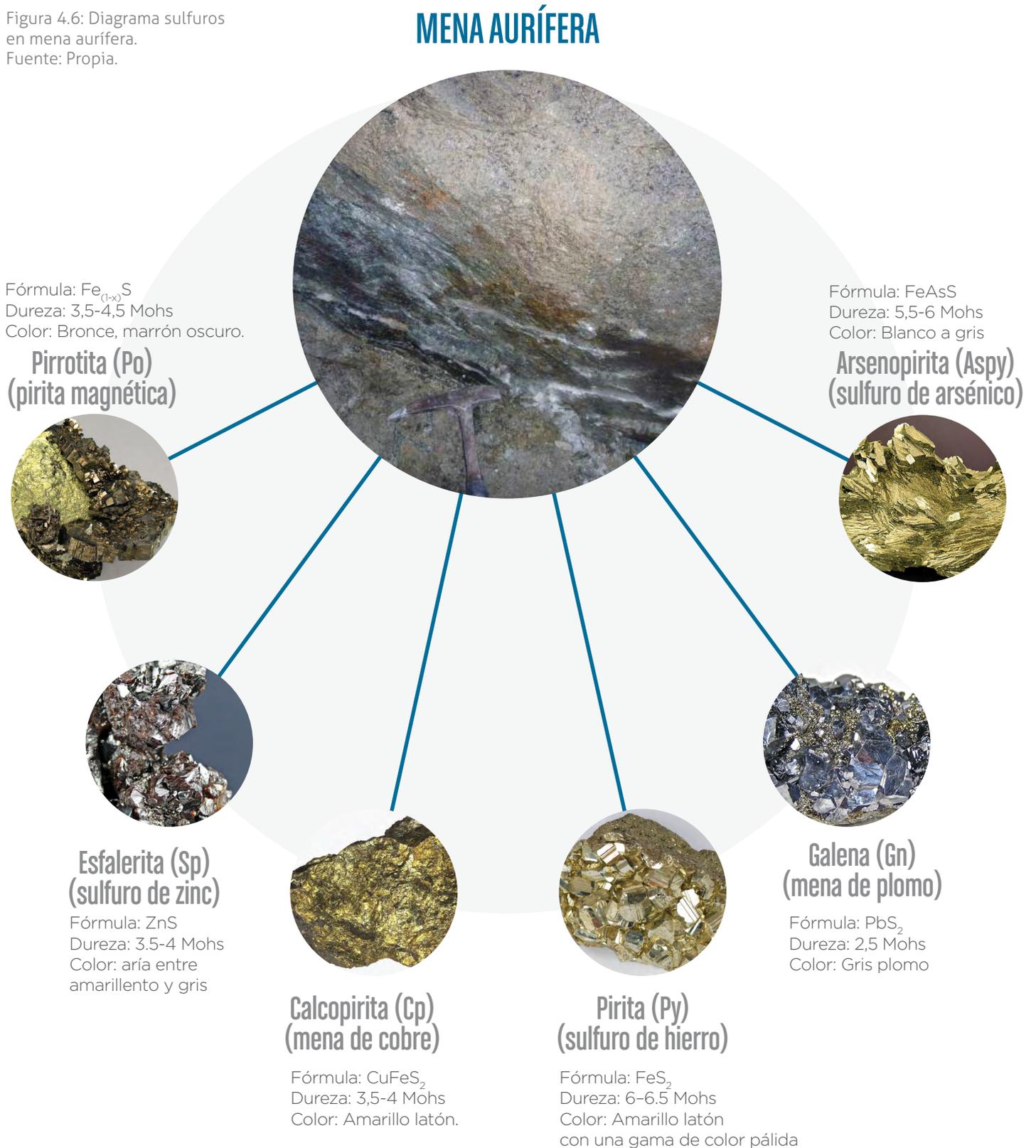


Figura 4.5: Diagrama frente de mina unidad geometalúrgica 2.
Fuente: Propia.



4.1.3. SULFUROS METÁLICOS ASOCIADOS A LA MENA

Figura 4.6: Diagrama sulfuros en mena aurífera.
Fuente: Propia.



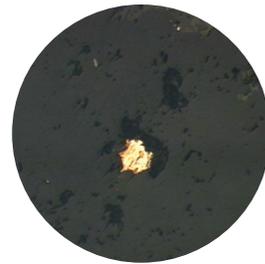
4.1.4. TIPOS OCURRENCIA DE ORO

Figura 4.7: Tipos de ocurrencia de oro.
Fuente: Propia.

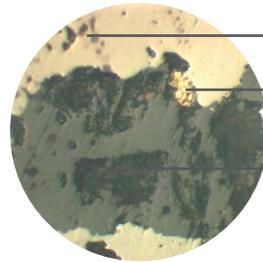
OCURRENCIA DE ORO EN LA MENA

Indica la forma, el tamaño y la estructura como se presenta el oro en la mineralización

Los tipos de ocurrencia de oro encontrados con mayor frecuencia en la zona minera de Andes son oro asociado a arsenopirita y como relleno de fracturas de arsenopirita.

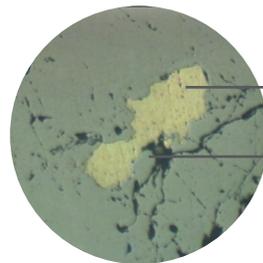


ORO LIBRE
(fácil liberación)



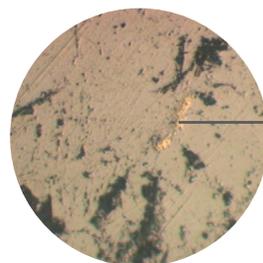
Py
Au
Aspy

ORO ASOCIADO
A MINERALES



Au
Aspy

ORO INCLUIDO
EN MINERALES



Au

ORO EN RELLENO
DE FRACTURAS

4.2. GEOLOGÍA Y MINERALOGÍA DE LA ZONA MINERA DE ANDES (ANTIOQUIA)

4.2.1. GEOLOGÍA REGIONAL

El marco tectónico regional coincide con el emplazamiento de un arco continental en la margen oeste de la Cordillera Occidental durante el Neogeno, conocido como el arco Chocó-Panamá. El Batolito de Farallones representa la evolución al oriente del arco magmático, que al formarse intruye rocas sedimentarias e ígneas pertenecientes al grupo Cañas Gordas.

El basamento está constituido por rocas sedimentarias pelíticas como limolitas y arenitas deformadas tectónicamente, las cuales están clasificadas dentro de la nomenclatura estratigráfica como pertenecientes al miembro Urrao, de la Formación Penderisco, del grupo Cañas Gordas. Esta unidad durante el proceso orogénico fue intruida por rocas magmáticas calcalcalinas conformadas por el Batolito de Farallones (Calle, 1980) y, posteriormente, por cuellos volcánicos y subvolcánicos de diatremas de composición dacítica.

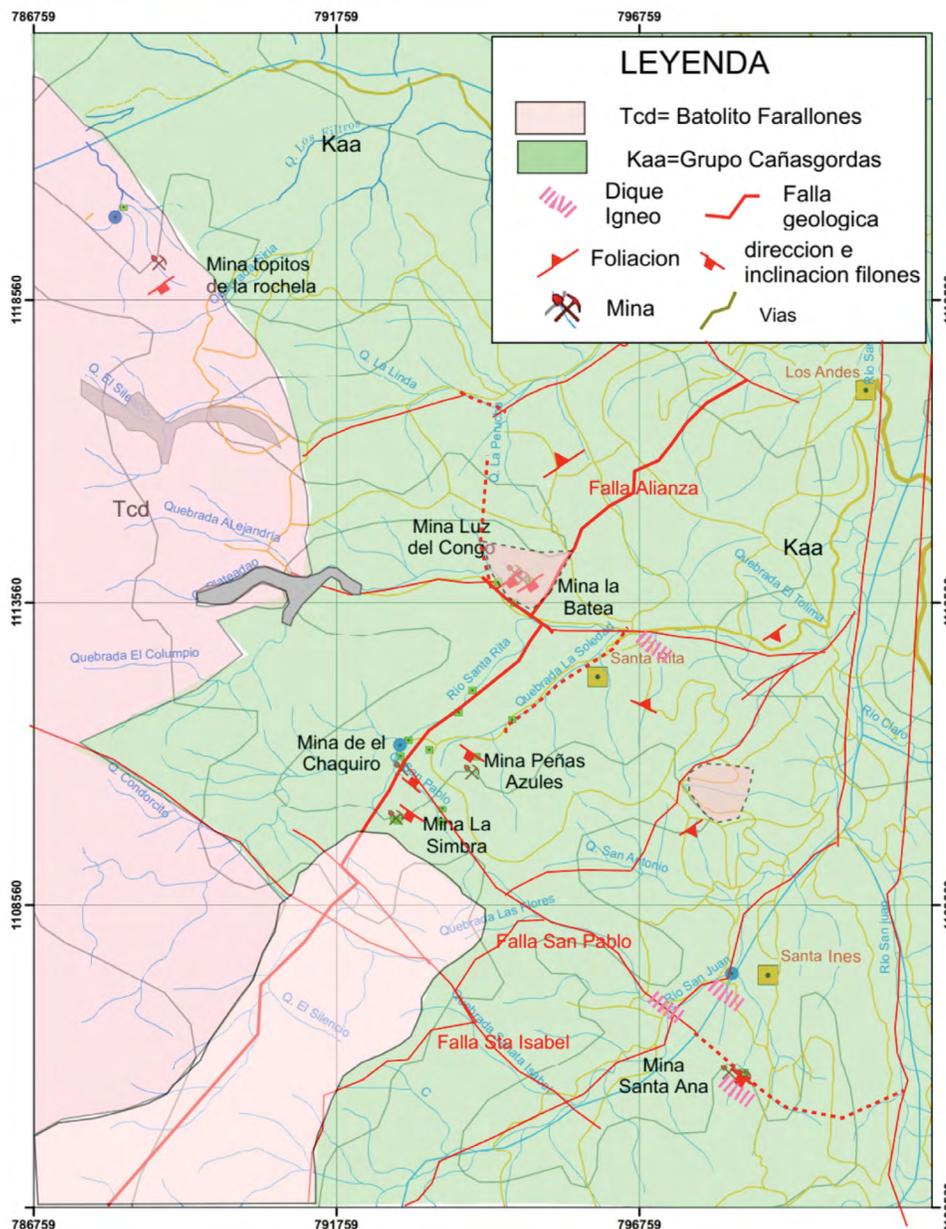


Figura 4.8: Mapa geológico generalizado del área.

Fuente: Modificado de Ingeominas (2004) y López y Pulgarín (1987).

4.2.2. GEOLOGÍA LOCAL Y MINERALOGÍA DE LA MENA

4.2.2.1. GEOLOGÍA LOCAL

Las rocas que afloran en el área son esencialmente rocas sedimentarias de grano fino como lodolitas carbonosas, limolitas claras y arenitas de cuarzo, las cuales presentan fuertes procesos de deformación dinámica y exhiben notable foliación y lustre. Estratigráficamente han sido relacionadas con el miembro Urrao de la Formación Penderisco, pertenecientes al grupo Cañas Gordas. Estas rocas representan el basamento rocoso en el territorio.

En contacto discordante y fallado, principalmente, se encuentran las rocas magmáticas granodioríticas del Batolito de Farallones el cual intruye las rocas sedimentarias, generando una aureola de contacto con fuerte silicificación hasta formar cornubianas. Estas rocas afloran al oeste y al sur del área. En la zona de contacto entre las rocas sedimentarias e ígneas, y particularmente en la intersección de fallas, se presentan filones de cuarzo ricos en sulfuros y oro.

Figura 4.9: Alteraciones Geología Local. Fuente: Propia.



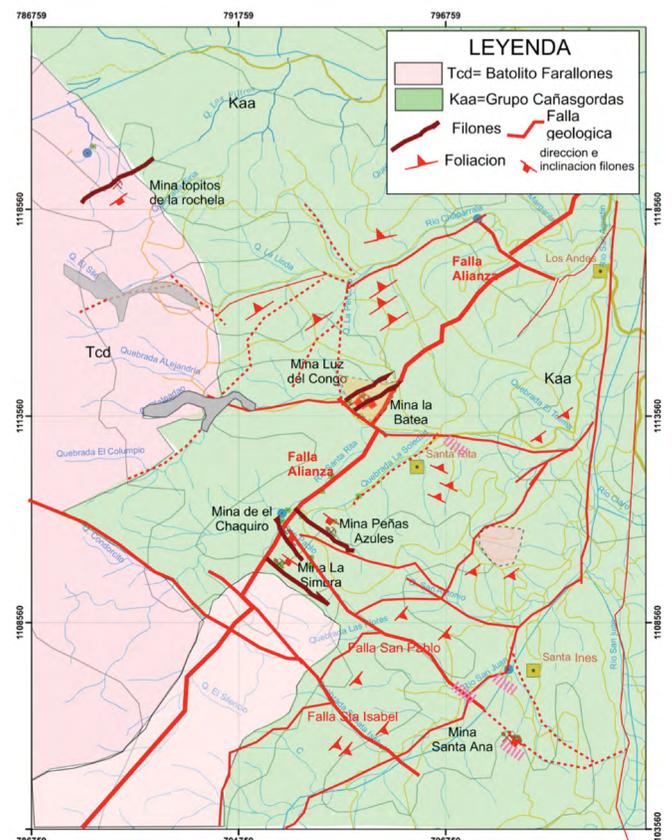
Figura 4.10: Mapa geológico estructural del área de Andes. Fuente: Modificado de Ingeominas (2004) y López y Pulgarin (1987).

4.2.2.2. GEOLOGÍA ESTRUCTURAL

La disposición estructural de las rocas está dominada por un sistema de fallas de rumbo en dirección noreste, entre las que sobresale la Falla de La Alianza, la cual se traza a lo largo del río Santa Rita. Este sistema de fallas se entrecorta con otro sistema de fallas en dirección noroeste y este-oeste, las cuales desplazan los bloques tectónicos en sentido sinextral.

Las fallas más notables de este sistema son las de San Pablo y Santa Isabel. En las zonas de intersección de estos sistemas se presenta la principal mineralización aurífera, con lo cual se deduce la fuerte influencia estructural en el proceso mineralizante.

La Falla de La Alianza es particularmente importante porque define el límite entre dos cuerpos rocosos de disposición estructural y disposición de filones auríferos diferentes. Al norte de la falla la inclinación de la foliación de las rocas metasedimentarias es al noroeste y los filones tienen dirección noreste inclinados al SE, mientras que al sur, sobre la quebrada La Soledad, las rocas foliadas tienen dirección NW con inclinación al sureste, y los filones auríferos tienen dirección NW con inclinación al SW.



4.2.2.3. ALTERACIÓN HIDROTHERMAL

En la zona de estudio se presentan varios fenómenos de cambios composicionales de las rocas debidos a los procesos mineralizantes o metalogenéticos de Fe, Cu, Pb, Zn y Au.

La intrusión del Batolito de Farallones generó metamorfismo de contacto en las rocas sedimentarias encajantes sobre las cuales se desarrollaron procesos de silicificación y conformación de cornubianas.

Los procesos de mineralización aurífera dentro del Batolito de Farallones desarrollan en la roca encajante alteración hidrotermal con presencia de carbonatos de calcio, clorita y epidota típicos de alteración propilitica. Esta alteración se presenta esencialmente en la mina Topitos de la Rochela.

Las rocas sedimentarias en las áreas mineralizadas a lo largo de los filones, generalmente en zonas de cizalla, presentan franjas con intensa silicificación en la roca encajante y se caracterizan por su particular dureza y fracturamiento de color oscuro típico, con aspecto también típico de cornubiana.

Figura 4.11: Alteración hidrotermal. Fuente: Propia.



Silicificación intensa de roca caja



Silicificación intensa de roca caja

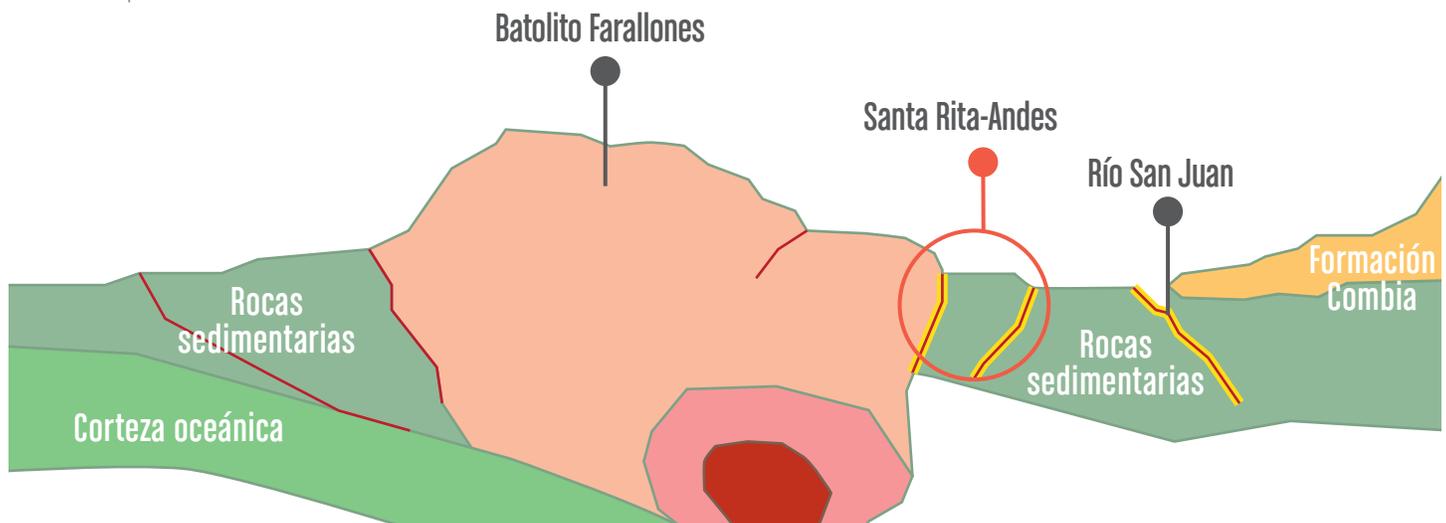
4.2.2.4. METALOGÉNESIS Y MINERALIZACIÓN AURÍFERA

La mineralización aurífera tiene lugar en el borde oriental del Batolito de Farallones, en cercanía a las zonas de contacto con rocas metasedimentarias del grupo Cañas Gordas, especialmente concentrado en las zonas de fallamiento intenso. En esta franja de interacción los fluidos hidrotermales derivados de eventos magmáticos tardíos emplazados en los bordes del Batolito de Farallones permitieron la removilización de metales y oro a través de fracturas profundas orientadas en dirección NE y EW, conformando filones de cuarzo y sulfuros ricos en oro.

El yacimiento está conformado por filones subparalelos y lenticulares de cuarzo y sulfuros polimetálicos, entre los que sobresalen esencialmente arsenopirita y pirrotina, con cantidades menores de calcopirita, esfalerita y galena. La composición mineralógica de la mena y la relación entre los sulfuros presentes indica un origen epitermal de baja sulfuración.

Por lo general, los filones son tabulares formados en zonas de cizalla preexistentes, de comportamiento dúctil-frágil y frecuentemente de forma lenticular con fallamiento interno. Las paredes exhiben zonas de fuerte silicificación e intenso multifracturamiento distribuido irregularmente.

Figura 4.12: Perfil de modelo metalogenético. Fuente: Propia.



La zona de cizalla puede abarcar de 1 a 3 m de espesor y son frecuentes allí los fragmentos de roca embebidos en las vetas, especialmente cuando se presenta fallamiento de rumbo subparalelo tipo dúplex y estructura lenticular en las fallas de transferencia de espesor entre 10 y 80 cm, que obedecen a un control estructural en dirección N50-70E inclinados al este a 45° en el sector norte y N40-70W, e inclinados 70-90° en dirección SW aquellas minas ubicadas al sur de la Falla de Santa Rita.

Figura 4.13: Relleno de fracturas. Fuente: Propia.



Fracturamiento y relleno en zonas de cizalla

Fracturamiento y relleno en zonas de cizalla

Asimismo, se han identificado dos tendencias de mineralización: la primera y más importante, relacionada con rocas ígneas como roca encajante, involucra la precipitación de pirrotita y arsenopirita con contenidos variables de pirita y cuarzo; a este grupo pertenecen las minas del Congo, La Batea Santa Ana y La Rochela.

La mena contiene cantidades importantes de cuarzo y tiene aportes significativos de calcitas por la influencia de la roca encajante de origen ígneo o diques magmáticos que exhiben alteración propilítica rica en carbonatos. En la

mina La Rochela la mineralización es esencialmente de cuarzo, con cantidades de venas y venillas de sulfuros ricos en arsenopirita y galena.

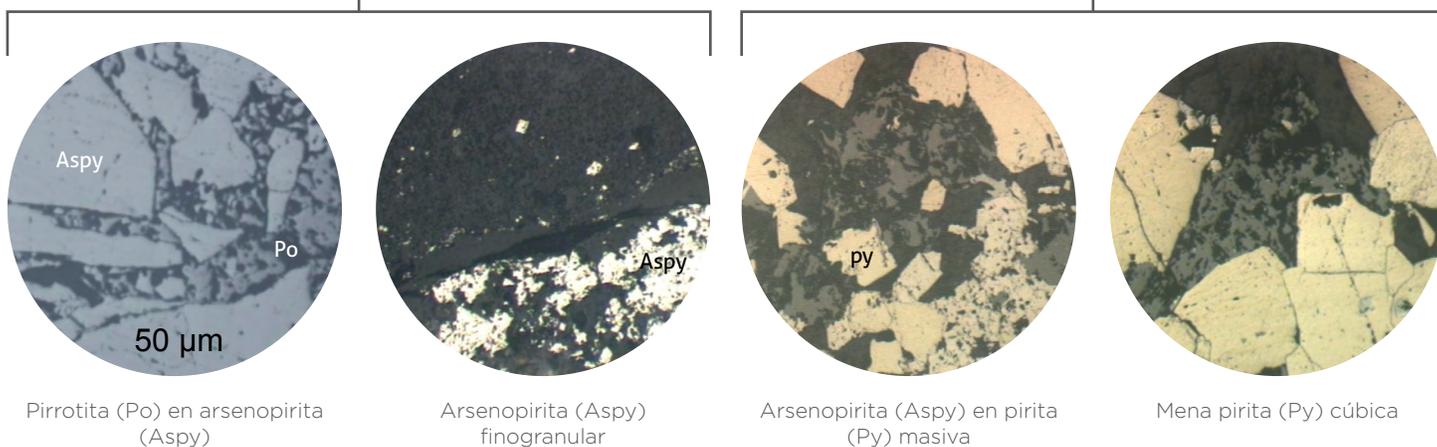
La segunda tendencia mineralizante, asociada a rocas metasedimentarias fuertemente falladas, corresponde a una mineralización dominante de pirita primaria alojada en amplias zonas de cizalla con precipitación tardía de pirrotita y arsenopirita de menor proporción, acompañada de pequeñas cantidades de calcopirita y esfalerita. Esta mineralización contiene cantidades bajas de cuarzo, y presenta ausencia de carbonatos y altos contenidos de pirita framboidal y jarosita. Por lo general están encajadas en rocas metasedimentarias fuertemente silicificadas. A este tipo de mineralización corresponden las minas de Peñas Azules, La Simbra y El Chaquiro-La Sierra, localizadas en la cuenca del río Santa Rita.

Figura 4.14: Tipos de mineralización.

Fuente: Propia.

La tendencia de mineralización 1 corresponde a la unidad geometalúrgica 1.

La tendencia de mineralización 2 corresponde a la unidad geometalúrgica 2.



Pirrotita (Po) en arsenopirita (Aspy)

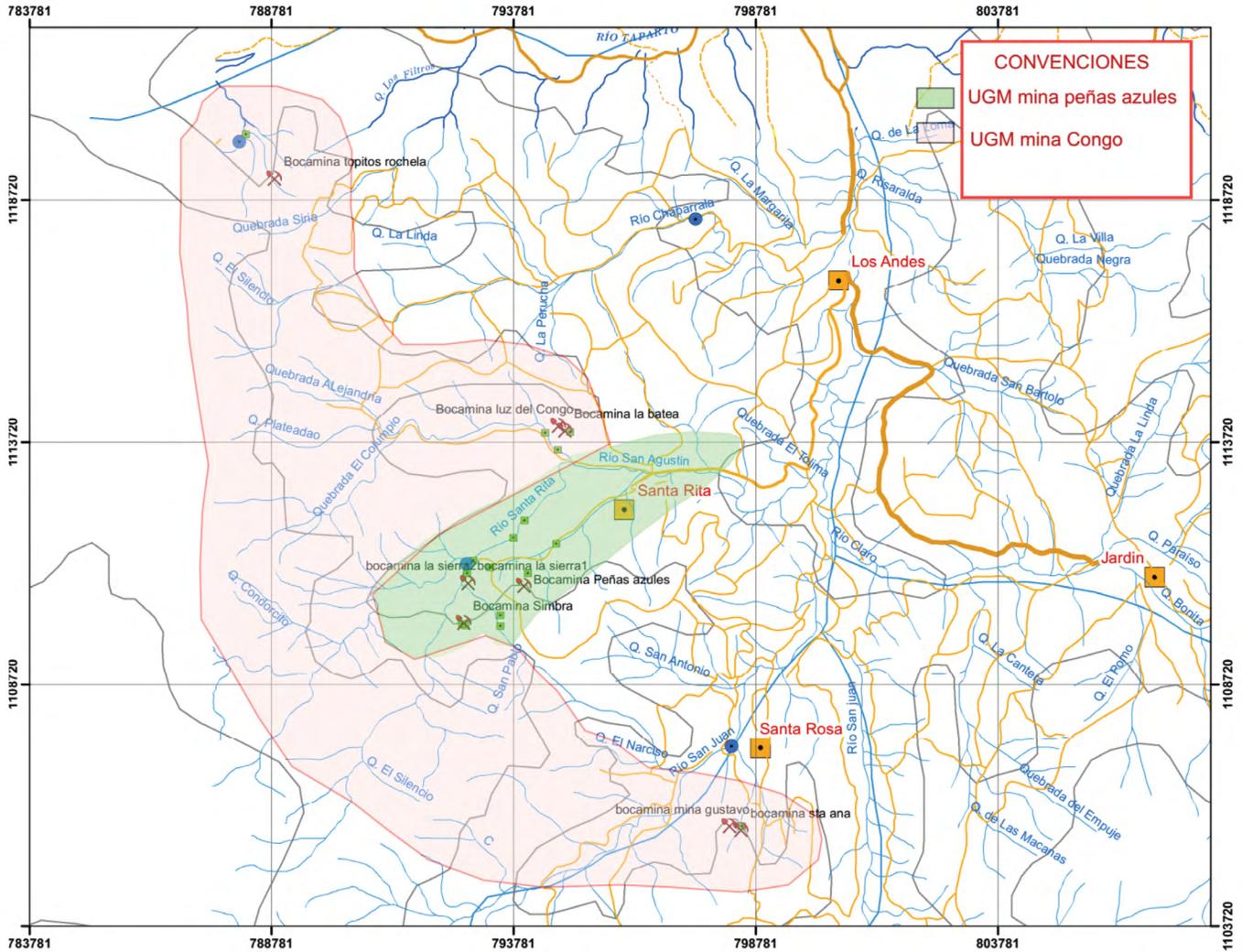
Arsenopirita (Aspy) finogranular

Arsenopirita (Aspy) en pirita (Py) masiva

Mena pirita (Py) cúbica

Las tendencias de mineralización observadas pueden ser sectorizadas. Sobre la cuenca del río Santa Rita se concentran las minas descritas en la segunda tendencia de mineralización y estas corresponden a menas auríferas de mayor complejidad que las minas alejadas de la cuenca descritas en el primer grupo. Cada grupo puede representar una unidad geometalúrgica (UGM), definida como el conjunto de propiedades mineralógicas, texturales, físicas y químicas de un yacimiento que repercuten sobre el tratamiento metalúrgico. Cada grupo descrito puede representar una UGM, la cual a su vez puede definir una ruta metalúrgica.

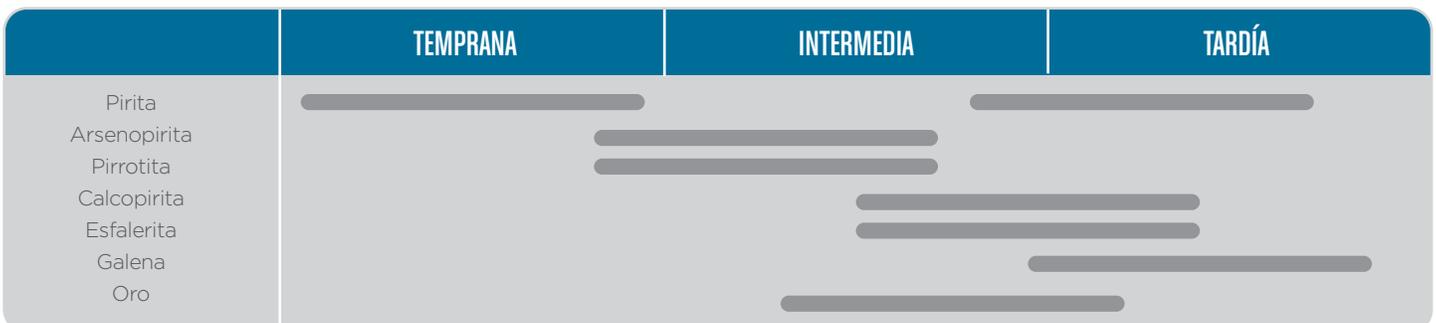
Figura 4.15: Mapa de sectorización geometalúrgica de minas (Unidades geometalúrgicas).
Fuente: Propia.



4.2.2.5. SECUENCIA PARAGENÉTICA

La metalogénesis se inicia con un evento primario de cristalización de pirita (temprana) y cuarzo, esencialmente, seguido de un evento mineralizante rico en arsenopirita, pirrotita y pirita con cantidades menores de pirita arseniosa, esfalerita y calcopirita; posteriormente sigue una fase de enriquecimiento de oro y una fase tardía de relleno y remplazamiento de arsenopirita por galena, que ocurre únicamente en la mina de Peñas Azules.

Figura 4.16: Secuencia paragenética.
Fuente: Propia.



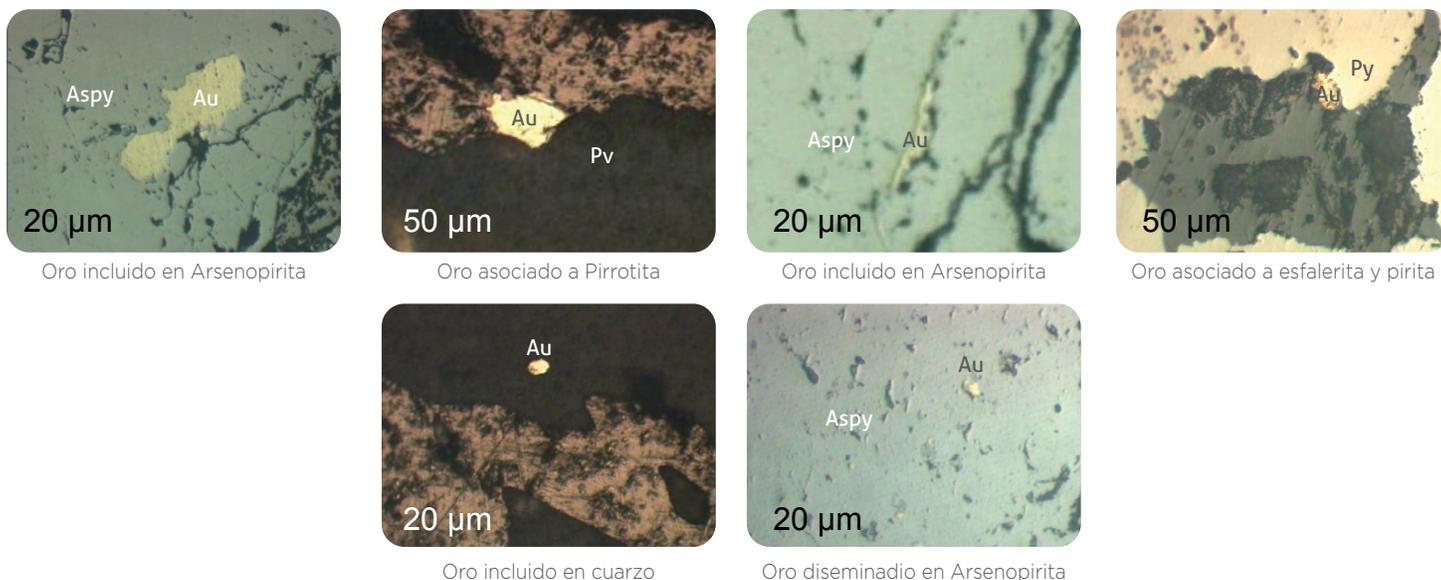
4.2.2.6. OCURRENCIA DE ORO EN LA VETA

La mineralización aurífera se encuentra directamente asociada con la presencia de arsenopirita, la cual regularmente se encuentra en bordes de crecimiento de cristales de arsenopirita y en bordes de arsenopirita en contacto con cuarzo, esfalerita o pirrotita; también ocurre en zonas de fractura y poros dentro de arsenopirita.

El tamaño de grano varía entre 300 y 50 μm , considerando su longitud máxima (L_{max}); sin embargo, teniendo en cuenta el diámetro equivalente de las partículas ($D_{2\text{eq}}$), el rango de tamaño varía entre 150 y 20 μm . Es poco frecuente encontrar partículas de oro menores a 20 μm . Es importante resaltar que en las zonas de mineralización del sector de Peñas Azules y La Simbra el tamaño de grano es significativamente menor, y varía entre 100 y 20 μm .

Figura 4.17: Imágenes de microscopío ocurrencia de oro en la veta, Andes (Antioquia)

Fuente: Propia.



4.2.2.7. LIBERACIÓN DE SULFUROS

Teniendo en cuenta las características mineralógicas y el estado tecnológico, se seleccionaron dos plantas de beneficio piloto para realizar los estudios mineralógicos y las pruebas de beneficio, cubriendo las tendencias de mineralización identificadas en la zona.

La identificación de minerales en cabeza de proceso de la **tendencia de mineralización 1** indica que la mena está compuesta principalmente por sulfuros polimetálicos, representados en un 72,8 % en peso, donde la arsenopirita representa el 45 % en peso de la distribución, equivalente a 211 partículas observadas; le siguen la pirita con el 18,4 %, incluyendo la porción de pirita arseniosa; luego la pirrotina con un 4 %; la calcopirita con el 0,9 %, y la esfalerita en pequeñas cantidades. La ganga representa el 27,2 % restante y está compuesta por cuarzo en un 25,5 %, seguido de carbonato, con un 1,6 %.

La distribución general del tamaño de grano de las partículas resultantes de la trituración de la mena, con D80 de 1,4 mm (ASTM14 mesh), muestra una liberación acumulada de sulfuros del 96 %, lo que indica además que se encuentra un mayor número de sulfuros libres en las fracciones entre 600-1000 y 150-300 μm , con el 25 y el 19,5 % respectivamente. Los rangos donde se acumulan más sulfuros asociados a ganga son 450-600 y 50-150 μm , pero estos solo representan el 3 % del total.

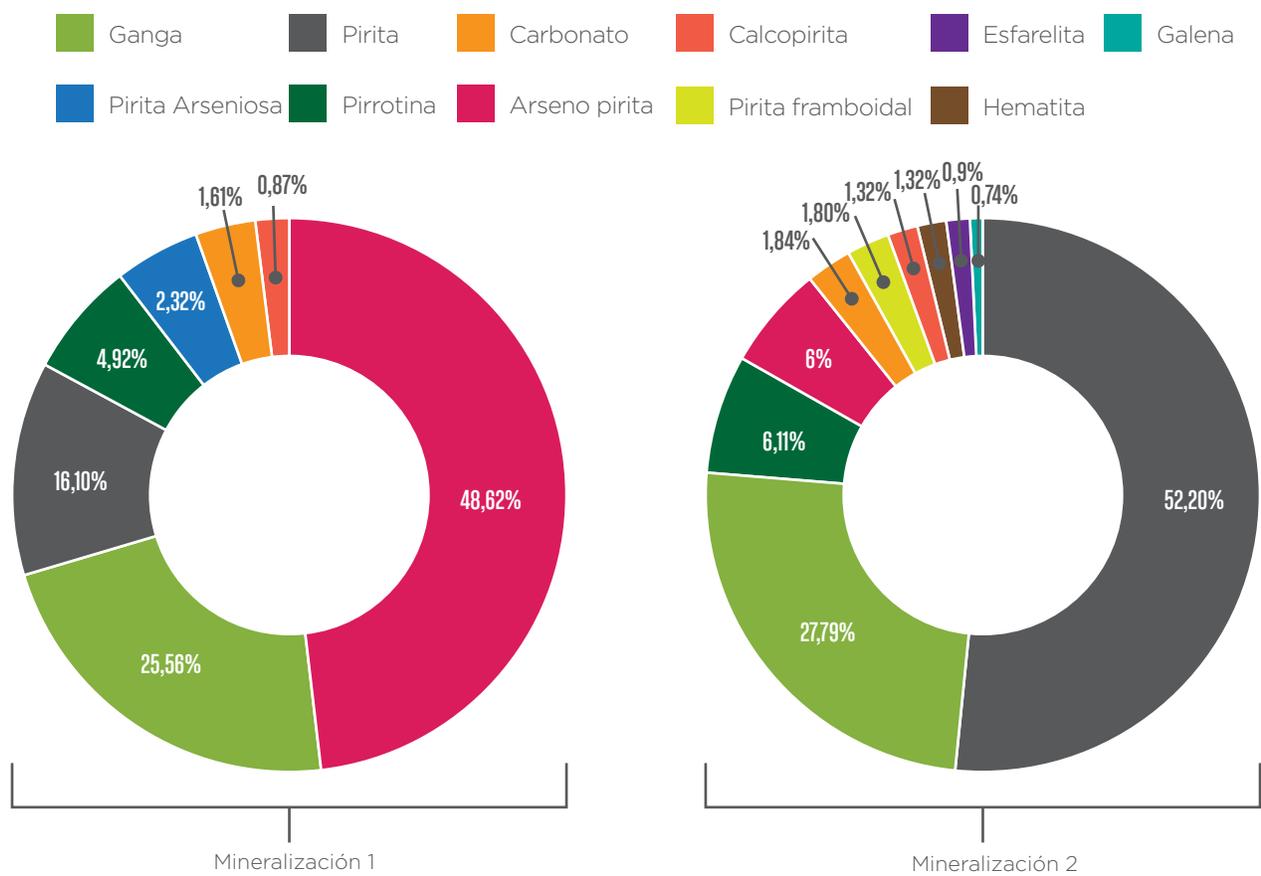
La mayor proporción de sulfuros libres se encuentra en la fracción 150-300 μm , con un 12 %, para un total del 44 % acumulado. Las partículas entre 150 y 300 μm corresponden al más alto porcentaje de granos libres.

La cabeza de proceso de la planta de la **tendencia de mineralización 2** contiene pirita en un 52 %, seguida de arsenopirita y pirrotina con el 6 % y el 6,1 % respectivamente. En menor proporción se halla calcopirita, con el 1,3 %, galena, con el 7 %, y pirita framboidal, con el 1,8 %. Esta última es importante debido a su reactividad durante el beneficio.

El grado de liberación de sulfuros entre las dos menas estudiadas también es significativo: mientras en la mena de la mineralización 1 el porcentaje acumulado de partículas liberadas alcanza el 99 %, en la mineralización 2 solo alcanza el

Figura 4.18: Diagrama rango de composición de la mena en Andes (Antioquia)

Fuente: Propia.



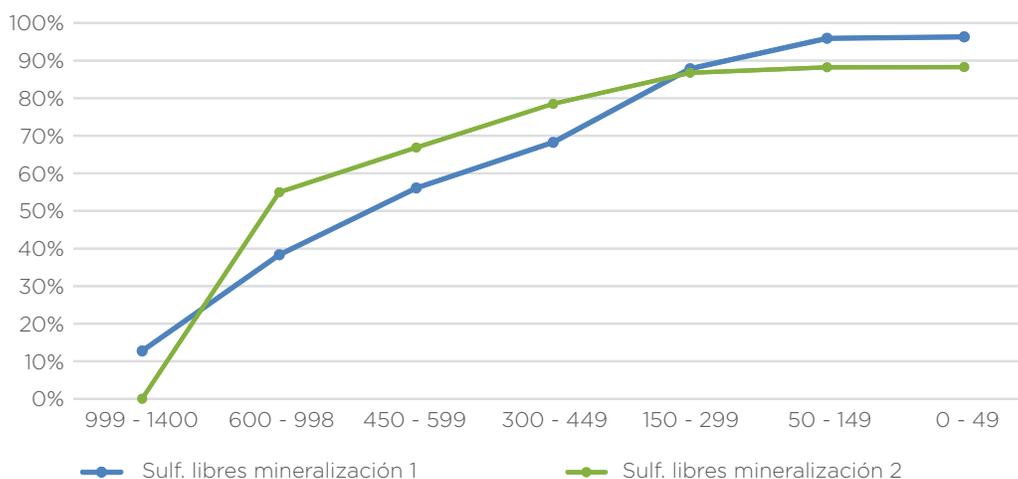
88 %. Sin embargo, se puede afirmar que por debajo de 150 μm cerca del 90 % de los sulfuros se hallan liberados.

A diferencia de la mineralización 1 la tasa de liberación de sulfuros en la mineralización 2 es más alta, en rangos de tamaño mayor; esto se explica por el alto contenido de pirita de gran tamaño en la mena, que ya presenta algún grado de oxidación y multifracturamiento. Esto también explica la gran cantidad de sulfuros mixtos.

Por otro lado, la tasa de liberación de sulfuros en la mineralización 2 disminuye en los rangos de menor tamaño y no alcanza la liberación total debido a la presencia de gran cantidad de partículas de pirita diseminadas en la ganga.

Figura 4.19: Liberación de sulfuros en mena de Andes (Antioquia)

Fuente: Propia.



4.2.2.8. TAMAÑO DE PARTÍCULAS DE MENA Y ORO

La ocurrencia de oro en la cabeza de proceso de la mineralización 1, para un total de 113 granos hallados, indica que cerca del 75 % en peso de las partículas de oro se encuentran libres, principalmente en el rango de 50 a 150 μm , con un 64 %. Un segundo grupo de partículas se encuentra asociado a arsenopirita, correspondiente a un 18 % en los rangos de 50 a 150 μm . Una muy pequeña fracción se halla incluida en arsenopirita y corresponde a partículas inferiores a 50 μm .

En la planta de la mineralización 2 cerca del 65 % del oro se encuentra libre, mientras el 36 % se encuentra asociado con arsenopirita. Cerca del 95 % del oro se encuentra en el rango menor a 150 μm y el 5 % restante se encuentra asociado arsenopirita, esencialmente, y secundariamente a esfalerita y ganga de cuarzo.

Figura 4.20: Distribución general del oro en planta mineralización 1.

Fuente: Propia.

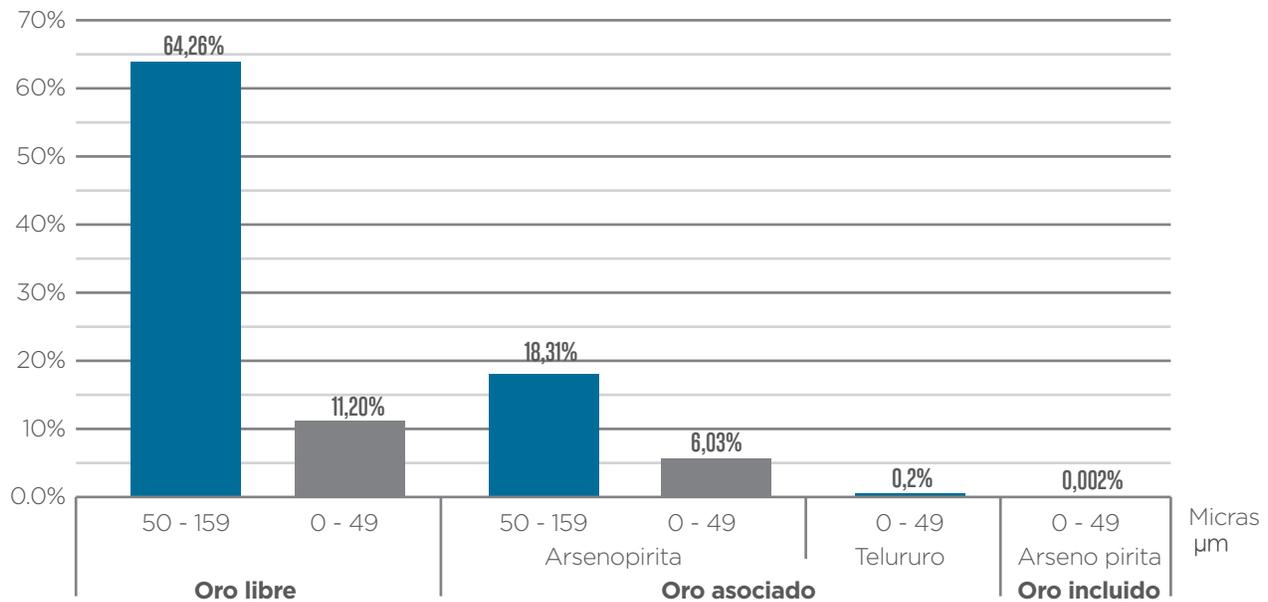
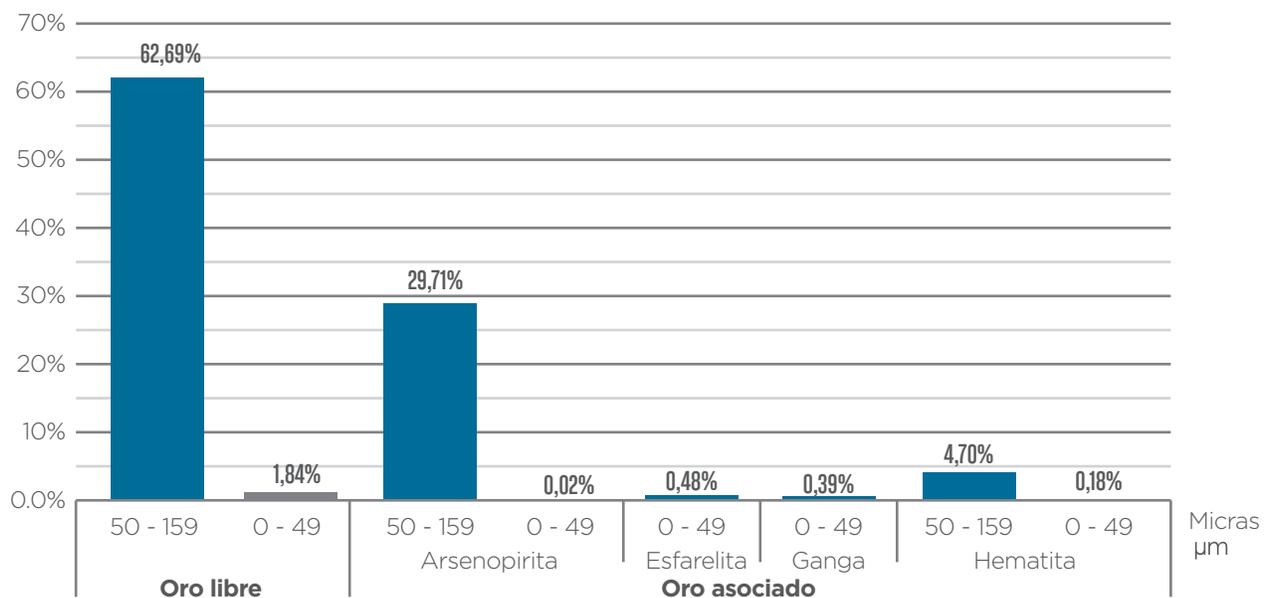


Figura 4.21: Distribución general del oro en planta mineralización 2.

Fuente: Propia.



La distribución de tamaño de oro en términos de frecuencia indica que la mayor proporción de partículas de oro se encuentran en el rango de 30 a 80 μm (D2eq) tanto para la tendencia de mineralización 1, donde se hallaron más de 120 granos de oro, como para la tendencia 2. En este sentido, los rangos de tamaño se considera son comparables, a pesar de que solo se hallaron 23 granos en la mineralización 2.



4.3. CONSIDERACIONES EN GEOLOGÍA Y MINERALOGÍA

- La mineralización aurífera tiene lugar en el borde oriental del Batolito de Farallones, en cercanía a las zonas de contacto con rocas metasedimentarias del grupo Cañas Gordas, especialmente concentrado en las zonas de fallamiento intenso en dirección noroeste.
- Los procesos de mineralización aurífera desarrollan en la roca encajante alteración hidrotermal con presencia de carbonatos de calcio, clorita y epidota típicos de alteración propilítica. También se presenta silicificación en zonas adyacentes a los filones, especialmente en las rocas metasedimentarias.
- Se han identificado dos tendencias de mineralización, la primera corresponde con filones ricos en pirita y cantidades menores de pirrotina y arsenopirita encajados en rocas metasedimentarias; a este grupo pertenecen las minas localizadas a lo largo de la cuenca del río Santa Rita. La segunda tendencia corresponde a filones de precipitación de pirrotina y arsenopirita, con contenidos variables de pirita y cuarzo, y se encuentran encajados en rocas ígneas.
- La composición mineralógica de las minas de la cuenca del río Santa Rita contiene gran cantidad de sulfuros, especialmente pirita y pirita framboidal, con pirrotina y arsenopirita en menor proporción; las minas de las zonas periféricas contienen mayor cantidad de arsenopirita y pirrotina. Las primeras son más reactivas, generan drenaje ácido y afectan la cianuración, mientras que las segundas contienen menor cantidad de sulfuros y aportes de carbonato que favorecen la cianuración.
- La mineralización aurífera se encuentra directamente asociada con la presencia de arsenopirita. El tamaño de grano varía entre 300 y 50 μm , considerando su longitud máxima (L_{max}); sin embargo, teniendo en cuenta el diámetro equivalente de las partículas ($D_{2\text{eq}}$), el rango de tamaño varía entre 150 y 20 μm .

- La liberación de sulfuros se favorece en las primeras etapas de molienda en las menas con mineralogía similar a la mina Peñas Azules, pero decrece en la medida en que disminuye el tamaño de grano; por el contrario, en las menas con mineralogía similar a la mina del Congo la liberación de sulfuros es aproximadamente constante a medida que se reduce el tamaño de grano.

Transporte del material de mina por medio de un sistema de poleas instalado entre la mina y la planta de beneficio.
Fotografía tomada por: Jaime Mojica / Servicio Geológico Colombiano

5. ASPECTOS METALÚRGICOS

En este capítulo se muestran los diferentes aspectos metalúrgicos que se deben tener en cuenta, partiendo desde el conocimiento de las fases que comprende el proceso de beneficio y los principales equipos que realizan las operaciones unitarias.



5.1. FUNDAMENTOS TEÓRICOS: PROCESO BENEFICIO METALÚRGICO

5.1.1. BENEFICIO DE MINERALES EN PLANTA

CONTROL MINERALÓGICO



Composición mineralógica, liberación de sulfuros y oro, y tamaño de partículas.

Identificación de minerales livianos y pesados, tamaños de partículas y ocurrencia de oro.

Identificación de sulfuros. Proporción de minerales flotados, presentación de oro y ocurrencia de oro en colas de flotación.

Identificación de oro no cianurado y de recubrimientos.

Determinación de oro en residuos sólidos. Formación de sulfatos y drenaje ácido (capa rosa). Minerales residuales en colas.

Figura 5.1: Diagrama de procesos general de beneficio en planta

Fuente: Propia.

TRITURACIÓN Y MOLIENDA

Preparación del material previo a la extracción de oro. Reducción de tamaño y liberación de sulfuros.



Trituradora de quijadas



Trituradora de martillos



Molino de bolas

CONCENTRACIÓN GRAVIMÉTRICA

Diferenciación de partículas y concentración por gravedad y movimiento. Las colas están generalmente compuestas por material que pueden contener partículas muy finas de minerales pesados, entre ellas partículas de oro minúsculo.



Mesa Wilfley



Concentrador de impulsos (JIG)

FLOTACIÓN

Separación selectiva de partículas sólidas de una fase líquida, por medio de burbujas de aire.



Celdas de flotación



Reactivos

CIANURACIÓN

Proceso para separar las partículas de oro de los sulfuros asociados por medio de la lixiviación con cianuro.



Tanques agitadores



Separación sólido - líquido



Merril Crowe

FUNDICIÓN



Crisol

RESIDUOS SÓLIDOS TRATAMIENTO DE AGUAS

Tratamiento de las soluciones resultantes de las operaciones unitarias, las cuales deben ser clarificadas para su recirculación o desecho.

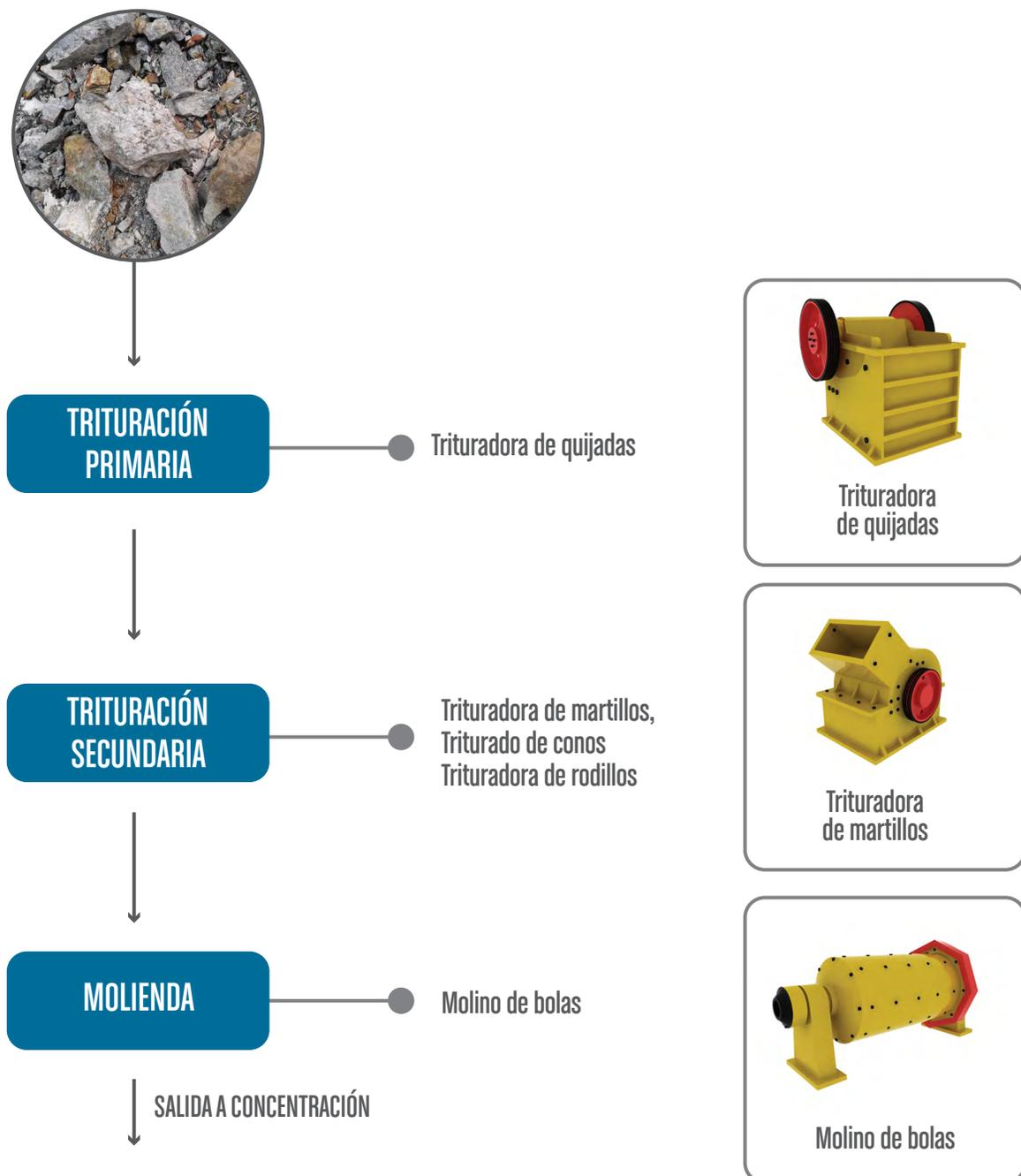
5.1.2. PROCESO DE CONMINUCIÓN (TRITURACIÓN Y MOLIENDA)

- La conminución, o reducción de tamaño de un material, es una etapa importante y normalmente la primera en el procesamiento de minerales. Los objetivos de la conminución pueden ser:
- Producir partículas de tamaño y forma adecuadas para su utilización directa.
- Liberar los materiales valiosos de la ganga, de modo que puedan ser concentrados.
- Aumentar el área superficial disponible para reacción química.

La reducción de tamaño de las rocas y minerales hasta lograr su adaptación a las operaciones de molienda y concentración se debe realizar por etapas para reducir los costos de energía; la reducción en una sola etapa incurre en mayores gastos energéticos y costos de operación debido al mayor desgaste de los equipos.

Figura 5.2: Diagrama de proceso de conminución (trituration y molienda).

Fuente: Propia.



Se puede definir la trituración como el conjunto de operaciones cuyo objeto es reducir de tamaño grandes trozos de material a fragmentos para facilitar las operaciones subsiguientes (transporte, etc.).

El fin principal es poder entregar en diferentes etapas, un tamaño de partícula a la molienda lo más reducido posible. Los procesos en las máquinas trituradoras se dividen convencionalmente en trituración primaria (gruesa) y trituración secundaria (media y fina).

5.1.2.1. TRITURACIÓN PRIMARIA (GRUESOS)

Para la trituración gruesa se emplean las trituradoras de quijadas y giratorias (cónicas). Los tamaños de alimentación pueden variar de acuerdo con el tamaño de la planta de beneficio; así, para plantas que procesan más de 1000 t/h, pueden estar hasta de una dimensión de trozo no mayor de 1500 mm. Se tritura bajo la acción fundamentalmente de las fuerzas de aplastamiento, penetración y frotación hasta obtener trozos con una dimensión aproximada de 300 a 100 mm, que son enviados a las siguientes etapas de trituración.

TRITURADORA DE QUIJADAS

En la trituradora de quijadas el material se tritura mediante compresión, en combinación con la penetración, y por la flexión entre las quijadas fija y móvil. La quijada móvil se aproxima (durante la marcha de trabajo) o se aleja (durante la marcha en vacío) de la quijada fija, al rotar el árbol excéntrico; durante la marcha de trabajo se efectúa la trituración y durante la marcha en vacío la descarga, por debajo del material triturado por la acción de su propio peso.

Fotografía 5: Modelo de trituradora de quijadas.
Fuente: Propia.

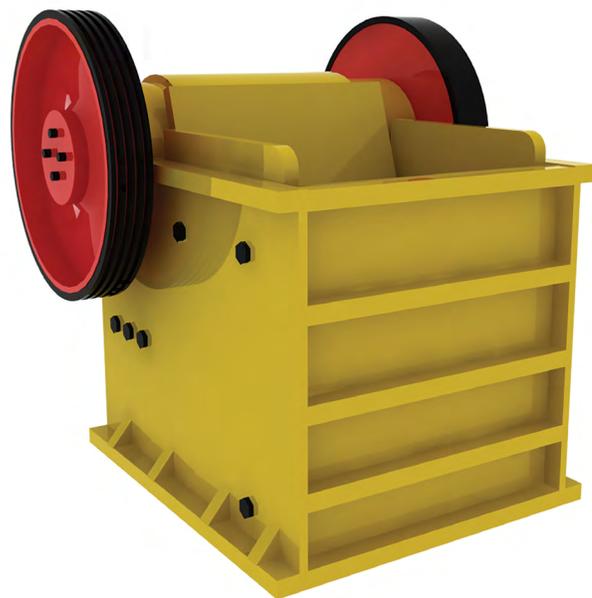
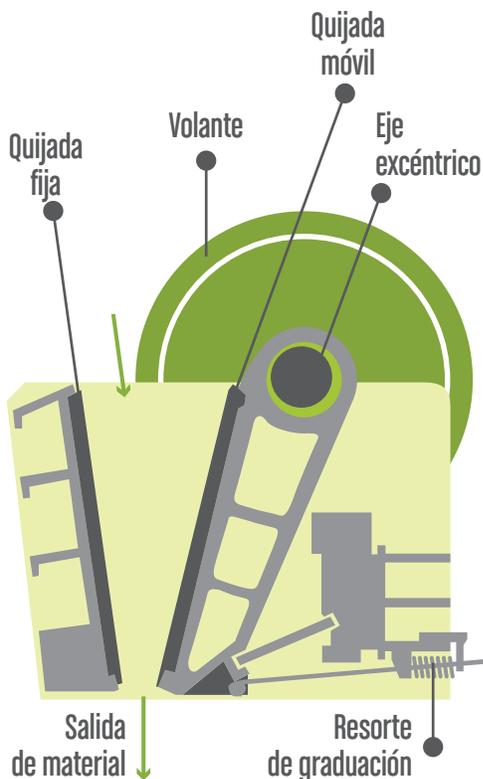
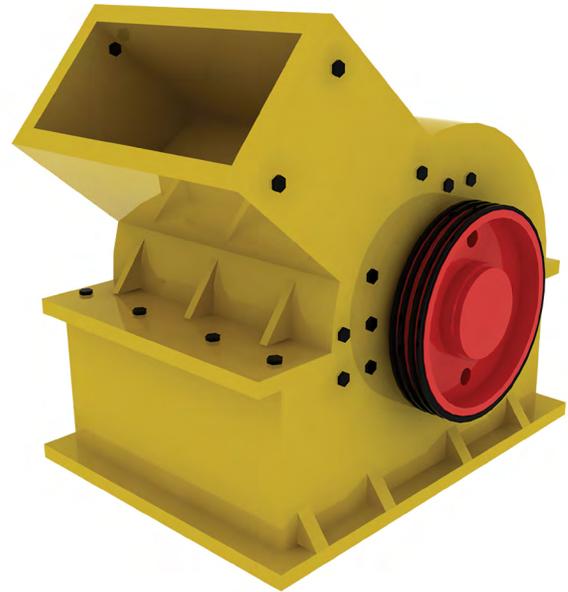


Figura 5.3: Diagrama de funcionamiento de la trituradora de quijadas.
Fuente: Propia.



No se aplica la trituración primaria en el proceso de beneficio de la UGM 2 y sí pulverización antes de la concentración en mesa, mientras que en la UGM 1 hay trituración mas no pulverización. Es muy importante que se lleven a cabo las dos operaciones unitarias complementándose.

Fotografía 6: Modelo de trituradora de martillos.
Fuente: Propia.



5.1.2.2. TRITURACIÓN SECUNDARIA (FINOS)

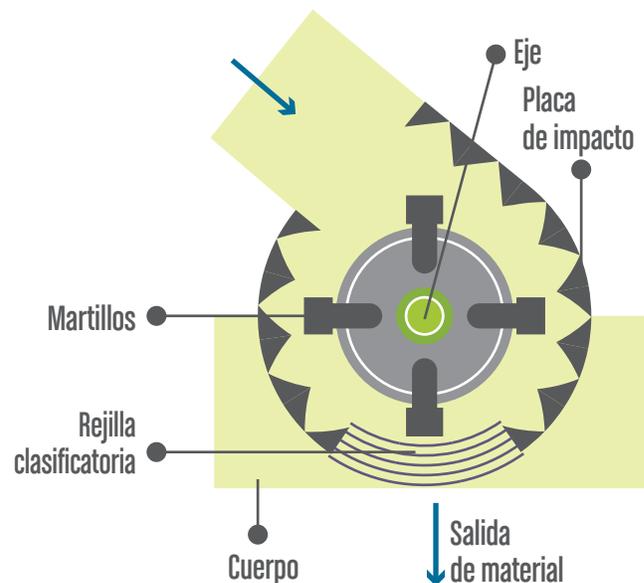
Después de la trituración gruesa el material se somete con frecuencia a una trituración más, en las máquinas de trituración media y fina, en las cuales el proceso se realiza con el tamaño de salida de la trituración primaria hasta tamaños tan pequeños como 10 mm. Para la trituración media y fina se utilizan principalmente trituradoras cónicas y de impacto (martillos).

TRITURADORA DE IMPACTO (MARTILLOS)

La trituradora de impacto es una máquina que aprovecha la energía de un impacto o golpe para romper el material. En general, estas máquinas proporcionan mejores curvas de rendimiento que las trituradoras de mandíbulas, así como un buen factor de forma. Sin embargo, para materiales arcillosos su rendimiento puede desmejorar.

La boca de entrada se sitúa en la parte superior, en un lateral, y a unos 45° con la vertical, y la boca de salida se encuentra en la parte inferior. Las placas de choque, de acero al manganeso, se desgastan de forma desigual, por lo que se diseñan simétricas para invertirlas y aprovecharlas mejor. Suelen ser dentadas para facilitar la fractura del material.

Figura 5.4: Diagrama de funcionamiento de impacto.
Fuente: Propia.



MODELO	TAMAÑO DE ALIMENTACIÓN (mm)	TAMAÑO DE DESCARGA (mm)	CAPACIDAD (t/h)	POTENCIA DEL MOTOR (kW)	PESO (kg)
400 x 300	< 100	<10	5 - 10	11	800
600 x 400	<120	<15	10 - 25	18,5	1500
800 x 600	<120	<15	20 - 35	55	3100
1000 x 800	<200	<13	20 - 40	115	7900
1000 x 1000	<200	<15	30 - 80	132	8650
1300 x 1200	<250	<19	80 - 200	240	13600

5.1.2.3. MOLIENDA

Es la operación final del proceso de conminución, y consiste en reducir de tamaño partículas procedentes de la trituración media o fina (con dimensiones por debajo de 20 mm) hasta un tamaño que se encuentra en el rango 28-200 mallas Tyler en la molienda gruesa, y menores de 325 mallas para la molienda fina. La molienda gruesa se conoce en la práctica como convencional.

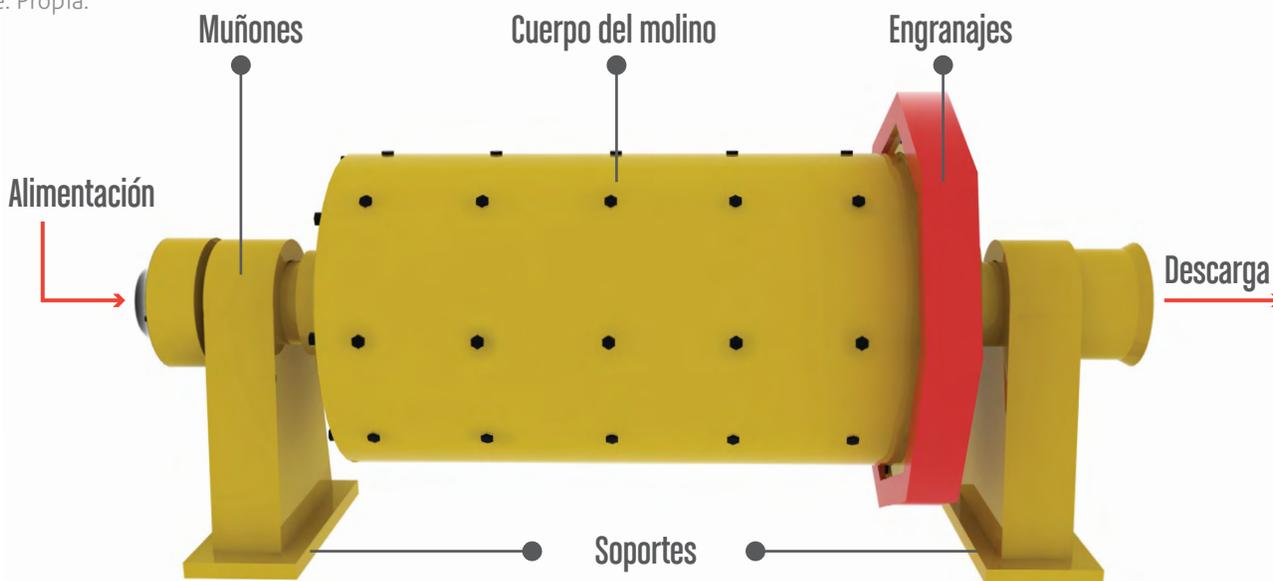
OBJETIVOS DE LA OPERACIÓN

Según el destino que se dé al producto y si la molienda antecede a un proceso de concentración en un circuito de beneficio mineral, los objetivos pueden ser:

- Desprender el mineral útil de la ganga a un tamaño lo más grueso posible. Este es el caso de la concentración gravimétrica, en la cual se debe evitar la sobreproducción de finos (lamas).
- Obtener el tamaño apropiado para el proceso de concentración por flotación espumante o para los procesos hidrometalúrgicos en los que se requiere que el mineral útil esté expuesto en la superficie de cada partícula, para que así puedan actuar sobre él los reactivos utilizados en los procesos mencionados.

Fotografía 7: Modelo de molinos de bolas.

Fuente: Propia.



MOLINO DE BOLAS

Los molinos rotatorios se componen de un tambor cargado aproximadamente en un 45 % de su volumen con medios moledores (bolas de acero, barras y cilindros de acero o guijarros, etc.). Durante la rotación del tambor los medios moledores son arrastrados conjuntamente por la superficie de las paredes bajo la acción de la fuerza centrífuga y la fuerza de rotación a una altura determinada, y luego se deslizan o caen libremente, moliendo el material por impacto, aplastamiento y fricción.

Las bolas (cuerpo moedor) están completamente sueltas, móviles y son relativamente grandes o pesadas, comparadas con las partículas del material a moler. Las bolas son arrastradas y levantadas por la rotación del tambor en un ángulo tal que la fuerza de gravedad (su propio peso) supera a las fuerzas de cohesión y centrífuga de rotación del tambor. Estas entonces caen en movimiento de cascada y catarata, fracturando las partículas por impactos y fricciones continuas y repetidas, lo que se logra cuando el molino gira por debajo de su velocidad crítica.

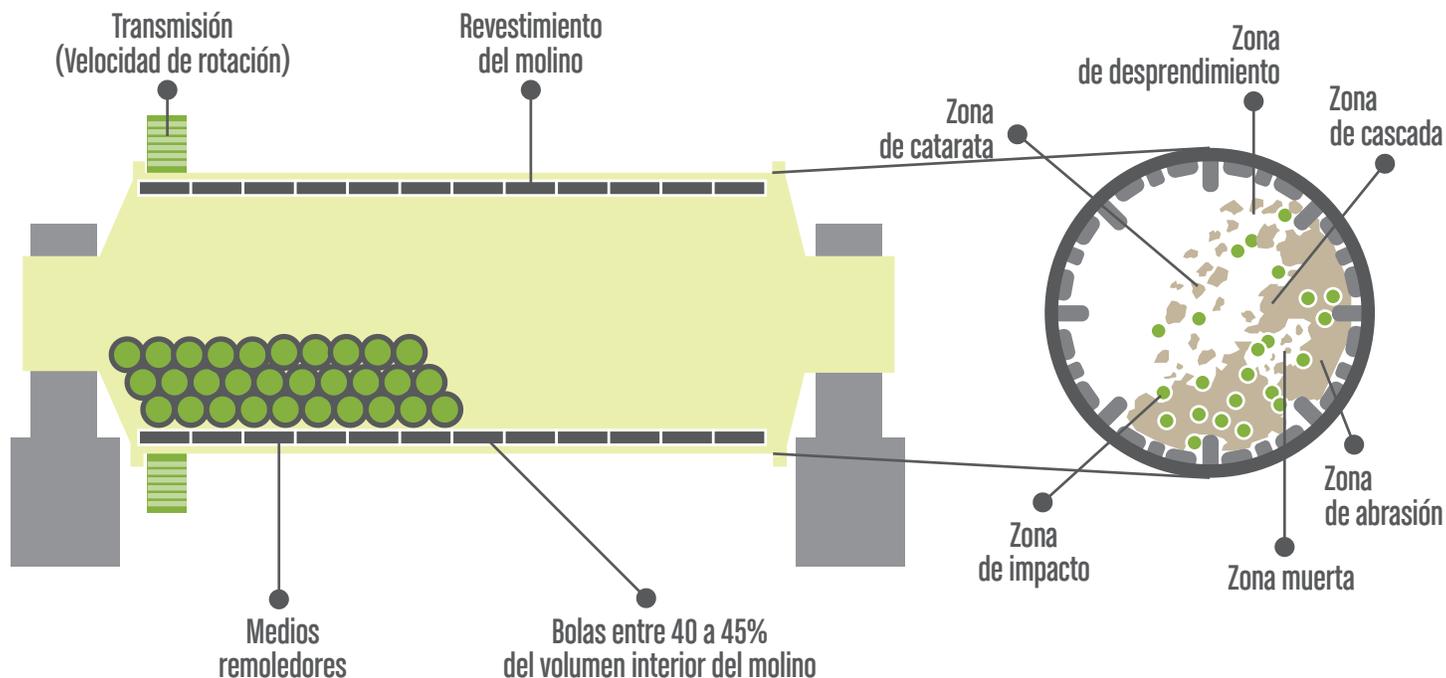
La velocidad crítica, es la velocidad en la cual la fuerza centrífuga por efecto del giro del molino, hace que los cuerpos moledores se mantengan adheridos a la pared del molino y no caigan antes de dar un giro completo.

$$V_c = \frac{42,3}{\sqrt{D_m}}$$

V_c = Velocidad crítica del molino, rpm
 D_c = Diámetro interior del molino, m

Figura 5.5: Diagrama de funcionamiento de un molino de bolas.

Fuente: Propia.



MODELO	DIÁMETRO X LARGO (mm)	MOLINO (RPM)	MOTOR (HP)	CARGA DE BOLAS 45% (kg)	PESO (kg)	CAPACIDAD (t/día)
3 x 3	915 x 915	33	10	1265	4070	11.5
3 x 4	915 x 1220	33	15	1670	4480	15
3 x 5	915 x 1520	33	20	2080	4880	20
3 x 6	915 x 1830	33	20	2500	5288	24
4 x 4	1220 x 1220	29	25	2980	9620	32

VARIABLES DE ENTRADA

- Longitud del cilindro
- Diámetro del cilindro
- Nivel de llenado aparente
- Densidad de bolas
- Densidad de mineral
- Densidad del fluido
- Diámetro mineral inicial
- Diámetro mineral final
- Capacidad
- Porcentaje de sólidos
- Índice de Bond

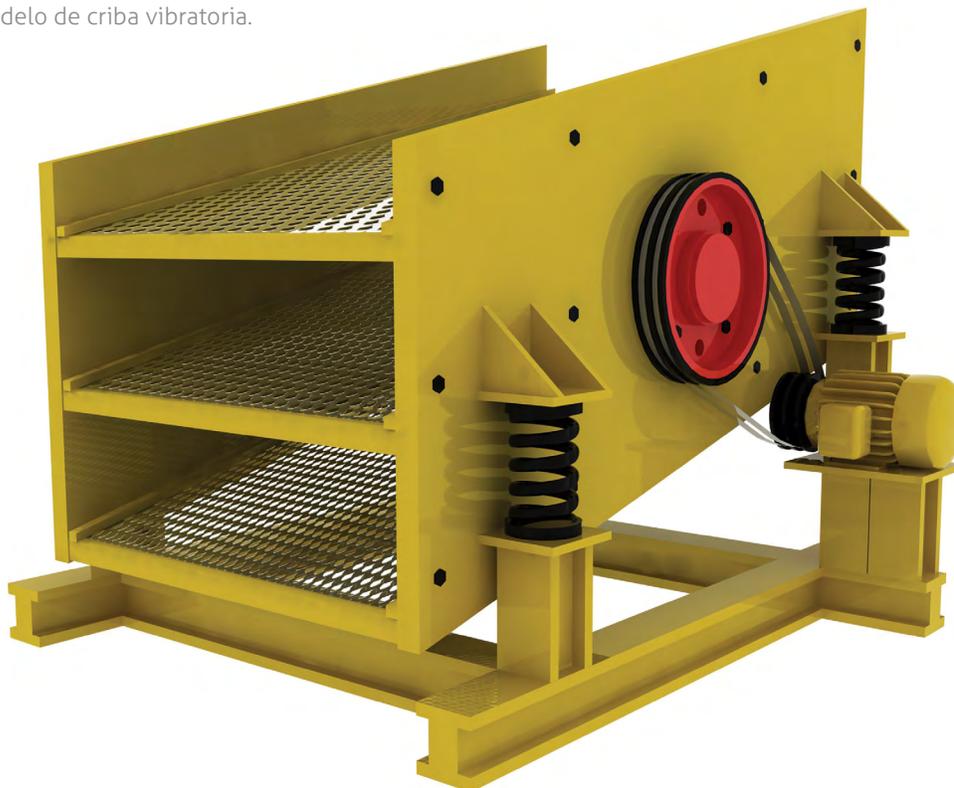
VARIABLES DE OPERACIÓN

- Relación largo-diámetro
- Densidad de pulpa
- Velocidad crítica
- Velocidad óptima
- Volumen del cilindro
- Volumen de carga interior
- Diámetro máximo de bolas
- Número de bolas con diámetro máximo
- Potencia neta
- Tiempo de residencia

5.1.3. CLASIFICACIÓN GRANULOMÉTRICA

El proceso de división de los sólidos a granel en clases según el tamaño, mediante el cernido a través de uno o varios tamices, se denomina clasificación granulométrica. Dicha clasificación en la criba se efectúa con un movimiento relativo del material y la superficie de trabajo (tamiz). Como resultado se obtienen dos productos: partículas que pasaron a través del tamiz (corriente b, llamada de bajo tamaño) y partículas que quedaron en la parte superior del tamiz (corriente k, llamada de rechazo).

Fotografía 8: Modelo de criba vibratoria.
Fuente: Propia.



La función de la criba es dividir la corriente de alimentación en fracciones por tamaño, independientemente de su composición química o mineralógica.

VARIABLES QUE AFECTAN LA OPERACIÓN

El que una partícula determinada de la alimentación vaya al rechazo (R) o al bajo tamaño (B), depende de la posibilidad que tenga para pasar a través de la abertura del tamiz.

Las partículas sobre la superficie de trabajo se estorban unas con otras y por ello puede ocurrir que algunas no lleguen a descender hasta la superficie. La posibilidad de que una partícula pase a través de un orificio una vez llegue a la superficie depende:

- De las dimensiones de las partículas y el orificio del tamiz.
- De la forma de alimentación y posición de llegada a la superficie.
- De la inclinación de la superficie.

Las cribas son útiles principalmente durante las etapas de trituración. En tamaños de orificio inferiores a 1/16 de pulgada, pierden su eficiencia debido a taponamiento.

5.1.4. CLASIFICACIÓN HIDRÁULICA

Esta operación de clasificación se caracteriza por el uso de agua adicional a la de la pulpa de alimentación, introducida de manera que la dirección de su flujo se oponga a la dirección de las partículas que se están realimentando. En la minería de oro se suelen emplear genéricamente dos tipos de clasificadores hidráulicos: de corriente horizontal accionados mecánicamente y los hidrociclones.

Fotografía 9: Modelo de hidrociclón.
Fuente: Propia.



HIDROCICLÓN

El hidrociclón es un equipo que se emplea, entre otras cosas, para la clasificación de partículas relativamente de bajo tamaño (entre 300 y 5 μm aproximadamente). La palabra hidrociclón proviene del prefijo hidro-, que se refiere a operación por vía húmeda (generalmente agua), y ciclón, que se refiere a la formación interna de un vórtice hidráulico (cuando se opera con agua) o neumático (cuando se opera con aire).

Aunque el hidrociclón es un equipo bastante simple en su forma, su funcionamiento es muy complejo. Se parte del hecho de que la pulpa entra con una alta velocidad tangencial, la que desarrolla un vórtice; las partículas, debido a este movimiento circular, se ven sometidas a dos fuerzas: la fuerza centrífuga, que lanza las partículas hacia las paredes del hidrociclón, fuerza que es producto del movimiento curvilíneo. La otra fuerza es la centrípeta, dirigida como su nombre lo indica, al centro del equipo. Esta fuerza es el resultado de un movimiento radial que se origina por un semivacío que se produce en el centro del hidrociclón.

Debido a la diferencia de presión entre el vórtice y su centro se origina una fuerza para tratar de llenar el vacío; ahora, si al vórtice formado por la pulpa se le introduce un tubo en la parte superior (buscador de vórtice), por este comienza a ascender dicha pulpa y a evacuar el hidrociclón, por tanto queda un equipo con una entrada tangencial y dos salidas: una superior, que se denomina rebalse, y otra inferior, que se denomina descarga.

Entonces, como el buscador del vórtice está ubicado en el centro, por él va a evacuarse el material fino mientras que por la descarga saldrán las partículas más gruesas de la distribución granulométrica que ingresó al equipo.

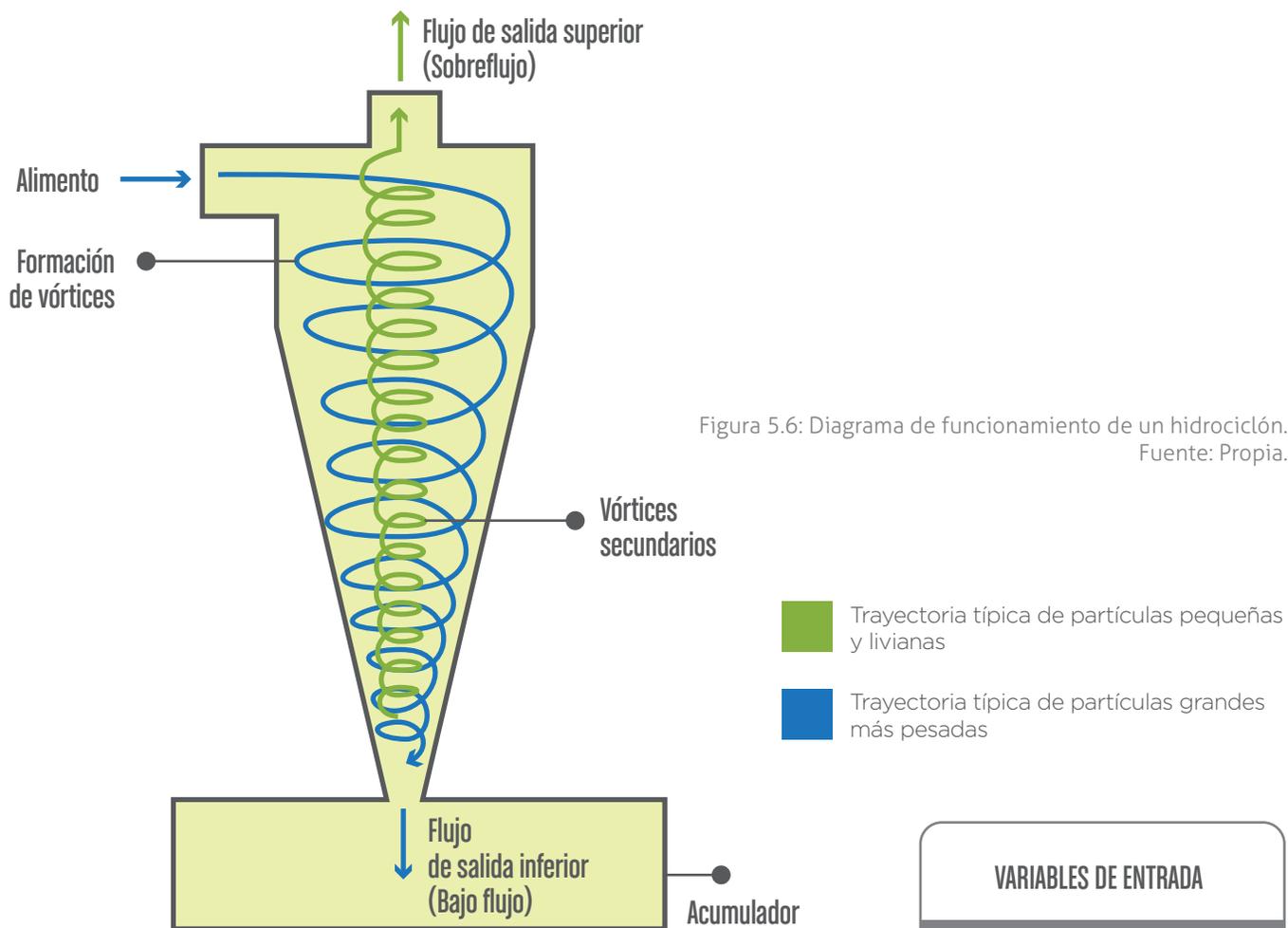


Figura 5.6: Diagrama de funcionamiento de un hidrociclón.
Fuente: Propia.

VARIABLES DE ENTRADA

- Masa de sólidos en descarga
- Diámetro mineral rebosadero
 - Densidad del sólido
 - Densidad de fluido
 - Porcentaje de sólidos
- Masa de sólidos por hora
 - Caída de presión
- Porcentaje de rebose (Overflow)

VARIABLES DE OPERACIÓN

- Peso de la pulpa
- Densidad de la pulpa
- Caudal de pulpa
- Diámetro cilíndrico
- Diámetro rebosadero
- Diámetro de alimentación
- Diámetro de descarga

PULGADAS	DIÁMETRO (mm)	ALTURA (mm)	PESO (kg)	VOLUMEN (m ³)	CAUDAL (m ³ /h)	PRESIÓN MÁX: (kg/cm ²)
2"	8"	792	20	0.063	11 - 17	8
3"	8"	910	26	0.133	18 - 34	8
4"	16"	1630	105	1.100	52 - 82	8
6"	20"	2195	230	1.350	98 - 160	8

5.1.5. CONCENTRACIÓN DE MINERALES AURÍFEROS POR GRAVIMETRÍA

El objetivo principal de la concentración es el de enriquecer el mineral, eliminando la ganga y minimizando la pérdida de mineral en cuanto sea posible.

El concepto de tenor es importante en el desarrollo de los objetivos que se pretenden alcanzar en la concentración de minerales. Se puede definir el tenor de un mineral como la relación que existe entre la cantidad másica o volumétrica de mineral de interés o útil (oro) con respecto a la cantidad másica o volumétrica en la mena. Por tanto, el tenor se puede expresar en gramos de mineral útil por tonelada de material total (g/t, g/m³).

$$\text{TENOR} = \frac{\text{CANTIDAD DE MINERAL ÚTIL}}{\text{CANTIDAD DE MINERALES EXTRAÍDOS}}$$

Ahora, el objetivo de la concentración es elevar el tenor de una especie mineralógica de un metal u otro material en el concentrador, partiendo del tenor de alimentación. En el caso ideal el tenor del material útil en las colas debe ser nulo o cercano a cero; no obstante, como en todos los procesos no hay escenarios perfectos, este debe minimizarse en cuanto sea posible.

Elimina del circuito de planta minerales que no poseen riqueza alguna y que generan costos de manejo y tratamiento, como las gangas.

Elimina del circuito de planta minerales cuya presencia pueda presentar consecuencias negativas en el proceso de extracción metalúrgica.

En algunos casos el concentrado obtenido ya es un material con valor comercial o industrial, como los concentrados de oro de fácil recuperación.

IMPORTANCIA DEL PROCESO DE CONCENTRACIÓN

4.1.5.1. CONCENTRACIÓN GRAVITACIONAL O GRAVIMÉTRICA

La concentración gravimétrica puede definirse como la separación de dos o más especies de minerales con diferente peso específico (diferente densidad), causada por el movimiento relativo bien sea en un medio acuoso o aire, debido a la respuesta de los sólidos a las fuerzas gravitacionales de arrastre y empuje.

Para que exista una buena separación debe tenerse en cuenta no alimentar las máquinas de concentración con distribuciones granulométricas muy amplias; es decir, donde haya desde partículas muy finas a partículas muy gruesas.

Para una separación gravimétrica efectiva debe existir una diferencia entre los valores de la densidad del mineral y la ganga. Calculando el criterio de concentración, se tendrá una idea de la viabilidad de la operación.

$$CC = \frac{\rho_h - \rho_f}{\rho_l - \rho_f}$$

ρ_h = Densidad del mineral pesado.
 ρ_f = Densidad del medio fluido.
 ρ_l = Densidad del mineral liviano.
 CC = Criterio de concentración.

VALOR DE CC =
 + 2.50
 1.75 - 2.50
 1.50 - 1.75
 1.25 - 1.50
 <1.25

SEPARACIÓN
 Fácil
 Posible
 Díficil
 Muy difícil
 No posible

MESAS DE CONCENTRACIÓN (MESA WILFLEY)

Este concentrador consiste en una mesa ligeramente inclinada sobre la cual la alimentación, con un porcentaje de casi un 25 % en peso de sólidos, se introduce en la caja y se distribuye por medio del agua de lavado que ingresa a lo largo de la superficie por el lado de alimentación. La mesa vibra longitudinalmente mediante el mecanismo, logrando un desplazamiento lento hacia la izquierda y un retorno rápido hacia la derecha, lo cual genera que las partículas minerales se arrastren lentamente a lo largo de la cubierta paralela en dirección del movimiento más lento.

Las partículas se mueven diagonalmente a través de la cubierta desde el extremo de alimentación; las más pequeñas y pesadas viajan con mayor velocidad hacia el punto de recolección en el extremo distante, mientras que las partículas más ligeras y grandes son conducidas al lugar de recolección de colas. Se usan colectores con separadores ajustables para recibir el producto concentrado, los medios (mezcla de concentrado y ganga) y las colas (ganga liberada).

Fotografía 10: Modelo de mesa de concentración.
Fuente: Propia.

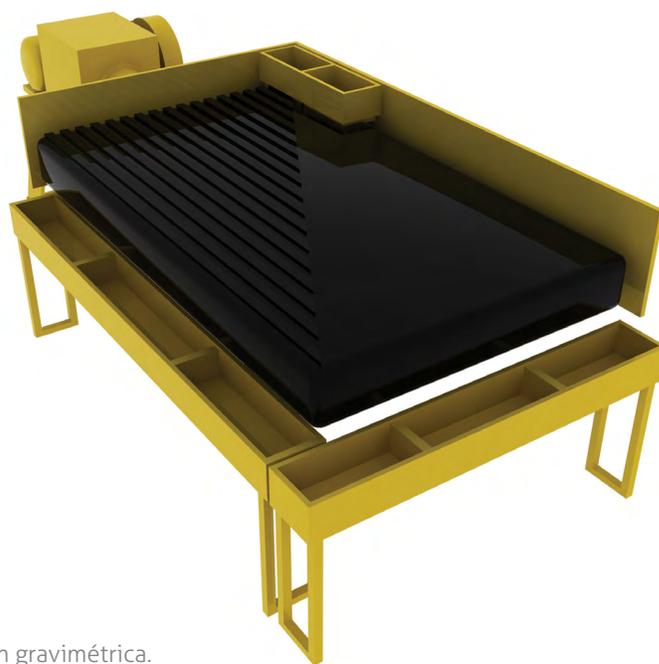
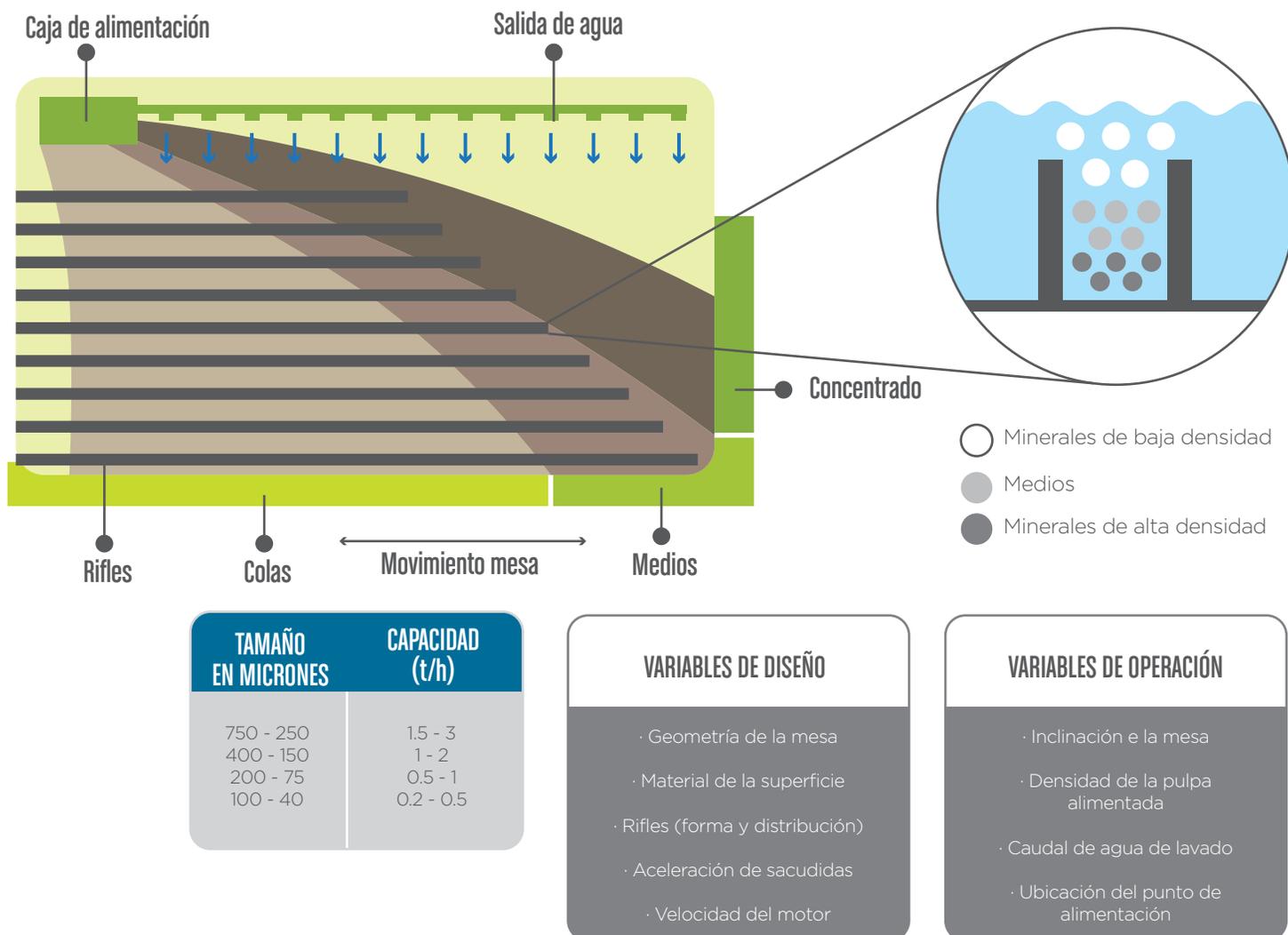
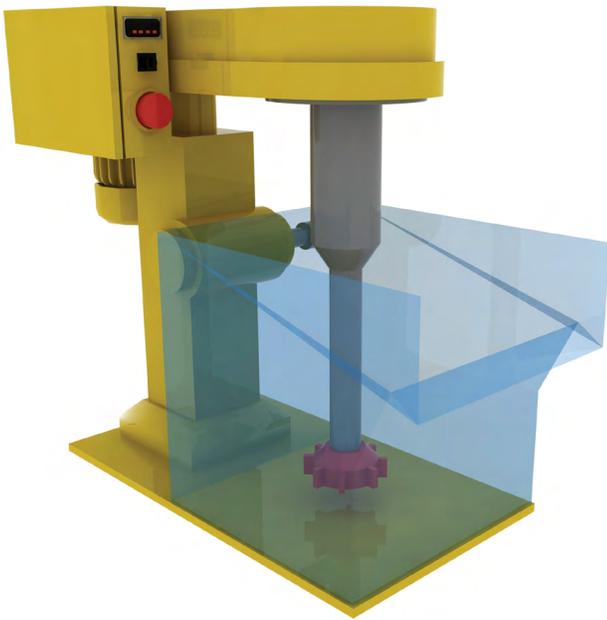


Figura 5.7: Diagrama de funcionamiento de una mesa de concentración gravimétrica.
Fuente: Propia.



5.1.6. CONCENTRACIÓN DE MINERALES AURÍFEROS POR FLOTACIÓN

Fotografía 11: Modelo de celda de flotación para laboratorio.
Fuente: Propia.



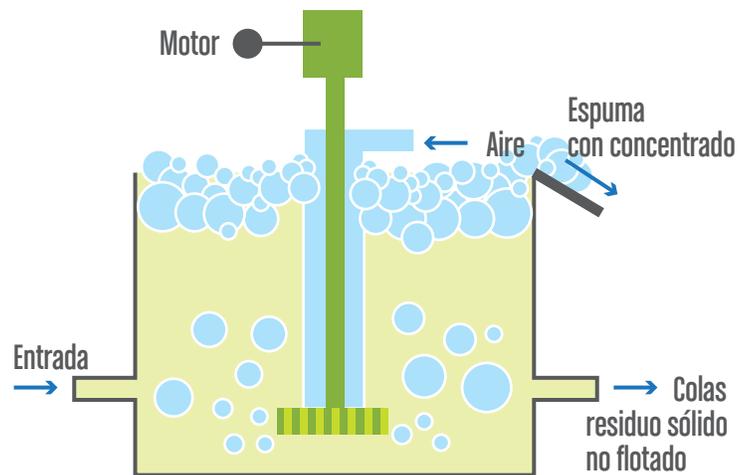
Fotografía 12: Modelo de celda de flotación industrial.
Fuente: Propia.



La flotación espumante se basa en la capacidad que posee la superficie de un sólido para ser humectado o no por el agua. Cuando dicho sólido permite ser humectado se dice que es hidrofílico (adsorbe agua en su superficie), mientras que si no se deja mojar es hidrofóbico; al introducir estos últimos minerales en agua sus superficies no formarán enlaces con los grupos polares, por ende, en presencia de una burbuja que asciende, estos se adhieren y la acompañan a flotar hacia la superficie.

Para poder retirar este mineral es necesario agregar un reactivo químico (tensoactivo), el cual disminuye la tensión superficial del agua y permite el paso de las partículas; este tensoactivo produce una fase de espuma que se puede retirar con una paleta, manual o mecánicamente. Debido a que la gran mayoría de minerales son hidrófilos es necesario agregar otro reactivo que se adsorba selectivamente sobre la superficie de las partículas de interés; este se denomina agente colector y es el de mayor importancia en la operación.

Figura 5.8: Diagrama de funcionamiento de una celda de flotación.
Fuente: Propia.



REACTIVOS DE FLOTACIÓN	DESCRIPCIÓN
Agente espumante	Tensoactivo para generar espuma. Generalmente, se usa aceite de pino (0.1 libra por tonelada aprox.)
Agente colector	Para el caso del oro, colectores afines al azufre, generalmente Xantatos (0.1 libra por tonelada aprox.)
Reguladores de pH	Se acostumbra a tener un pH de 6 a 7.

VARIABLES DE ENTRADA

- Porcentaje de sólidos
- Densidad del sólido
- Densidad del fluido
- Cantidad de sólido por hora
- Cantidad de celdas

VARIABLES DE OPERACIÓN

- Densidad de la pulpa
- Caudal de pulpa por hora
- Volumen de trabajo en celdas
- Volumen de una sola celda
- Longitud de lado de la celda

5.1.7. CIANURACIÓN

El proceso de lixiviación de oro con cianuro es el método más importante desarrollado para extraer el metal, el cual es utilizado en prácticamente todas las principales operaciones mineras en el mundo.

Las razones para su gran aceptación son tanto económicas como metalúrgicas. En general, con este proceso se obtiene una mayor recuperación de metal que con el proceso de amalgamación, y es más seguro y simple de operar que procesos con cloro o bromo. La barra de oro final resultante de la operación será prácticamente pura.

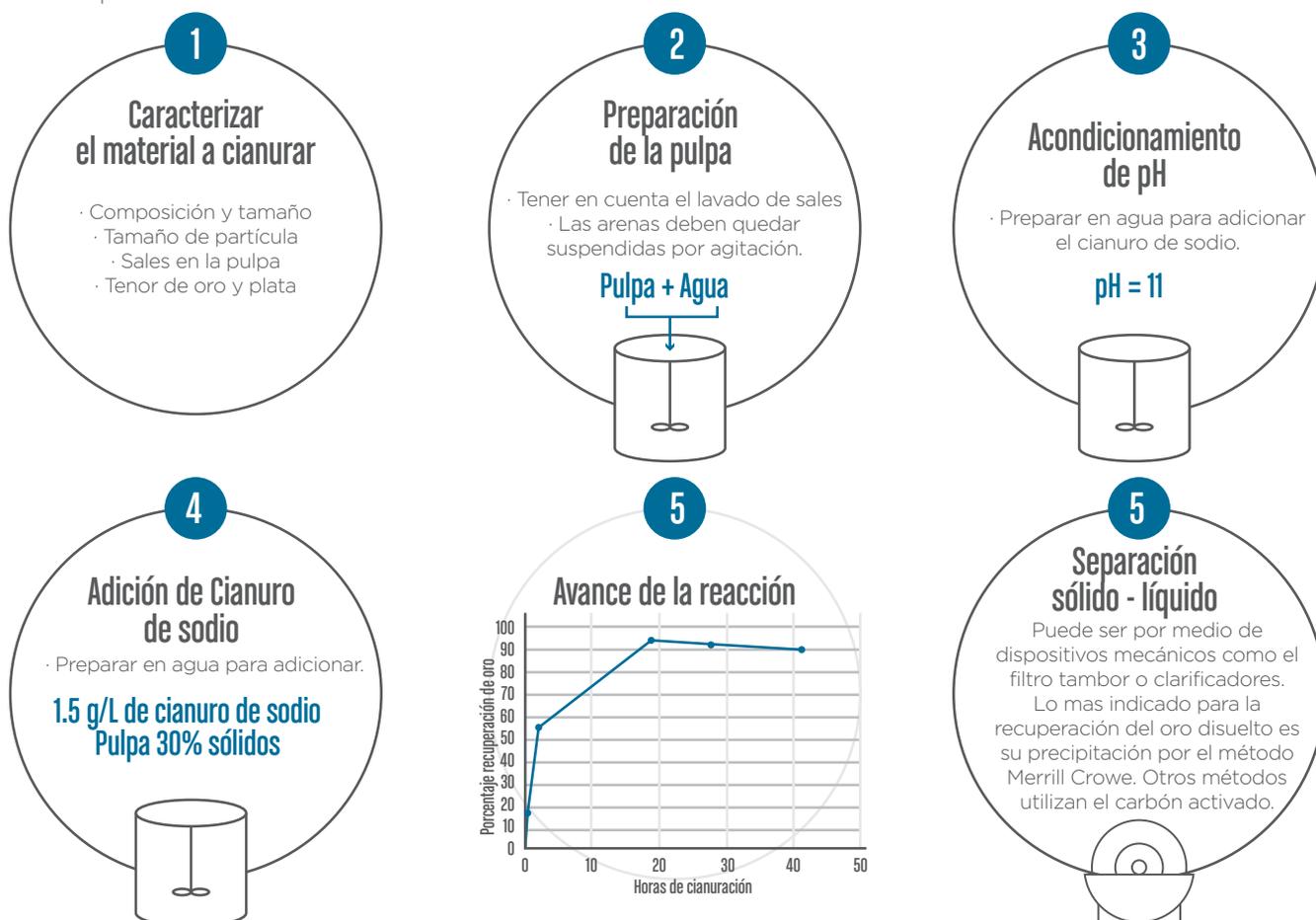
El proceso de cianuración se basa en el hecho de que las soluciones de cianuro de potasio o sodio tienen una disolución preferencial hacia las partículas de oro metálico que sobre otros materiales.

La siguiente ecuación engloba la reacción de la cianuración y el compuesto que se analiza:



Figura 5.9: Diagrama de pasos a tener en cuenta para realizar el proceso de cianuración.

Fuente: Propia.



La cianuración es fuertemente afectada por el pH de la solución, por lo que es esencial que la solución de cianuro se mantenga alcalina (altos pH) durante la lixiviación del oro por las siguientes razones:

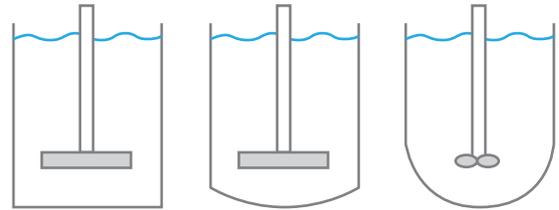
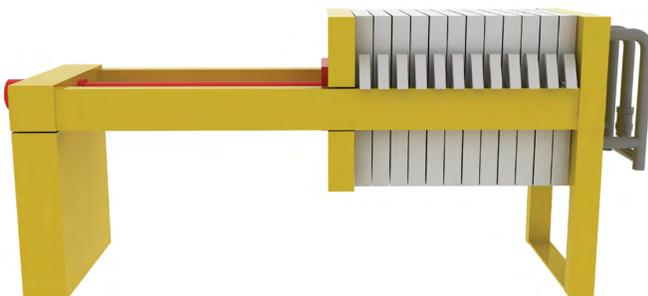
- Para prevenir la hidrólisis del ion cianuro.
- Para prevenir la descomposición del cianuro por el CO_2 presente en el medio ambiente.
- Para neutralizar compuestos ácidos de las menas, como sales ferrosas y sulfato de magnesio en las aguas de las plantas antes de ser agregadas al circuito de cianuración.
- Para descomponer el bicarbonato en las aguas de las plantas antes de usarse en la cianuración.
- Para ayudar a la sedimentación de partículas de tal manera que se pueda obtener una solución clara durante la separación de la mena cianurada.

Fotografía 13: Modelo de tanque agitador.
Fuente: Propia.



Hay otros métodos para conseguir separar la solución rica de las arenas al finalizar la cianuración. El espesador es un sedimentador que entrega solución clarificada por rebose y una pulpa sedimentada con una concentración de sólidos por peso que puede ser mayor al 80 %. Esta pulpa puede impulsarse a un filtro prensa, a un filtro de tambor o llevarse a un tanque percolador para efectos de recuperación de solución rica y descomposición de compuestos ambientalmente dañinos.

Fotografía 14: Modelo de filtro prensa y filtro de tambor.
Fuente: Propia.

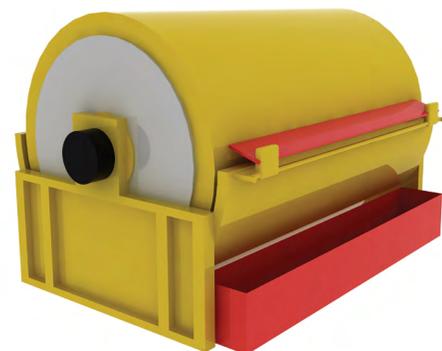


VARIABLES DE ENTRADA

- Densidad del sólido (kg/m^3)
- Densidad del fluido (kg/m^3)
- Volumen de la solución (l)
- Velocidad del impulsor (rpm).
- Tipo de fondo del tanque:
plano, plato, esférico
- Tipo de impulsor:
Hélice paso cuadrado, 3 palas
Hélice paso de 2, 3 palas
Turbina, 6 palas planas
Turbina, 6 palas curvas
Turbina, 2 palas planas

VARIABLES DE OPERACIÓN

- Volumen del tanque (l)
- Diámetro del tanque (m)
- Longitud del tanque (m)
- Altura de solución (m)
- Diámetro del agitador (m)
- Ancho del agitador (m)
- Distancia fondo agitador (m)
- Diámetro de los 4 baffles (m)
- Potencia del impulsor (HP)



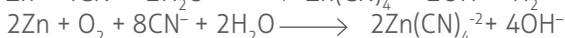
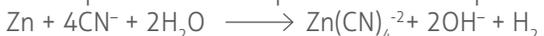
5.1.7.1. PRECIPITACIÓN POR EL PROCESO DE MERRILL CROWE

La cianuración industrial de un material aurífero produce una solución cuya concentración de oro está generalmente por encima de 2 mg de oro por l (ppm), dependiendo del material lixiviado y el sistema utilizado.

Durante la precipitación de oro en zinc, la solución aurífera entra en contacto con el zinc y, espontáneamente, dado que el zinc es mucho más electropositivo que el oro, ocurre un intercambio por medio del cual el zinc metálico se va solubilizando en la solución mientras el oro se va precipitando desde ella. Una expresión química que representa el modelo de precipitación de oro en zinc es:

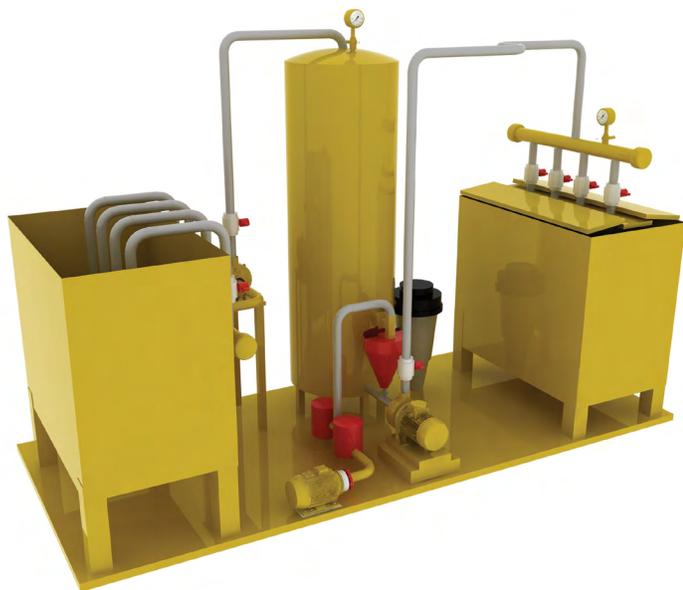


El zinc puede corroerse por mecanismos que involucren la reducción del agua y el oxígeno:



Fotografía 15: Modelo de planta de Merrill Crowe.

Fuente: Propia.



En la práctica se debe adicionar zinc entre 5 y 10 veces más que los requerimientos estequiométricos. Asimismo, la presencia de oxígeno disuelto puede provocar la redisolución del oro ya precipitado, por lo que se debe garantizar una condición de vacío para evitarlo; esto es posible utilizando el sistema Merrill Crowe:



En las condiciones que se aplican típicamente a la industria se ha encontrado que la transferencia de masa es el paso determinante para el proceso de precipitación. Por ello es fundamental que el zinc presente una extensa y limpia superficie de reacción (se recomienda el zinc en polvo).

La presencia de material particulado fino suspendido en la solución, en especial arcillas y silicatos coloidales, reducen la eficiencia de la precipitación, posiblemente por cubrir la superficie del zinc, por lo que se debe garantizar un perfecto filtrado de la solución rica.

Es muy conocido el efecto benéfico de los iones de plomo en la precipitación a baja temperatura, debido a sus efectos electroquímicos. Concentraciones de Pb^{2+} de 0,01 g/L ejercen un buen efecto para soluciones de 1 a 10 g/t de oro, y debe cuidarse de no estar por debajo de este valor. Excesos de 0,06 a 0,1 g/L de plomo divalente perjudican el proceso.

Otros iones metálicos divalentes como Hg, Th, Bi, Cd y Cu, en concentraciones muy bajas, han mostrado efectos similares al del plomo.

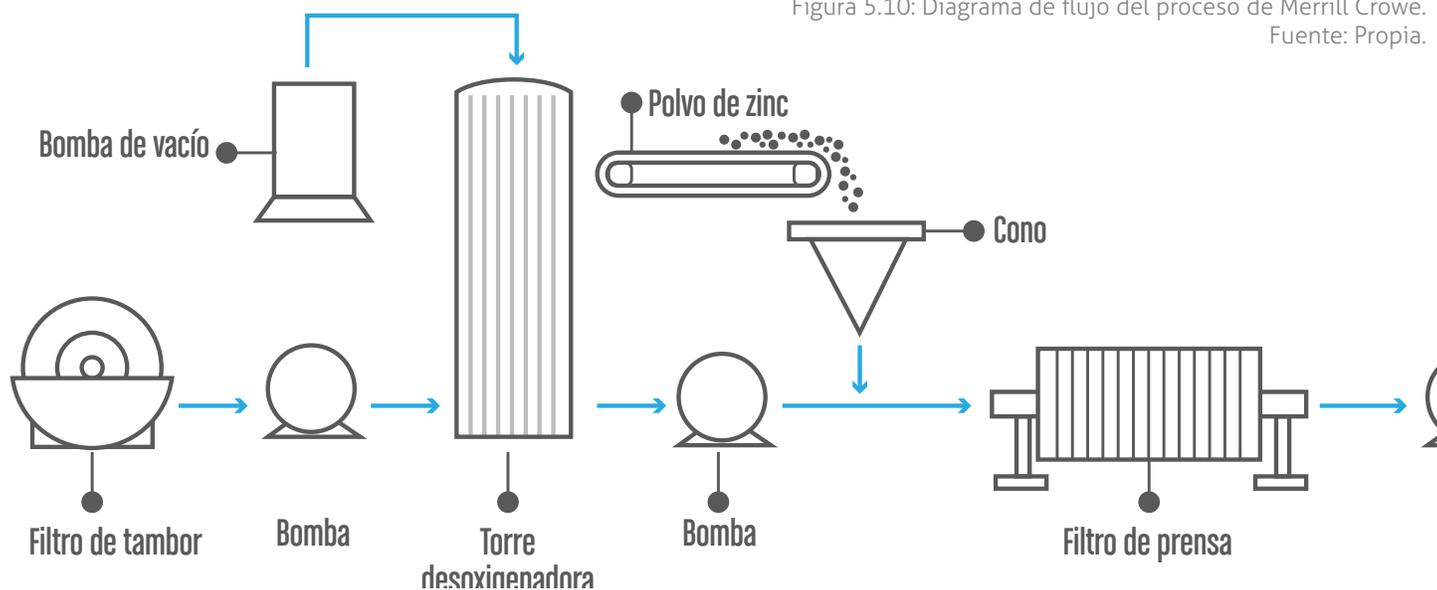


Figura 5.10: Diagrama de flujo del proceso de Merrill Crowe.

Fuente: Propia.

5.1.8. FUNDICIÓN

El objetivo de esta operación es procesar los cementos (precipitados de cianuración) de metales preciosos para obtener barras (lingotes) comerciales de oro en alta pureza, mediante la determinación de una carga de fundentes apropiada aplicando las normas de seguridad necesarias.

Los principales métodos de tratamiento de los precipitados para alcanzar metales preciosos son los siguientes:

- **FUNDICIÓN DIRECTA.**
- **FUNDICIÓN DESPUÉS DE CALCINACIÓN.**
- **TRATAMIENTO ÁCIDO SEGUIDO DE FUNDICIÓN.**

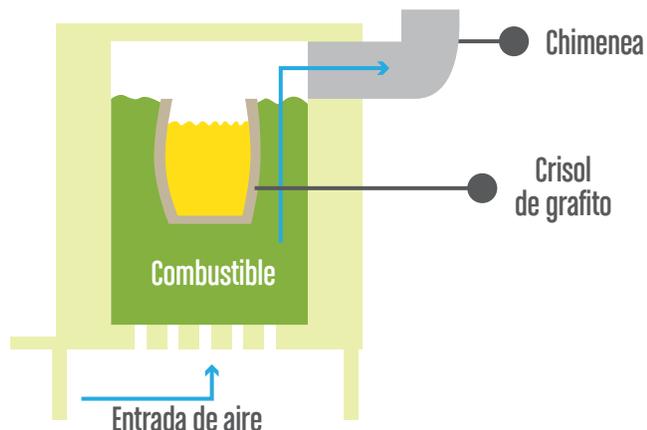
FUNDICIÓN DIRECTA

La fundición directa de precipitados de metales preciosos es una técnica rutinaria a gran escala. La desventaja de esta operación pirometalúrgica es que el zinc se volatiliza a alta temperatura ($> 1100\text{ }^{\circ}\text{C}$) y suele arrastrar consigo algo de oro, produciendo pérdidas que pueden variar entre el 1 % y el 5 %.

Las cargas de fundición varían dependiendo de las características de los precipitados; estas se logran partiendo de ensayos de laboratorio preliminares realizados a una muestra del precipitado, y se establecen las cantidades de los reactivos a utilizar. Entre los más comunes se encuentran:

- **Carbonato de sodio.**
- **Bórax.**
- **Sílice.**
- **Nitrato de potasio.**

Las respectivas cargas se homogenizan, se llevan a crisoles de grafito y se recubren con una capa de bórax. Posteriormente los crisoles cargados se introducen en el horno para efectuar la fundición a una temperatura de $1100\text{ }^{\circ}\text{C}$ durante un tiempo de 1 a 2 h. La carga se vacía en moldes previamente parafinados para, finalmente, luego del enfriamiento, realizar la separación de la barra de oro de la escoria.



Fotografía 16: Modelo de horno con crisol.
Fuente: Propia.



Figura 5.11: Diagrama de funcionamiento de un horno con crisol
Fuente: Propia.

RIESGOS	MEDIDAS DE SEGURIDAD
Inhalación de polvos de calcinas y fundentes.	Uso de mascarillas para polvo.
Quemaduras con herramientas calientes, moldes y salpicaduras con escoria fundida.	En general, se usan delantales y guantes de asbesto, botas y caretas.
Astillas de escoria sólida y pedazos fluidos de escoria.	Caretas y guantes de asbesto
Quemaduras con ácido	Debe usarse guantes de caucho, ropa a prueba de ácido, caretas y respiradores.

6. ASPECTOS QUÍMICO - AMBIENTALES

Los procesos extractivos de oro, como otras actividades de los seres humanos afectan la biodiversidad. Sin embargo, existen metodologías que permiten desarrollar esta actividad bajo control y prevención al medio ambiente.

En este contexto se plantean metodologías de control químico-ambiental las cuales incluyen caracterización química, control de procesos de metalúrgicos, descomposición de soluciones residuales cianuradas y determinación de toxicidad de relaves, y se establece un marco de referencia para contribuir a la evaluación del riesgo ambiental de la actividad minera en el municipio de Andes, haciendo énfasis en la contaminación por mercurio y cianuro.

Se evaluaron plantas de beneficio en el área noroccidental del distrito como Topitos de la Rochela en la cuenca del río Tapartó; en el área central como El Molino (Congo), La Batea, Peñas Azules, El Chaquiro y La Simbra, en las cuencas de los ríos San Agustín y Santa Rita; y del área suroriental como la mina Santa Ana, en la cuenca de la quebrada Santa Bárbara, todos ellos afluentes del río San Juan. Las muestras líquidas se tomaron del proceso de beneficio, de aguas superficiales (río, quebrada y arroyo), y las muestras de suelo se tomaron de las canchas de relaves y sedimentos activos de río, aledañas a las plantas de beneficio visitadas.

6. ASPECTOS QUÍMICO - AMBIENTALES

La implementación de metodologías analíticas y la utilización de la instrumentación en las diferentes líneas de la investigación en una planta de beneficio buscan día a día optimizar los procesos, usar tecnologías mejoradas y resolver los problemas que se presentan en el seguimiento de las operaciones con la aplicación de métodos simples, económicos y versátiles, que muestren resultados confiables.

Existen dos tipos de análisis: los cualitativos y los cuantitativos. Cada uno de ellos, ofrece unas ventajas instrumentales que permiten evaluar un estudio de interés geológico, los procesos metalúrgicos o la valoración ambiental.

6.1. CONTRIBUCIÓN DE LOS ANALISIS QUIMICOS EN LAS ETAPAS

Con los análisis químicos a los materiales de mena, de planta de beneficio y de relaves, es posible establecer la siguiente información:

Figura 6.1: Desarrollo de las etapas aplicadas en el control químico y ambiental.

Fuente: Propia.

CARACTERIZACIÓN QUÍMICA

Composición elemental del mineral.

Posibilidad de encontrar concentraciones altas en el material de minerales que pueden interferir en los procesos extractivos.

Deducir comportamientos en los procesos metalúrgicos.

Cuantificación de cianuro en muestras de proceso.

Aplicación de técnicas instrumentales de análisis: espectrofotometría de absorción atómica-llama y GH (Au, Ag, Fe, Cu, Pb y Hg), difracción rayos X (composición de minerales), fluorescencia de rayos X (composición elemental), difracción láser (tamaño y distribución de partícula), potenciometría de ión selectivo CN⁻ total, volumetría CN⁻ y gravimetría (formas de S).

CONTROL DE PROCESOS METALÚRGICOS

Determinar la concentración de oro en un proceso de cianuración.

Deducir el tiempo de cianuración y gastos de reactivos.

Efectividad de procesos de recuperación con zinc.

Reuso de solución con contenido de CN para otras cianuraciones.

Cuantificación de oro por espectrofotometría de absorción atómica-cinética de disolución de oro en cianuro de sodio (cianuración), ensayos al fuego y eficiencias de proceso de recuperación de oro con zinc (Merrill Crowe), púrpura de Cassius, potenciometría de ion selectivo CN⁻ total, volumetría CN⁻.

CONTROL QUÍMICO-AMBIENTAL

Determinar toxicidad de los relaves para mitigar procesos de contaminación por exposición al medio ambiente.

Descomposición de cianuros libre y total para realizar procesos extractivos sostenibles ambientalmente.

Aplicación de pruebas de toxicidad y contaminación como: TCLP (toxicity characteristics leaching procedure) y tratamiento de descomposición de cianuro libre y complejo en muestras residuales de proceso de cianuración. (Descomposición con peróxido de sodio y sulfato ferroso).

6.2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS: MÉTODOS Y APLICACIONES QUÍMICO - AMBIENTALES

6.2.1 CONTAMINACIÓN POR MERCURIO EN MINERÍA

Por ser líquido a temperatura ambiente y por tener una presión de vapor baja, la movilidad del mercurio (Hg) en el aire es significativa; el valor de solubilidad en agua, entre de 0,02 mg/l a 25 °C indica que es de mediana movilidad en agua y el valor Log Kow de 5,95 muestra su alta afinidad con la biota animal. Además, el mercurio no solo es altamente bioacumulable sino que forma parte de la cadena trófica; las especies mayores pueden acumularlo y biomagnificarlo en sus organismos.

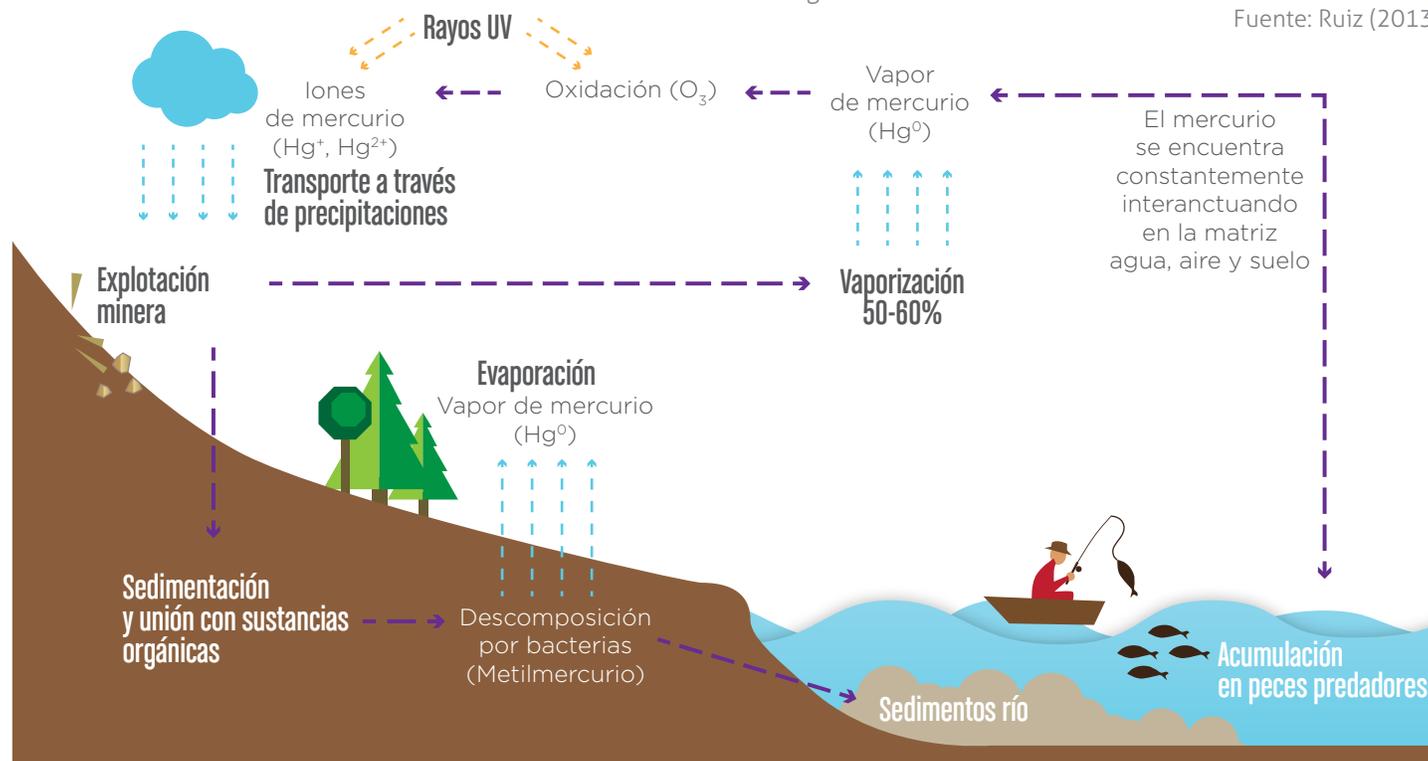
El mercurio se presenta en la naturaleza en diferentes especies químicas: las de tipo elemental (Hg^0), las de tipo inorgánico (Hg^+ , Hg^{2+}) y las orgánicas. El metilmercurio (HgCH_3) y el dimetilmercurio ($\text{Hg}(\text{CH}_3)_2$) son las formas orgánicas más tóxicas que afectan al sistema inmunológico, alteran los sistemas genéticos y enzimáticos y dañan el sistema nervioso, incluyendo la coordinación y los sentidos del tacto, el gusto y la vista.

Las principales manifestaciones por intoxicación con mercurio en el organismo humano son los daños al sistema nervioso; daños cerebrales; daño al ADN y a los cromosomas; reacciones alérgicas; cansancio; dolor de cabeza, y defectos de nacimiento y abortos.

El mercurio en estado cero es móvil en el ambiente, debido a que es ligeramente soluble en el agua (56 ug/l); por tanto produce contaminación de las aguas subterráneas y fuentes superficiales, cuando ocurre la disposición de colas de procesos de amalgamación. No todos los acuíferos resultan con concentraciones extremas de mercurio (Barringer et al., 2005). Sin embargo, un estudio determinó que en una mina de oro y plata, el mercurio de las colas del proceso se lixivió y contaminó las aguas subterráneas, alcanzando concentraciones hasta de 15 ug/l (Foucher et al., 2012). Otro riesgo es la práctica de cianuración de arenas previamente usadas en amalgamación, donde el cianuro forma con el mercurio complejos estables, solubles y difíciles de remover ($\text{Hg}(\text{CN})_2$ y $\text{Hg}(\text{CN})_4$). La lixiviación de complejos cianuro-mercurio (usualmente en forma Hg^{2+}), incrementa la concentración de mercurio en las aguas subterráneas (Coles y Cochrane, 2006).

6.2.1.1 CICLO DE MERCURIO

Figura 6.2: Ciclo dinámico del mercurio en el medio ambiente.
Fuente: Ruiz (2013).



En la figura se muestra gráficamente el ciclo biogeoquímico del mercurio. Se aprecia en esta que los compuestos orgánicos, especialmente el metilmercurio, pueden entrar en los organismos a partir de la biota acuática donde se bioacumula y posteriormente concentrarse en la cadena alimenticia (Programa de las Naciones Unidas y Ministerio del Medio Ambiente, 2012).

6.2.2. USO DEL MERCURIO Y SU NORMATIVIDAD EN COLOMBIA

El marco jurídico colombiano relacionado con el proceso de minería de oro sigue la jerarquía normativa existente, donde está la primacía de la norma constitucional, en segundo lugar las leyes y por último los reglamentos o decretos, dados no solo desde el ámbito nacional sino también regional y local.

Directamente relacionada con el manejo del mercurio la Ley 1658 del 2013 (Congreso de la República, 2013), desarrolla el marco legal “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”. Los ministerios de Minas y Energía; Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible; Salud y Protección Social; Trabajo; Agricultura y Desarrollo Rural; Transporte y Comercio, e Industria y Turismo, formularon el Plan Único Nacional de Mercurio (Ministerio de Medio Ambiente, 2014) y deberán realizar reglamentos técnicos sobre el tema.

La ley establece incentivos focalizados en el sector minero, buscando la eliminación del uso del mercurio. Cabe resaltar que los dueños de las plantas de beneficio de oro y los pequeños mineros auríferos podrán solicitar créditos blandos al Banco Agrario, al Fondo para el Financiamiento del Sector Agropecuario (Finagro) o a otra agencia del Estado especializada, para la reducción y eliminación del uso del mercurio o para la reubicación o traslado de dichas plantas a zonas compatibles con los planes de ordenamiento territorial (POT) existentes.

De igual manera, la Ley 1658 hace referencia a las denominadas “alternativas limpias”. En este punto, Colciencias fomentará la realización de investigaciones de tecnologías limpias para la reducción y la eliminación del mercurio en los diferentes procesos para obtener el metal precioso. Los ministerios de Minas y Energía; Comercio, Industria y Turismo; Educación y el Servicio Nacional de Aprendizaje (SENA) promoverán y desarrollarán, en el marco de sus competencias, la realización de programas de formación, capacitación, fortalecimiento empresarial y asistencia técnica, para la inserción de las tecnologías limpias en los procesos de beneficio de oro y demás procesos industriales y productivos asociados que requieren la utilización del mercurio (Congreso de la República, 2013).

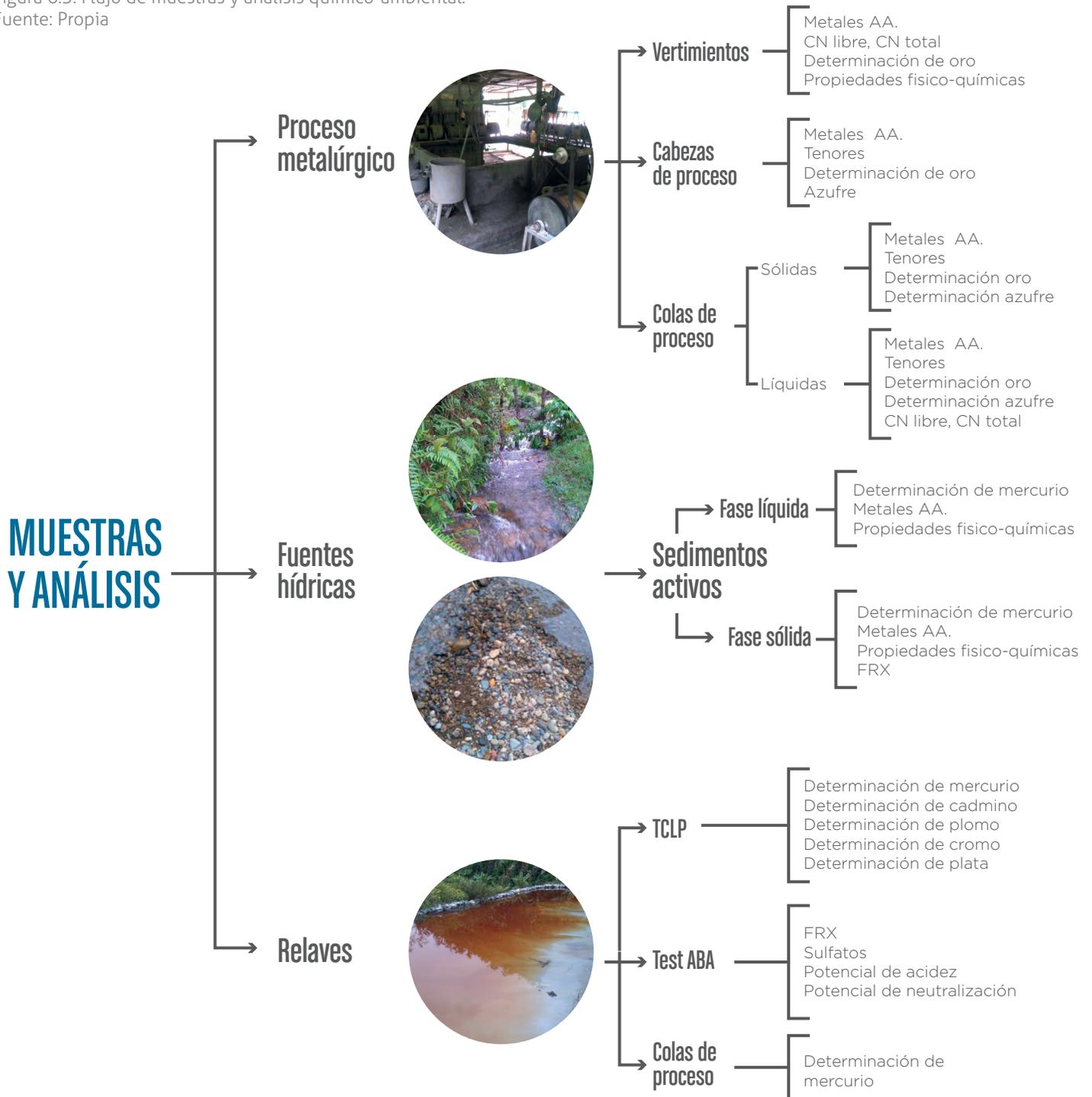
6.2.3. CARACTERIZACIÓN QUÍMICA Y AMBIENTAL

En el estudio y caracterización geoquímica de los minerales para las zonas de interés ambiental y geometalúrgico se analizan muestras de sedimentos y rocas representativas de las zonas influenciadas por la actividad minera. Con el propósito de hacer una investigación químico-ambiental fundamentada, se aplican diferentes técnicas instrumentales y gravimétricas: espectrofotometría de absorción atómica —técnica de detección— de llama (Au, Ag, Fe, Cu, Pb, Zn, Cr) y técnica de generación de hidruro para Hg; espectrometría de fluorescencia de rayos X (composición elemental para elementos mayores y menores); potenciometría de ion selectivo CN-total, y volumetría CN-.

Para llevar a cabo el control químico de los procesos metalúrgicos se realizó cuantificación de oro para controlar la cinética de disolución de oro en cianuro de sodio (cianuración); ensayos al fuego; eficiencias de proceso de recuperación de oro con zinc (Merrill Crowe), y caracterización de relaves. Durante dicho control se implementaron las pruebas de toxicidad para un residuo sólido (TCLP). Asimismo, para evaluar la posibilidad de generar drenaje ácido de mina se aplicó el test ABA a los materiales sólidos residuales de las plantas de beneficio (relaves) y, finalmente, se evaluaron las fuentes hídricas aledañas a la zona, en las cuales se cuantificó mercurio en sedimentos activos (fase sólida y fase líquida), y se realizó también análisis de vertimientos de proceso de beneficio.

Figura 6.3: Flujo de muestras y análisis químico-ambiental.

Fuente: Propia



6.2.4. ANÁLISIS QUÍMICOS APLICADOS PARA LA CARACTERIZACIÓN Y CONTROL DE PROCESOS METALÚRGICOS Y AMBIENTALES

Para la caracterización química de un mineral se requiere la aplicación de metodologías analíticas para cualificar y cuantificar los diferentes materiales, bien sean muestras geológicas, como material de veta en estado sólido, o muestras líquidas provenientes de los diferentes procesos metalúrgicos. De esta manera, se interactúa y se apoya en la investigación con las áreas de metalurgia y mineralogía.

En este contexto, se ha incluido la evaluación de las operaciones y procesos aplicados en la zona para beneficiar y extraer el oro del material, con el propósito de aportar información y conocimiento para un mejor aprovechamiento del recurso y para controlar el impacto ambiental generado en las plantas de beneficio. En particular, se busca proponer alternativas metalúrgicas para sustituir la amalgamación y evitar así el uso del mercurio, contribuyendo así a la sostenibilidad ambiental del proceso.

6.2.4.1. ESPECTROFOTOMETRÍA DE ABSORCIÓN ATÓMICA

Para realizar la determinación de metales (Fe, Cu, Pb, Zn, Ni, Mg, Mn, Mo, etc.) por absorción atómica de llama es necesario tener los analitos en solución y libres de posibles interferentes, como materia orgánica o particulado. Para lograr estas condiciones, y con el objeto de reducir la interferencia por materia orgánica y liberar los metales de la matriz manteniéndolos en solución, es necesario el tratamiento previo de las muestras y se debe realizar el procedimiento de preparación, digestión y preservación. Estos tratamientos se realizan según el tipo de matriz.

El mercurio también es medido con esta técnica, pero se realiza en ausencia de llama debido a su fácil volatilidad. Esta metodología se denomina absorción atómica-generación de hidruros (vapor frío).

La siguiente ecuación engloba la reacción de la cianuración y el compuesto que se analiza:



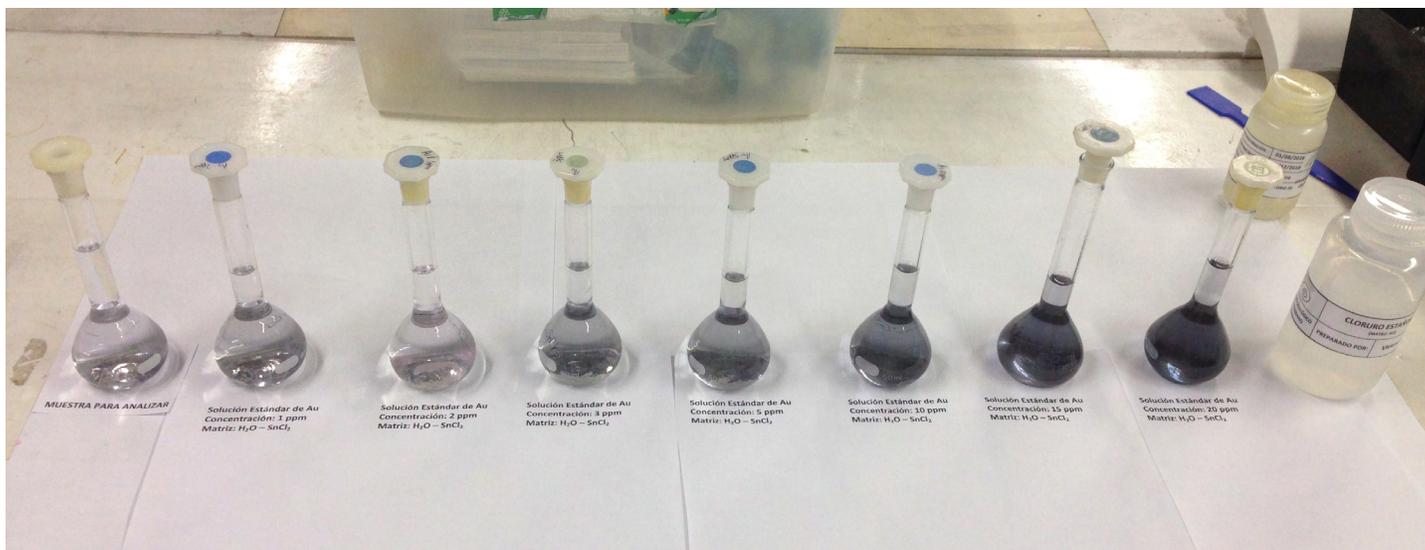
Estas técnicas se emplean específicamente de procesos de cianuración de oro, en los que se obtienen soluciones ricas en dicho metal y se hace necesario conocer sus concentraciones para efectos de control del proceso, como son las velocidades de disolución del oro, el consumo de cianuro, cal y oxígeno, en el control de recuperación de oro en procesos de precipitación con zinc, este análisis genera la información para evaluar en general la cinética de reacción, los porcentajes de recuperación y la efectividad de la lixiviación.

Por lo general, las muestras provienen de diversos orígenes siendo las más frecuentes las muestras de aguas, efluentes, rocas, suelos, etc.; como todas las matrices varían, son diferentes en su composición intrínseca y en su respuesta al tratamiento previo de adecuación a la medición por llama.

6.2.4.2. ESPECTROFOTOMETRÍA DE ULTRAVIOLETA VISIBLE

La determinación de oro por colorimetría es una alternativa de análisis instrumental aplicada en el caso de no contar con espectrofotómetro de absorción atómica (AA). Este método es aplicable en trabajo en campo.

Para la determinación de microcantidades de oro en soluciones cianuradas, se realiza la precipitación con zinc para eliminar interferencias. Esta precipitación se lleva a cabo con soluciones cianuradas que contengan una concentración de cianuro mayor que o igual a 1 g/l, y que se encuentren a valores de pH mayores de 11 unidades. El precipitado formado se disuelve y se desarrolla el color, usando el método de cloruro estañoso. Este reactivo permite cuantificar oro en soluciones, usando la prueba del método púrpura de Cassius.



Fotografía 17: Curva de calibración para el análisis de oro por colorimetría, posterior a medición en el equipo UV Vis. Fuente: Propia.

6.2.4.3. POTENCIOMETRÍA DEL ION CIANURO

Para determinar la cantidad de cianuro que se encuentra presente en una solución de proceso o solución final para desecharla, es necesario aplicar metodologías instrumentales que combinan destilación y potenciometría.

Una de estas metodologías es la descomposición de cianuro total a libre, la cual se realiza mediante el método de electrodo de ion selectivo integrado a un analizador de cianuro, la cual se fundamenta en la destilación de la solución de cianuro mediante enfriamiento de aire; el ácido cianhídrico (HCN) producido durante la reacción es condensado y absorbido por burbujeo en una solución de hidróxido de sodio (NaOH 0,1 N), e inmediatamente es detectado y leído usando el electrodo de ion selectivo para cianuro. El análisis permite determinar cianuro total en cualquier tipo de soluciones, con un rango de detección desde 5 ppb a 260 ppm. Puede ser aplicado para análisis de aguas residuales, aguas procedentes de procesos metalúrgicos y actividad minera.

En la determinación de cianuro en una solución se tienen en cuenta las siguientes etapas: la primera consiste en una titulación de cianuro libre, luego la medición de cianuro total (equipo cianómetro o equipo de destilación), y finalmente la interpretación del resultado, como se observa en la figura.

Figura 6.4: Determinación de cianuro total en una solución residual.
Fuente: Propia



6.2.5. TRATAMIENTOS PARA DESCOMPOSICIÓN DE CIANURO: FORMAS LIBRE Y COMPLEJO

6.2.5.1. EL CIANURO Y SUS FORMAS

El cianuro de sodio es ampliamente utilizado en la extracción de oro. Cuando se encuentra en solución y es adicionado un material de mina, este reacciona con los metales presentes y puede manifestarse en diferentes formas químicas, con mayor o menor afinidad. La figura presenta las formas de cianuro y relaciona los métodos de descomposición aplicados en este documento guía para lograr el entendimiento de las especies formadas cuando se realiza una cianuración de oro.

Para la determinación de cianuro total es importante conocer primero las posibles formas de cianuro que se encuentran en las soluciones residuales de procesos metalúrgicos (presentadas en el siguiente numeral).

Si no se cuenta con un cianómetro, este puede ser reemplazado por un equipo de destilación, y la determinación final se realizaría por titulación de cianuro libre.

Valor máximo permitido:
CN⁻ TOTAL = 1 mg/L Resolución 0631 de 2015

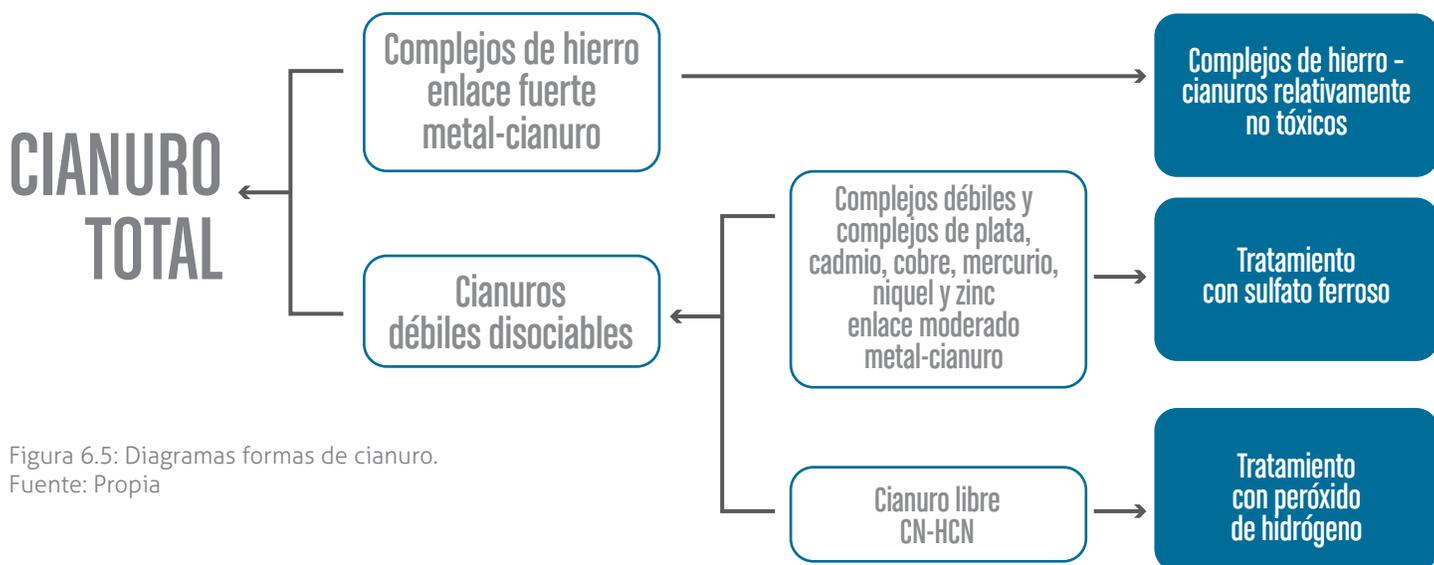


Figura 6.5: Diagramas formas de cianuro.

Fuente: Propia

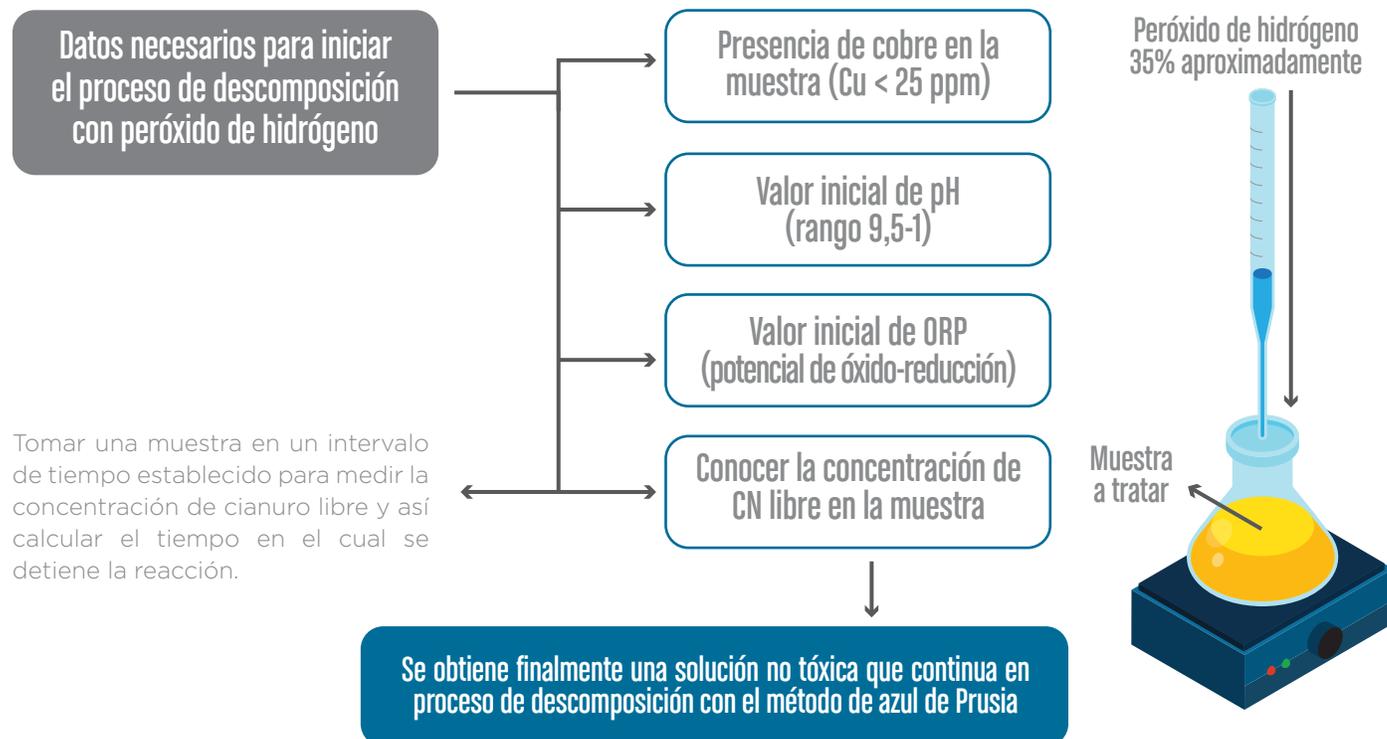
6.2.5.2. TRATAMIENTOS DE DESCOMPOSICIÓN: USO DEL PERÓXIDO DE HIDRÓGENO Y SULFATO FERROSO

De acuerdo con lo anterior, existen dos formas principales de cianuro: libre y compleja. Para el material del municipio de Andes (Antioquia) se desarrollaron dos tratamientos para cada forma, donde se evidenció la descomposición de cianuro en formas amigables con el medio ambiente. Para descomponer el cianuro libre se utiliza el método de descomposición con peróxido de hidrógeno al 35 %, que en ocasiones se encuentra en el mercado concentraciones mayores, las cuales pueden utilizarse de acuerdo con el cálculo de reacción. La figura evidencia los parámetros físico-químicos a tener en cuenta en el proceso y los equipos requeridos.

Figura 6.6: Tratamiento Método Peróxido de Hidrógeno-Descomposición Cianuro libre.

Fuente: Propia

MÉTODO PARA DESCOMPONER EL CIANURO LIBRE PRESENTE EN LA SOLUCIÓN POBRE.



Tomar una muestra en un intervalo de tiempo establecido para medir la concentración de cianuro libre y así calcular el tiempo en el cual se detiene la reacción.

• Cálculo para la dosificación de peróxido

Los valores necesarios para realizar el cálculo son:

1. Concentración de cianuro libre.
2. Volumen a tratar de muestra en ml.
3. Concentración de peróxido: ficha técnica del insumo o titulación con permanganato de potasio y ácido sulfúrico.
4. Densidad del peróxido a la concentración y temperatura usada.

Los reactivos usados son de grado comercial.

Es importante hacer ensayos en escala pequeña antes de realizar las descomposiciones de cianuro libre y complejo.

Convertir a peso de CN⁻:

$X = \text{cualquier cantidad} / \text{NaCN} = \text{cianuro de sodio} / \text{CN} = \text{cianuro}$

$(X \text{ mg NaCN/L}) * (1/1000\text{mg}) * (1\text{mol de NaCN}/49,00\text{g NaCN}) * (1\text{mol CN}^-/1\text{mol NaCN}) * (26,02\text{g CN}^-/1\text{mol de CN}^-) = \text{g de CN}^-/\text{L}$

Fórmula para el consumo de peróxido, relación 5 a 8 veces:

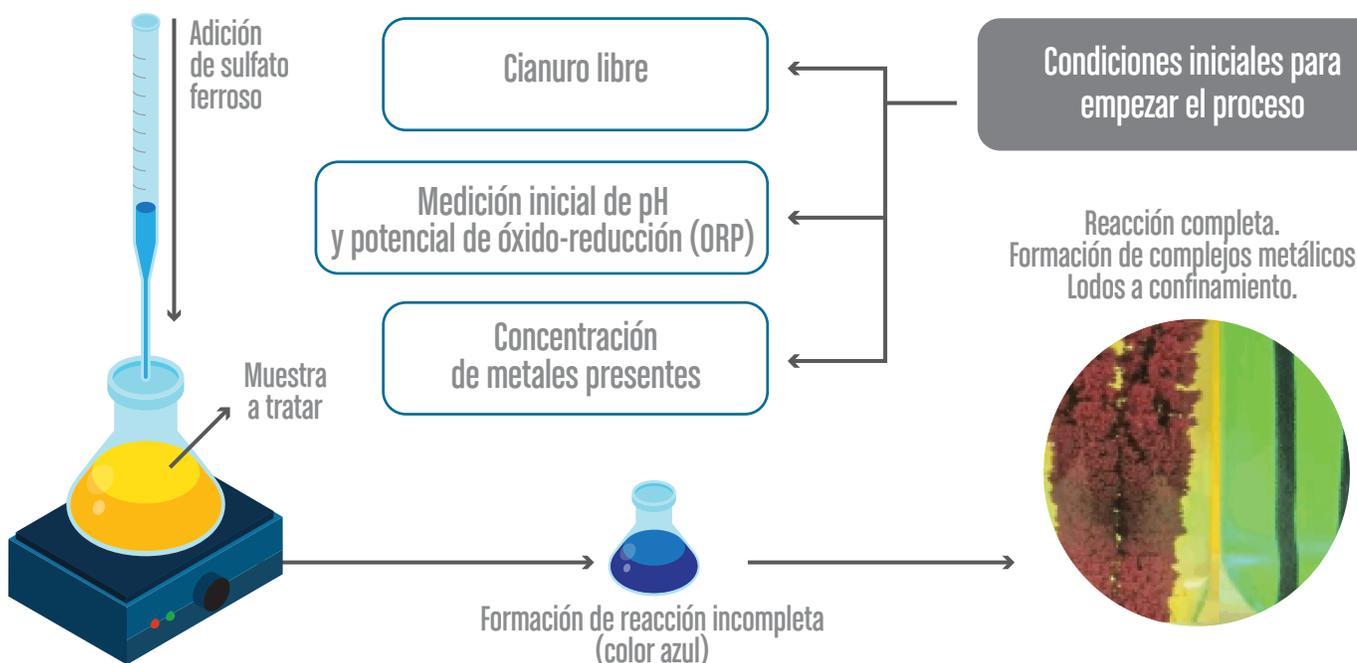
$X \text{ g CN}^-/\text{L} * \text{volumen de muestra a tratar} * 5 = \text{g de H}_2\text{O}_2$

$(\text{g de H}_2\text{O}_2/0,35)/1\text{ml}/1,19\text{g H}_2\text{O}_2 = \text{Volumen en ml a gastar de H}_2\text{O}_2$

La metodología del azul de Prusia es el proceso final para completar la descomposición de todos los complejos metálicos transformándolos a compuestos más estables y no que no generen impacto negativo en el medio ambiente. El material (lodo) producto de este proceso es llevado a confinamiento.

Figura 6.7: Tratamiento método azul de prusia.

Fuente: Propia



• Cálculo para la dosificación del sulfato ferroso (FeSO₄·7H₂O).

Los valores necesarios para realizar el cálculo son:

1. Concentración de cianuro libre no detectable (rango de trabajo ácido formación de HCN si la Rx continua).
2. Concentración de cianuro total: destilación y titulación o cianurómetro (complejo).
3. Volumen a tratar de muestra en ml para escalar y en litros en planta.
4. Concentración de sulfato ferroso: 33%.

Convertir a moles de CN⁻:

$X = \text{cualquier cantidad} / \text{NaCN} = \text{cianuro de sodio} / \text{CN} = \text{cianuro}$

$(X \text{ mg NaCN/L}) * (1/1000\text{mg}) * (1\text{mol de NaCN}/49,00\text{g NaCN}) * (1\text{mol CN}^-/1\text{mol NaCN}) = \text{moles de CN}^-/\text{L}$

Fórmula para el consumo de sulfato ferroso, relación 0,5 a 5 veces:

$X \text{ moles CN}^-/\text{L} * \text{volumen de muestra a tratar} * 0,5 \text{ o } 5 = \text{moles de FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$

$(\text{moles de FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O} * 278,05\text{g FeSO}_4/1\text{mol FeSO}_4 * \text{concentración de FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O} = \text{Volumen a necesitar de FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O al 33\%}$

• CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS DE LAS ETAPAS DE DESCOMPOSICIÓN

La concentración de cianuro total puede disminuir en el transcurso del tiempo y llegar al valor mínimo o no detectable. Los colores de estas reacciones que se llevaron a cabo fueron azul, verde y marrón, típicos de la precipitación de cianuro.

En carencia de hierro se puede formar azul de Prusia soluble que luego se convierte en hexacianoferrroso soluble. Al final de la coagulación-floculación se obtiene un color azul lo que indica que el tratamiento es incompleto. La solución final se torna marrón.



formación de compuestos
color: azul de prusia

Final de la reacción:
a filtración y disposición.

• PRUEBA DE CONTROL AMBIENTAL A CANCHAS DE RELAVES (Toxicity Characteristics Leaching Procedure)

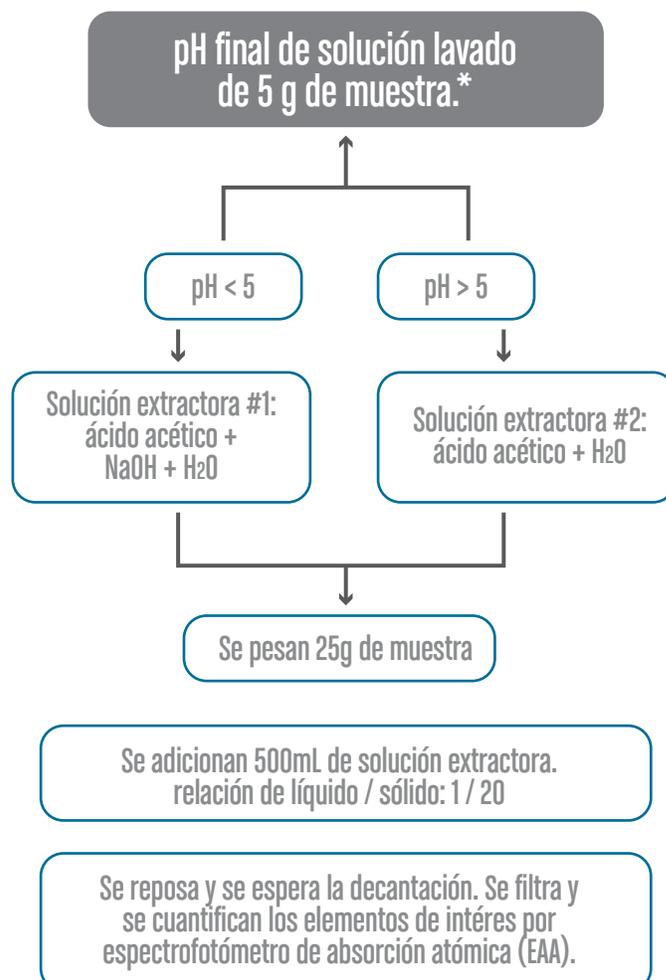
El análisis de TCLP es una prueba de lixiviación que mide la liberación de contaminantes en un residuo sólido cuando entra en contacto con fases líquidas. Hace parte de las pruebas de interés para residuos de beneficio de minerales auríferos junto con las pruebas de reactividad de cianuros y sulfuros.

Esta prueba clasifica si el residuo es peligroso o no, por lo que no aplican los valores de descarga para residuos industriales líquidos; se usan los límites asociados a concentraciones máximas que se pueden lixiviar de las muestras y esto depende de cada metal. Estos valores máximos se muestran en la siguiente tabla.

ELEMENTO	PERMISIBLE EN EL LIXIVIADO*
Arsénico - As	5,0
Bario - Ba	100
Cadmio- Cd	1,0
Cromo - Cr	5,0
Plomo - Pb	5,0
Mercurio-Hg	0,2
Selenio -Se	1,0
Plata - Ag	5,0

*Concentraciones máximas de contaminantes para la prueba TCLP-Decreto 4741 de 2005.

Figura 6.8: Porceso prueba TCLP.
Fuente: Propia



*Adicionar 3.5 ml de HCl 1 M, luego se calienta y agita por 10 min. medición de pH.

6.3. CARACTERÍSTICAS QUÍMICO - AMBIENTALES DE LA ZONA MINERA

6.3.1. RELAVES

Los patios de relaves o depósitos de colas por lo general no están confinados y están expuestos a los fenómenos meteorológicos del ambiente, como la humedad, la temperatura, la oxidación y la radiación solar. Estos factores inducen diversas reacciones químicas en el depósito que generan, entre otras cosas, acidez y iones solubles, por ejemplo los sulfatos y los iones metálicos. Tanto la acidez como los metales producen daño ambiental de una magnitud que depende del caso específico.



Fotografía 18: Patio de relaves en Andes (Antioquia). Fuente: Propia.



Fotografía 19: Toma de muestra en patio de relaves. Fuente: Propia.

El material de los relaves es tratado con hipoclorito de sodio. Se encontraron tres relaves en esta área, los cuales se separan por medio de costales del más antiguo, al recién procesado y confinado.

De acuerdo con los resultados obtenidos para los relaves de La Batea, La Simbra, El Molino y El Chaquiro, se encuentran concentraciones de arsénico, hierro, magnesio y aluminio en cantidades apreciables. El caso del material de desecho de la planta La Simbra, que contiene 8,32 % de As, 28,8 % de Fe y 31,93% de S, indica la posibilidad de encontrar potencialidad de drenaje ácido de mina. Concentraciones menores se encontraron en los relaves de El Chaquiro y El Molino.



Fotografía 20: Relave para ser reprocesado. Fuente: Propia.

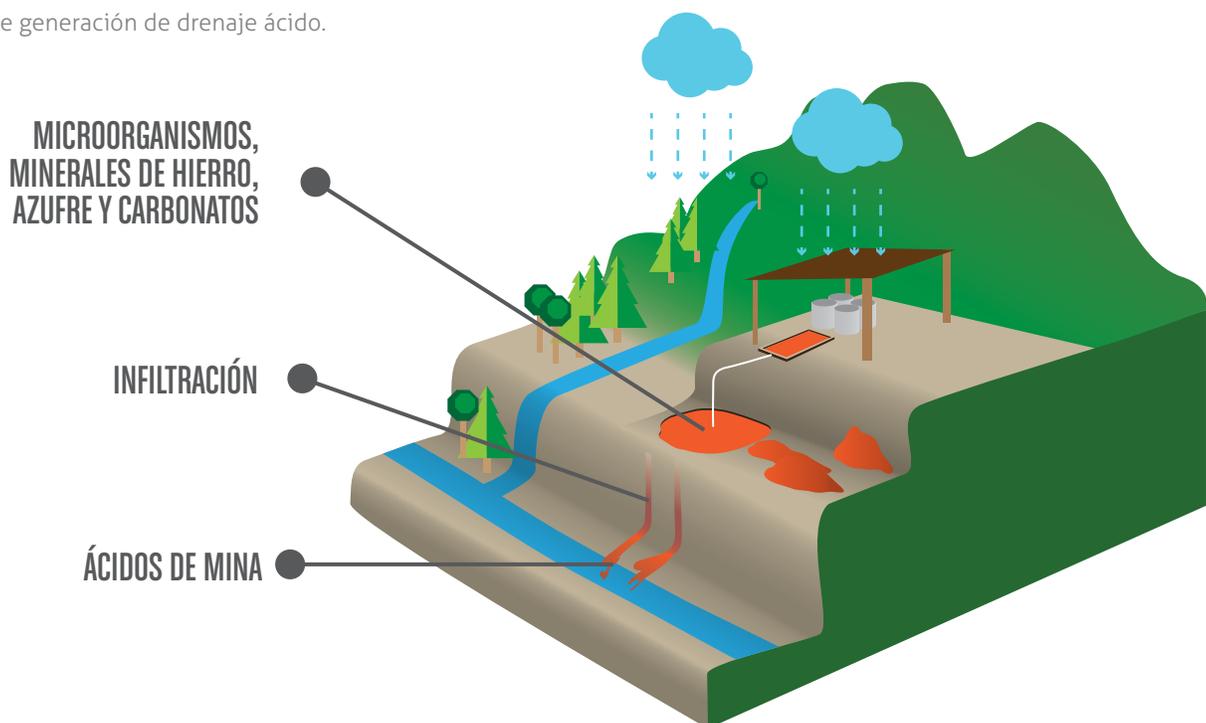
6.3.2. TEST ABA

Las interacciones que se presentan entre materiales depositados de botaderos, relaves y residuos derivados del proceso de beneficio del oro y el agua natural, el oxígeno y los microorganismos generan lo que se conoce como drenaje ácido de mina (DAM). Los minerales, al entrar en contacto con el aire, pueden sufrir procesos de oxidación química y lixiviación de metales, metaloides y aniones. Posteriormente, el agua del ambiente interactúa con los óxidos formados generando agua ácida, que contiene iones de metales pesados que son arrastrados a fuentes de agua superficial o subterránea contaminándola. En la figura se muestra el proceso de generación de drenaje ácido.

Las muestras cuya valoración en el test Fizz fue fuerte y moderado, es decir el relave de Santa Ana y El Molino, presentan un potencial de generación de ácido bajo o nulo, debido a que el porcentaje de sulfuros es bajo y es probable que haya un alto contenido de carbonatos capaces de neutralizar el ácido formado por las interacciones entre el ambiente y el azufre

Figura 6.9: Proceso de generación de drenaje ácido.

Fuente: Propia



de las muestras; además, el pH inicial de las muestras indica que su naturaleza es básica, por lo que es poco probable que el balance ácido-base, favorezca la producción de ácido.

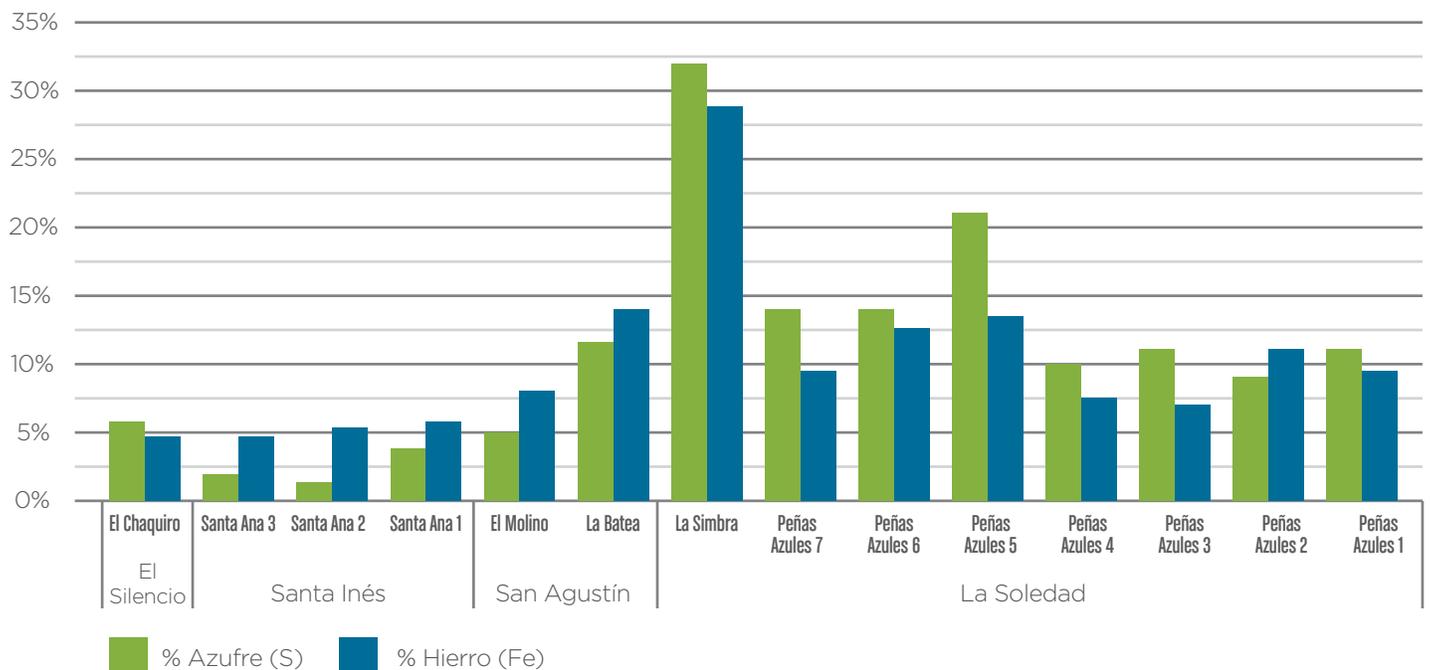
Por otra parte, el relave Pedro Ospina, del sector Peñas Azules, presenta un alto potencial de generación de ácido; es de una naturaleza ácida y exhibe un potencial de acidez superior al potencial de neutralización, lo cual indica que está favorecida la producción de elementos que conduzcan a la formación de DAM.

Las muestras que pueden o no presentar drenaje ácido, es decir las muestras provenientes de los relaves El Chaquiro y La Simbra, aunque son de naturaleza ácida, los resultados muestran que en estas existe un equilibrio entre el PA y PN, de manera que están en un punto medio entre la clasificación de generadoras o no generadoras de DAM. En estos casos es recomendable realizar ensayos cinéticos como el test de columnas, celdas de humedad o el Soxhlet extraction, mediante los cuales sea posible definir con certeza la capacidad neta de neutralización de ácido.

Romero, Medina y Flores (2008) hacen referencia a las diferentes zonas del país donde la actividad minera por sí misma afecta áreas relativamente pequeñas, pudiendo tener gran impacto local sobre el ambiente, puesto que la liberación de metales de los lugares mineros ocurre, principalmente, a través de DAM y erosión de desechos en pilas y depósitos de relaves. Cuando estos depósitos contienen sulfuros (pirita) y hay exposición al oxígeno, se obtienen resultados de DAM y, dependiendo de la naturaleza de los desechos de rocas y depósitos de relaves, este contendrá elevados niveles de metales pesados. El test ABA es una prueba implementada para predecir la posibilidad de un material de ser generador de ácido. Se evaluará de acuerdo con el contenido de los minerales identificados este fundamento de equilibrio ácido-base. La siguiente figura evidencia las concentraciones de hierro y azufre en el material de relaves.

Figura 6.10: Contenidos de Fe y S en relaves de la zona minera Andes (Antioquia) (Muestreo realizado 04-2017).

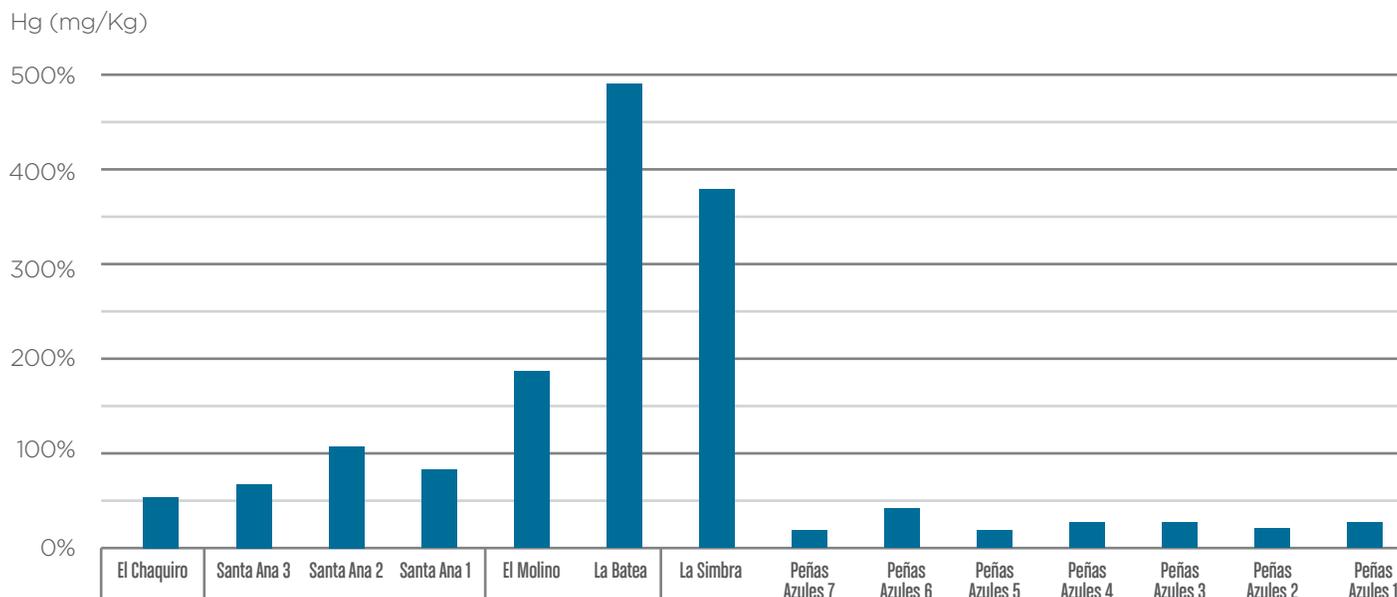
Fuente: Propia



Se identificaron dos tendencias de mineralización en el análisis geológico y estas se confirmaron al contrastar los resultados de caracterización química. En la primera mineralización, donde se involucra la precipitación de pirrotina ($Fe(1-x)S$) y arsenopirita ($FeAsS$), con contenidos de cuarzo (SiO_2) y pirita (FeS_2), se encuentran las minas de El Congo (El Molino), La Batea y Santa Ana. La Batea presenta concentraciones del 14,3 % para hierro y del 11,4 % para azufre, lo cual se atribuye a que la mineralización consiste en un filón de cuarzo y sulfuros. Adicionalmente, contiene pirrotina en cantidades del 30 al 60 %, y arsenopirita asociada a los bordes del filón. Caso similar se presenta en El Congo. El Chaquiro, por su parte, presenta una menor concentración, del 4,89 % de Fe y del 6,29 % para S. Entre los minerales presentes en Santa Ana se encuentran cuarzo (SiO_2), calcitas ($CaCO_3$) y carbonatos ($CO_3=$), y en su forma elemental se encuentran concentraciones de Ca del 3,31 %, del 1,65 % y del 4,37 % en los relaves 1, 2 y 3 de esta planta. Los valores de azufre para estos tres relaves son bajos: 3,88 %, 1,27 % y 1,89 % respectivamente, comparados con la mineralización de La Batea, Peñas Azules y La Simbra.

Figura 6.11: Distribución de mercurio en los relaves de la zona minera de Andes.

Fuente: Propia



6.3.3. PRUEBA DE TOXICIDAD (TCLP)

El análisis TCLP es una prueba de lixiviación que mide la liberación de contaminantes en un residuo sólido cuando entra en contacto con fases líquidas, y hace parte de las pruebas de interés para residuos de beneficio de minerales auríferos junto con las pruebas de reactividad de cianuros y sulfuros. En el siguiente diagrama se presentan los resultados obtenidos para los relaves de la zona estudiada.

Las concentraciones máximas permisibles para la prueba de TCLP se pueden encontrar en el numeral 6.2.5.2., “Prueba de control ambiental”.

Figura 6.12: Concentraciones de elementos con potencial peligroso prueba TCLP.

Fuente: Propia

REFERENCIA	ELEMENTOS LIXIVIADOS MEDIANTE LIXIVIACIÓN POR T.C.L.P. (mg/L)				
	Ag	Cr	Pb	Hg	Cd
Relave-Santa Ana 1	0,28	N.D.	N.D.	8,23	N.D.
Relave La Simbra	0,01	N.D.	N.D.	176,5	N.D.
Relave-Pdb-Chaquiro	0,03	N.D.	0,02	9,3	N.D.
Relave 1 Peñas Azules	0,04	N.D.	0,08	N.D.	0,07
Relave 4 Peñas Azules	0,03	N.D.	0,13	1,38	N.D.
Relave 7 Peñas Azules	0,08	N.D.	0,19	0,79	N.D.
Relave El Molino	0,06	N.D.	0,21	0,36	N.D.

Ag: Plata **Cd:** Cadmio **Hg:** Mercurio
Pb: Plomo **Cr:** Cromo **N.D.:** No detectado

6.3.4. FUENTES HÍDRICAS

Las muestras líquidas se tomaron del proceso de beneficio, de aguas superficiales (río, quebrada y arroyo) aledañas a las plantas de beneficio. La figura muestra la concentración encontrada para cada fuente hídrica muestreada. El punto de muestreo base es la planta de beneficio, y se realizaron tomas antes y después de la planta para el río Tapartó.

Figura 6.13: Mercurio en aguas superficiales zona minera Andes.

Fuente: (SGC, 2017).

EAA- GH. Thermo Scientific Ice Series 3000.

REFERENCIA	MUESTRA	pH en und.	Hg (ug/L ó ppb)
Quebrada El Silencio-aguas abajo del entable	A-QES-Chaquiro	6,77	0,80
Quebrada La García-aguas abajo	A-QLG-Santa Inés	7,19	1,30
Quebrada San Agustín-aguas abajo	A-QSA-San Agustín	6,28	N.D.
Quebrada La Soledad antes de desembocar el arroyo	A-QLS-Peñas Azules	6,30	1,10
Arroyo Peñas Azules antes de unión con quebrada La Soledad	A-APA-Peñas Azules	6,57	N.D.
Río Tapartó-aguas arriba	A-ART-Arriba Tapartó	6,50	0,39
Río Tapartó-aguas abajo	A-ART-Abajo Tapartó	6,50	N.D.
Aguas río Chaparrala	A-ALC-Aguas abajo	6,63	N.D.

Hg: Mercurio N.D: No detectado

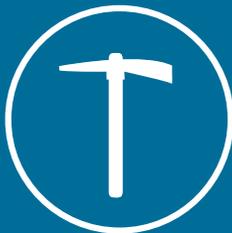
Las aguas superficiales muestran concentraciones fuera de los límites permisibles de mercurio (0,001 mg/l o 1 ppb), en caso de que estas fueran fuente para consumo humano. Para la quebrada La Soledad (planta Peñas Azules) y en la quebrada La García (planta Santa Ana) los resultados fueron de 1,1 y 1,3 µg/l de Hg respectivamente.

6.3.5. TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES CIANURADAS

Este estudio también evaluó la descomposición del cianuro contenido en las soluciones finales de procesos de beneficio, las cuales presentan especies libres y asociadas con metales lixiviados. Los tratamientos de descomposición fueron realizados en dos etapas secuenciales, con peróxido de hidrógeno y sulfato ferroso para cianuro libre y complejo, respectivamente, y se redujeron hasta un 98 % las concentraciones de cianuro.

De acuerdo con la normatividad colombiana en materia de residuos peligrosos, la toxicidad, como una de las características de peligrosidad, está definida en concordancia con las repuestas tóxicas, según lo señalado por el Anexo III del decreto 4741 del 2005 (Ministerio de Medio Ambiente, 2005).

La resolución 0062 del 30 de marzo del 2007 del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (Ideam, 2007) señala los protocolos de muestreo y análisis de laboratorio para la caracterización físico-química de los residuos o desechos peligrosos en el país (método TCLP).



6.4. CONSIDERACIONES QUÍMICO - AMBIENTALES

· Se encontraron valores apreciables de arsénico, hierro, aluminio, silicio, azufre y zinc para la muestra de filón mineralizado de la mina Peñas Azules; Esto se atribuye a la tendencia mineralizante encontrada en la metalogénesis y mineralización aurífera de la zona que se asocia a rocas metasedimentarias y donde existe dominio de la pirita. Para el filón mineralizado de la mina Topitos de La Rochela se encontraron valores bajos de hierro, arsénico, aluminio y azufre.

· El mercurio encontrado en las muestras líquidas de la parte metalúrgica como las colas de proceso, es un material residual con contenido de especies complejas formadas a partir de mercurio y cianuro. Esta problemática es generada por la cianuración de arenas previamente amalgamadas dando lugar a la formación de complejos como $\text{Hg}(\text{CN})_2$ y/o $\text{Hg}(\text{CN})_4$.

· Las aguas superficiales muestran concentraciones de mercurio mayores a 0.001 mg/L o 1 ppb. Para la Quebrada La Soledad (Planta Peñas Azules) y en la quebrada La García (Planta Santa Ana). La Quebrada el Silencio presenta valores menores.

· El sedimento activo del arroyo Peñas Azules presenta concentraciones de mercurio 816,0 ($\mu\text{g}/\text{Kg}$). Los valores encontrados superan los máximos normales para que la biota y la fauna logren estar en un ambiente adecuado, se hace necesario tomar medidas preventivas para que la dispersión del mercurio contenido en los materiales de proceso que vienen de amalgamación no intervenga con el ecosistema.

· Las concentraciones encontradas para el vertimiento de la Simbra no cumplen con la normatividad colombiana (Resolución 0631 del 2015), para los parámetros evaluados de Hg y ión CN. Es importante recalcar que en esta investigación se centró específicamente a estos dos analitos para el vertimiento pero la normatividad también incluye otros analitos que posiblemente por la naturaleza del material (Rico en sulfuros como Arsenopirita y pirita) pueda generar contaminación adicional para arsénico disuelto.

· La acidez encontrada en campo coincide con la composición encontrada de los relaves de Peñas Azules. Los relaves analizados mediante ensayo al fuego presentan tenores representativos para ser reprocesados.

· Los valores encontrados para los relaves de la planta peñas azules (relave 1, 2 y 3) no presentan elementos lixiviables por la prueba TCLP. Los relaves de Santa Ana y Chaquiro presentan concentraciones bajas de mercurio lixiviable. El mercurio que está presente en el relave La Simbra no se considera tóxico para el valor encontrado. (Decreto 4741 del 2005).

RECOMENDACIONES

· Por ser el beneficio de oro una actividad económica común a los pobladores del municipio de Andes, es necesario que en la comunidad adquiera equipos de medición que puedan ser utilizados en las áreas encargadas en las plantas y así controlar la lixiviación con cianuro, fundición y finalmente optimizar el proceso minimizando gastos.

· Se recomienda controlar los vertimientos a la planta La Simbra utilizando tanques y/o recipientes que logren almacenar el material líquido para ser tratado. Dadas las condiciones en las cuales se encuentran los depósitos de relaves del proceso de beneficio del oro, se recomienda realizar una adecuación del espacio con techos y geomembranas impermeables en el fondo del depósito para disminuir la exposición de los minerales presentes a fenómenos ambientales como las precipitaciones y a fenómenos de meteorización que promueven la generación de drenaje ácido de mina y la movilidad de metales pesados que pueden contaminar las fuentes hídricas cercanas.

· Se recomienda realizar investigaciones en procesos de biorremediación de sedimentos, empleando plantas que acumulen en sus tejidos, estabilicen o metabolizan el mercurio y otros metales pesados, disminuyendo el impacto ambiental que generan estos metales pesados a los ecosistemas y a la salud humana.

Trabajo en molino de bolas en planta de beneficio Andes (Antioquia).
Fotografía tomada por: Jaime Mojica / Servicio Geológico Colombiano

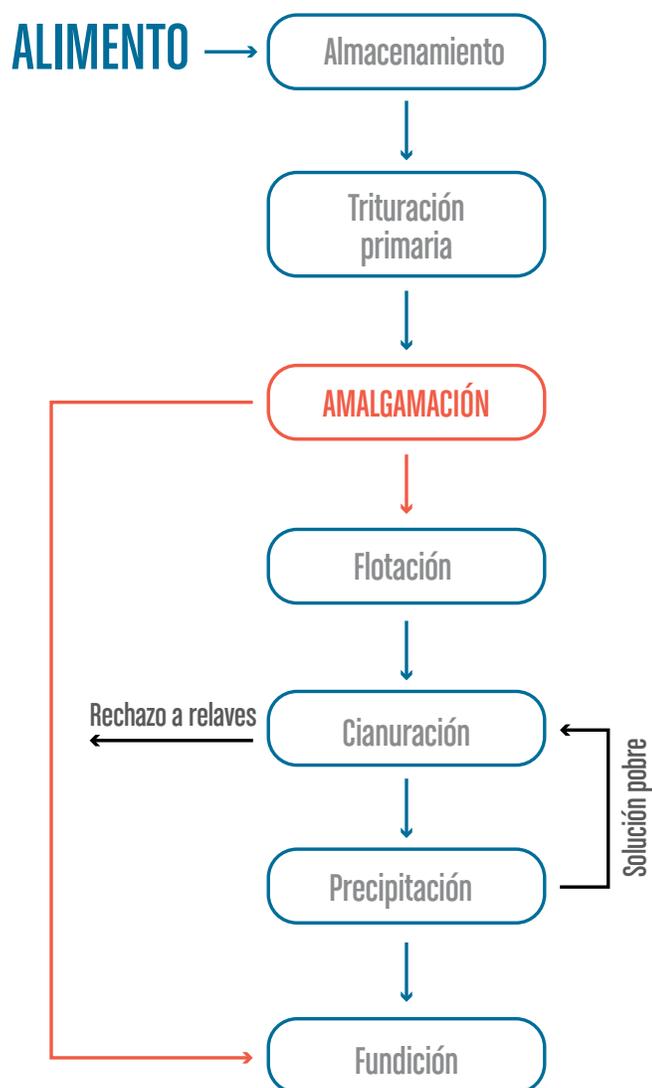
7. RUTA METALÚRGICA PROPUESTA PARA LA ZONA MINERA

Luego de realizar el recorrido por los aspectos relevantes a tener en cuenta en el proceso de beneficio de oro, en este capítulo se presenta la propuesta de ruta metalúrgica adecuada para aplicar en la zona minera, desarrollada de acuerdo con las características geológicas y mineralógicas, pruebas metalúrgicas y caracterización físico-química de relaves.

7.1. PROCESO DE BENEFICIO DESARROLLADO ACTUALMENTE

Figura 7.1: Diagrama de proceso de beneficio actual de la unidad geometalúrgica 1.

Fuente: Propia



Se detectó presencia de mercurio en la solución de lixiviación, lo cual es de esperarse ya que se cianura material de residuo del proceso de amalgamación. Esta práctica es bastante perjudicial debido a que el mercurio gana en su poder de migración al ser transportado como un ion en el complejo con cianuro.

7.1.1. PROCESO DE BENEFICIO ACTUAL EN LA UNIDAD GEOMETALÚRGICA 1

LA REDUCCIÓN DE TAMAÑO

En la visita se pudo apreciar que el producto de la trituradora de quijadas (trituración primaria) alimenta unos barriles amalgamadores, sin que medie una trituración secundaria (por ejemplo, una pulverizadora) entre ambos.

LA CONCENTRACIÓN

No hay concentración gravimétrica y todo el rechazo de amalgamación se lleva a cabo mediante un proceso de concentración por flotación, en el que el tenor es solo elevado 1,86 veces hasta 28,7 g Au/t.

El mercurio traído desde el proceso de amalgamación es concentrado en este proceso de flotación junto con los sulfuros, tal como muestran los análisis químicos de FRX y mercurio.

LA CIANURACIÓN

No se tiene certeza de que la muestra tomada, llamada solución final del proceso de cianuración, sea la solución rica del proceso como tal. De todas formas, una concentración de oro de 4,87 mg/l de solución en la solución rica de cianuración, se considera aún cercana al 50 % de recuperación.

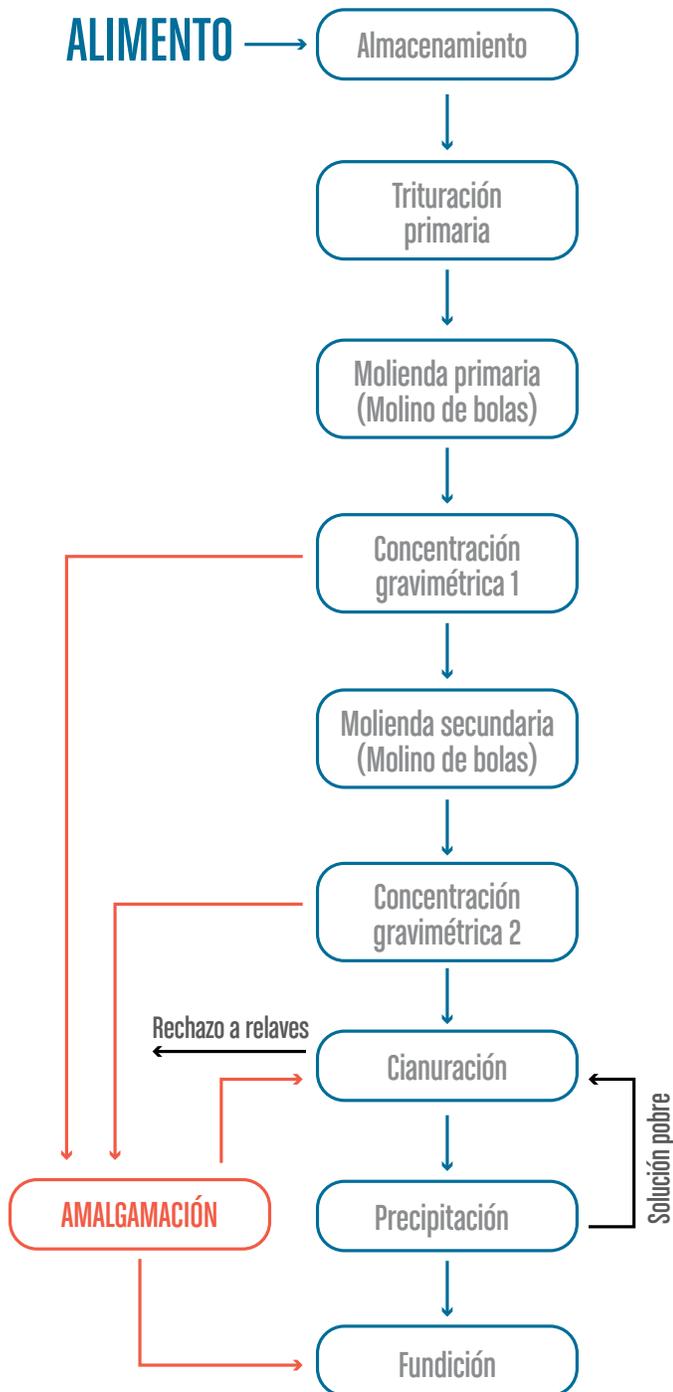
Po otra parte, se reportan concentraciones altas de hierro (140 mg/l) y zinc (219 mg/l) en la solución pobre, así como indicios de alta disolución de la pirita y la pirrotina, y de intoxicación con zinc en el proceso de saturación, respectivamente.

Se detectó presencia de mercurio en la solución de lixiviación, lo cual es de esperarse ya que se cianura material de residuo del proceso de amalgamación. Esta práctica es bastante perjudicial debido a que el mercurio gana en su poder de migración al ser transportado como un ion en el complejo con cianuro.

Por último, el contenido de cianuros libres está en condiciones normales entre 1 g/l y 1,5 g/l en las soluciones de cianuración.

Figura 7.2: Diagrama de proceso de beneficio actual de la unidad geometalúrgica 2.

Fuente: Propia



El mercurio encontrado en las muestras líquidas de la parte metalúrgica, como las colas de proceso, es un material residual con contenido de especies complejas formadas a partir de mercurio y cianuro, el cual es altamente tóxico al no descomponerse adecuadamente.

7.1.2. PROCESO DE BENEFICIO ACTUAL EN LA UNIDAD GEOMETALÚRGICA 2

LA REDUCCIÓN DE TAMAÑO

El material que va a la trituradora de martillos no es pasado por una trituración primaria de mandíbula, lo que demora los tiempos de acondicionamiento del mineral al tamaño adecuado para la alimentación del molino de bolas. No conviene alimentar el molino con partículas con tamaños exagerados para la condición del molino, debido a que se incurre en gastos innecesarios de energía, demoras en tiempos de operación, desgastes de equipo y baja oportunidad de controlar la molienda.

LA CONCENTRACIÓN

El concentrado gravimétrico lleva contenido el oro, que en gran parte está sin liberar. Dado su pequeño tamaño sería conveniente remoler dicho concentrado a un d_{80} de 45 μm , para exponer el oro y así cianurarlo.

El tenor de oro en el concentrado de la mesa 1 es de 27 g/t, obteniéndose una razón de concentración de 2,6 veces debido a la alta concentración de sulfuros de la mena.

LA CIANURACIÓN

Se reportan concentraciones altas de hierro (97 mg/l) y zinc (284 mg/l) en la solución pobre; indicios de alta disolución de la pirita y la pirrotina, y de intoxicación con zinc en el proceso de saturación, respectivamente.

El contenido de cianuros libres está en condiciones normales entre 1 g/l y 1,3 g/l en las soluciones de cianuración.

7.2 PROCESO DE BENEFICIO SUGERIDO SEGÚN LA MINERALOGÍA

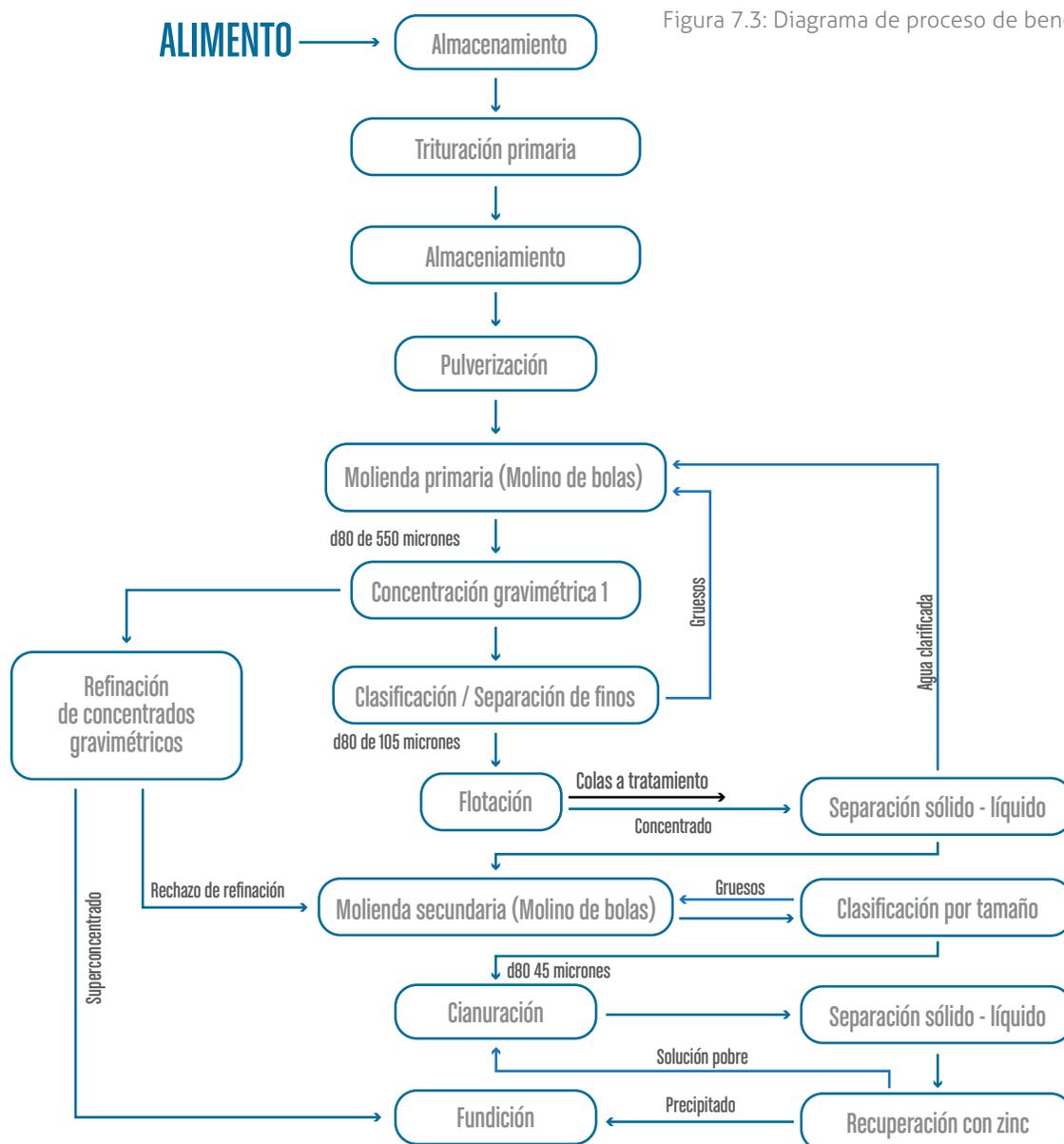


Figura 7.3: Diagrama de proceso de beneficio sugerido.
Fuente: Propia

La figura describe el flujo de operaciones y procesos propuesto para el aprovechamiento efectivo y ambientalmente sostenible del material de la zona minera de Andes (Antioquia).

Es necesario hacer énfasis en la dilución que por lo general sufre el material al ser extraído de las minas. La mezcla del material de mena con roca encajante por los métodos de arranque empleados diluye la concentración de los minerales de la mena, por lo que los criterios para la selección de la ruta metalúrgica planteada son:

- El análisis de la roca encajante no mostró presencia de oro.
- El oro también se encuentra asociado, en menor proporción, a la galena y a la esfalerita, sobre todo en algunas minas como Santa Ana, Peñas Azules y La Simbra, y en menor proporción a pirrotina, como en la mina La Batea.
- Asumiendo que todos los sulfuros por encima de 300 μm estuvieran liberados, se podría aspirar a una recuperación de un 90 % en un concentrado gravimétrico, y por debajo de 150 μm el índice de recuperación sería del 95 %. Teniendo

en cuenta la liberación de los minerales metálicos, la relación del oro con estos y el tamaño de liberación de la partícula de oro, se puede pensar que una molienda a un d80 de 425 μm puede ser un tamaño de referencia efectivo para la operación de concentración en mesa, según las condiciones del material.

Asumiendo que todos los sulfuros por encima de 300 micrómetros estuvieran liberados, se podría aspirar a una recuperación de un 90 % en un concentrado gravimétrico, y por debajo de 150 micrómetros el índice de recuperación sería del 95 %.

- A un tamaño de 300 μm aún queda un 10 % de los minerales metálicos asociado a la ganga. Para liberar y recuperar estos minerales hay que someter el material a una molienda secundaria, a 75 μm .
- Asumiendo que las partículas de oro libres en el rango entre 50 y 150 μm se recuperan aplicando concentración gravimétrica, se puede esperar una recuperación de oro en el rango del 64 % al 82 %. Se asume también que el oro menor a 50 μm , equivalente a un 18 % aproximadamente, se puede recuperar por flotación.
- A pesar de existir ciertas diferencias composicionales en las dos UGM del depósito es posible definir una ruta metalúrgica; lo que se debe modificar son algunas de las condiciones de operación.
- En la unidad de Peñas Azules el rango de liberación es mayor, lo cual se traduce en una molienda a menor tamaño para liberar los sulfuros.
- La piritita tiene mayor presencia en la UGM de Peñas Azules y por ser esta una piritita de génesis temprana, es estéril de oro y podría ser vista como ganga en los procesos de flotación.
- Dado que la molienda en un proceso de beneficio es la operación que consume más energía por unidad de masa tratada y es la que adecúa el material para las etapas subsiguientes, es muy importante racionalizar al máximo la operación, pues de la eficiencia de esta depende el éxito de las etapas siguientes del proceso. Hay que prevenir los excesos y evitar la sobremolienda no solo por el desperdicio de energía sino también para evitar dañar las características del material, pues esto impide llevar a cabo una operación controlada.
- De acuerdo con las características que presenta el material de estudio, con la molienda primaria con distribución de tamaño de partícula de d80 de 550 μm se garantizó la liberación de la mayor proporción de sulfuros a un tamaño propicio para ser concentrados gravimétricamente, separándolos de la ganga. El material precioso viene libre y asociado a dichos sulfuros, en especial la arsenopiritita.

7.2.1. RECOMENDACIONES METALÚRGICAS

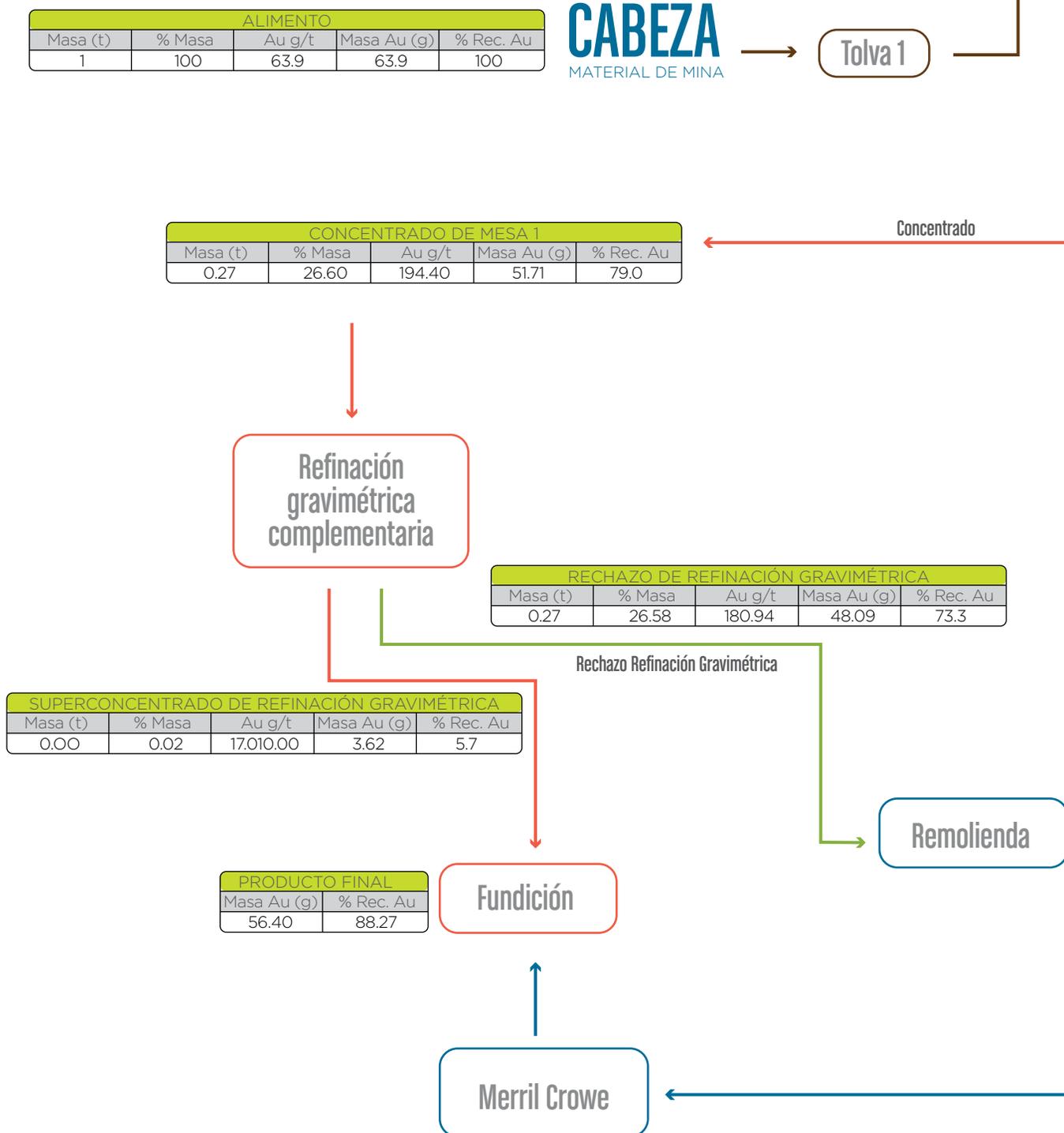
- Establecer las condiciones de la cianuración de los concentrados de los materiales de mina de la zona, para poder llevar a cabo el proceso con la mayor efectividad posible.
- Ensayar el método de Merrill Crowe para la recuperación de oro y plata de la solución rica de cianuración de los materiales de estudio, y establecer las bases técnicas para recomendar su instalación en las plantas de beneficio de la zona.
- Calcular el exceso de energía y el tiempo de producción provocado por el sobretamaño de las partículas con las que es alimentado el molino primario para, a partir de allí, sugerir un diagrama que ajuste el procedimiento de reducción de tamaño.
- Mejorar la operación de reducción de tamaño mediante la integración de una etapa de pulverización entre la trituradora de mandíbulas y el molino primario.
- Mejorar las operaciones de concentración de mesa y concentración por flotación, haciendo énfasis en el tamaño de la partícula del material.
- Establecer un procedimiento para el tratamiento de los cianuros complejos presentes en las soluciones residuales de cianuración.
- Determinar la composición de la partícula de oro mediante microscopía electrónica.

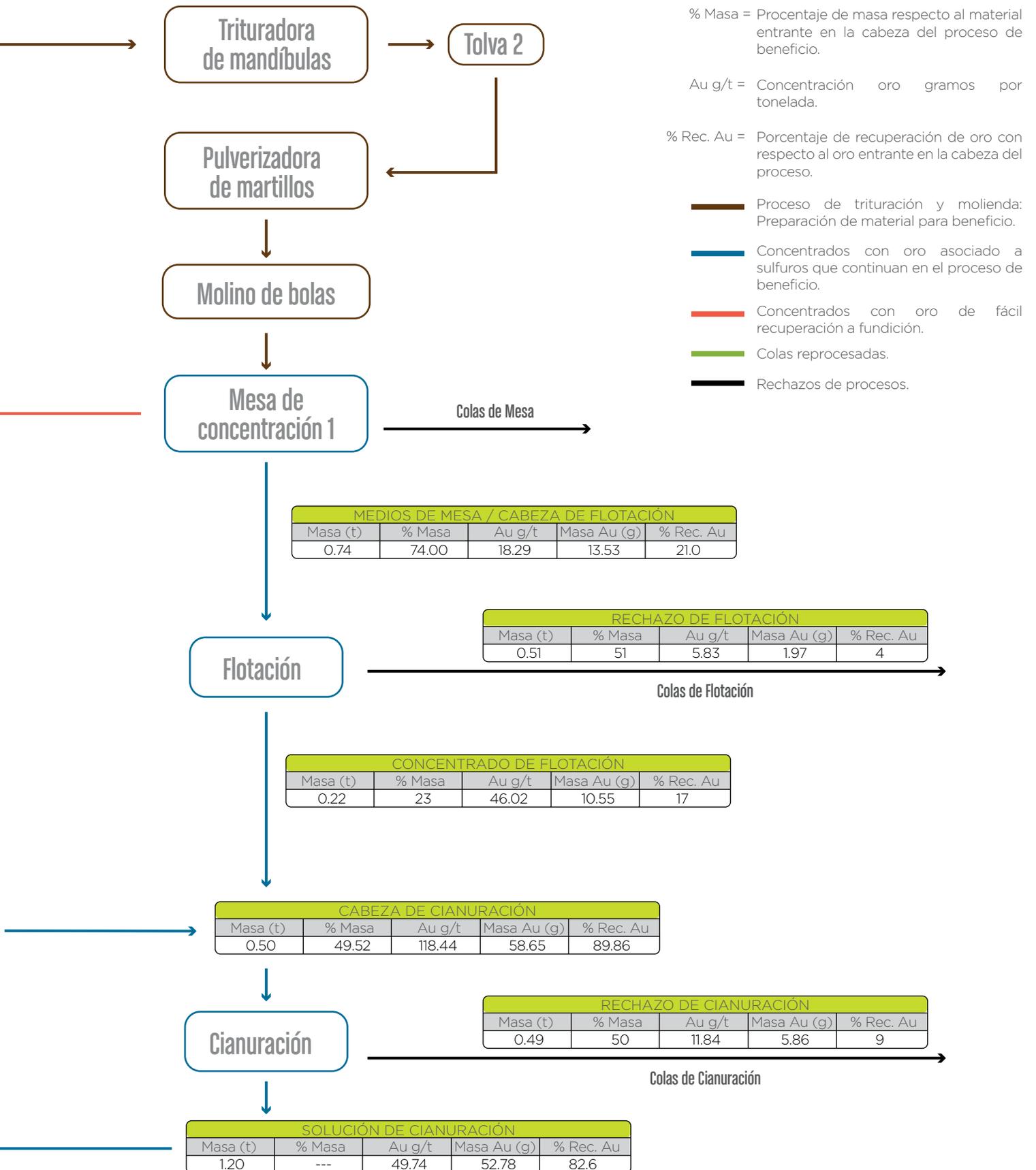
7.3. DIAGRAMA DE FLUJO DE OPERACIONES, PROCESOS Y MASA PARA EL BENEFICIO SUGERIDO

El diagrama de flujo con balance de materia permite visualizar y tener control sobre la cantidad de mineral de entrada y salida, así como de oro procesado en cada etapa del circuito de beneficio.

Figura 7.4: Diagrama de proceso de beneficio con balance de materia.

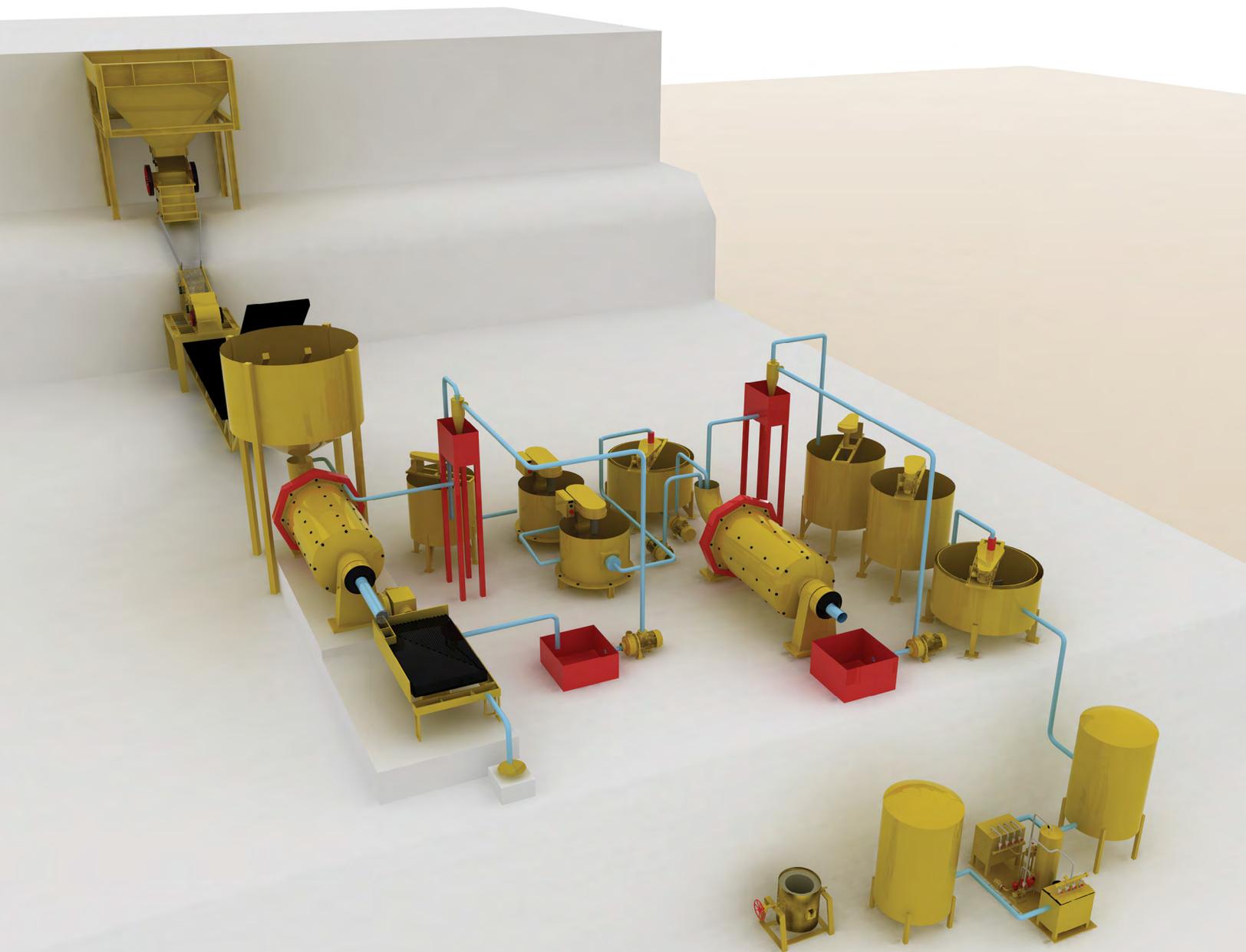
Fuente: Propia





7.4. MONTAJE DE PLANTA DE BENEFICIO SUGERIDA

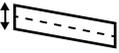
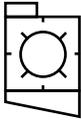
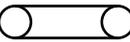
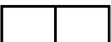
Fotografía 21: Modelado en 3D de la planta de beneficio propuesta para la zona minera.

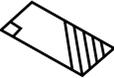
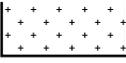
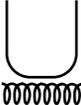


El gráfico muestra una aproximación a la configuración de la planta de beneficio que se requiere para seguir los pasos de la ruta metalúrgica sugerida. Además, abarca los equipos que componen la planta de beneficio actual, proponiendo una adecuación que los incluya.

La inclusión de los nuevos equipos permitirá la eliminación del mercurio, haciendo un proceso ambientalmente sostenible, lo que proporcionará una optimización de los recursos y un mayor aprovechamiento del material, lo cual se traduce en un mayor porcentaje de recuperación de oro.

CONVENCIONES

SÍMBOLO	MÁQUINA	FOTOGRAFÍA
	TOLVA	
	TRITURADORA DE QUIJADAS	
	CRIBA VIBRATORIA	
	TRITURADORA DE MARTILLOS	
	BANDA TRANSPORTADORA	
	MOLINO DE BOLAS	
	HIDROCICLÓN	
	CAJA REPARTIDORA	
	TANQUE ACONDICIONADOR	
	CELDA DE FLOTACIÓN CIRCULARES	
	TANQUE DE COLAS	

SÍMBOLO	MÁQUINA	FOTOGRAFÍA
	JIG CONCENTRADOR GRAVIMÉTRICO	
	CAJA DE PULPA	
	BOMBA CENTRÍFUGA	
	MESA DE CONCENTRACIÓN	
	TANQUES AGITADORES	
	FILTRO DE TAMBOR	
	TANQUE SOLUCIÓN RICA	
	TANQUE SOLUCIÓN POBRE	
	TANQUE DE AGUA DE PROCESO	
	TANQUE ESPESADOR	
	FUNDICIÓN CRISOL	



7.6. CONCLUSIONES METALÚRGICAS ACERCA DE LAS OPERACIONES ACTUALES

- La zona minera de Andes, en general, y las plantas de beneficio en particular, requieren laboratorios para medir y controlar operativamente sus procesos.
- Los sistemas de concentración que trabajan fundamentalmente con la mesa Wilfley producen concentrados con tenores de oro no muy altos, y actualmente abastecen satisfactoriamente el proceso de amalgamación.
- La flotación produce concentrados acordes con la cantidad de sulfuros de las menas.
- Si bien puede haber algunas partículas de oro de tamaño superior a los 200 μm , el tamaño de estas partículas se presenta en su mayoría en el rango 50-150 μm , de modo que pueden ser cianuradas sin que requieran tiempos prolongados para este proceso. Desde este punto de vista, los concentrados de flotación y los rechazos de batea pueden ir a cianuración, condicionado esto a una adecuada molienda previa.
- Los concentrados de mesa tienen una composición alta de ganga. Esto significa que la separación de materiales livianos, como los silicatos, es incompleta. En la visita de campo se apreció que el concentrado llevaba partículas muy grandes de silicatos producto de las condiciones de molienda.
- El circuito de reducción de tamaño que se acostumbra usar en la zona consiste en trituradora de quijadas-molino primario; teóricamente, debe complementarse de tal manera que quede compuesto por: dos etapas de trituración y una molienda.
- Al no haber clasificación del producto de molienda, muchas partículas de tamaño excesivo van a la concentración, distorsionando la operación.
- La concentración de oro en solución rica de cianuración (4,7 mg/l) en la planta de El Congo debe incrementarse para lograr eficiencias mayores en la productividad de la cianuración. De acuerdo con los resultados de laboratorio, se podría llegar a tener soluciones de hasta 75 mg/l al cianurar colas de batea y concentrados de flotación.
- En la zona no se aplica el proceso de Merrill Crowe para la recuperación de oro y plata de la solución rica de cianuración; en su lugar, se practica el método de saturación con zinc. Esta práctica hace que los consumos de zinc sean mayores, la intoxicación con zinc de la solución pobre sea más rápida y que la extracción de oro no sea completa.
- Las soluciones residuales de cianuración analizadas muestran una cantidad apreciable de compuestos de cianuros complejos de hierro, zinc y probablemente mercurio. Esto exige implantar un procedimiento químico por medio del cual se neutralicen dichos compuestos, para así poder desechar las soluciones residuales sin que impacten negativamente el ambiente.
- Las plantas de beneficio se aprecian en buen estado y con superficies que se prestan a ampliaciones y reformas. Las plantas de Peñas Azules y El Molino están montadas en terrenos con pendiente, de tal modo que aprovechan muy bien la fuerza de la gravedad para el tránsito del material entre las operaciones y procesos.
- Entre los desarrollos tecnológicos adelantados se encuentran la flotación y la cianuración por agitación; el sistema de sedimentación, clarificación y reutilización del agua, y los patios de relaves.
- Los mineros disponen de insuficientes instrumentos de medida y análisis para poder tener un control operativo y contable adecuado de sus operaciones.



7.7. CONSIDERACIONES METALÚRGICAS ACERCA DE LA RUTA PROPUESTA

CON RESPECTO A LA COMPOSICIÓN Y EL TAMAÑO DE LIBERACIÓN DE LAS PARTÍCULAS

- En el material estudiado de las minas las partículas de oro tienden a ser de un tamaño inferior a los 150 μm .
- En la composición mineralógica de los materiales de las minas aparecen los mismos minerales: pirita, arsenopirita, galena, esfalerita, pirrotina, principalmente, diferenciándose en sus proporciones.
- En La Luz del Congo, a 450 μm el 68 % de los sulfuros metálicos estaría liberado; a 50 μm lo estaría el 98 %.
- En la mina Peñas Azules a 450 μm el 80 % de los sulfuros metálicos estaría liberado; a 50 μm , el 88 %.
- La mineralogía aportó información efectiva para predecir que, para el material de estudio, el 18 % del oro es propenso a concentrarse por flotación y el 82 % por gravimetría.

CON RESPECTO A LA REDUCCIÓN DE TAMAÑO.

- Se plantea una preparación del material sometiéndolo a una reducción de tamaño secuencial: primero con la trituradora de mandíbulas, seguida por el pulverizador —que puede ser de martillo— y finalizando con el molino de bolas.
- La molienda primaria puede llevarse a cabo teniendo como malla de control la de 500 μm . Se sugiere que la molienda secundaria, a un tamaño de 45 μm , se aplique sobre el rechazo de la concentración gravimétrica.

CON RESPECTO A LA CONCENTRACIÓN GRAVIMÉTRICA

- Los subproductos de la refinación de concentrados gravimétricos responden adecuadamente a la cianuración.
- Es factible obtener un superconcentrado con un tenor de 16 g/kg de oro y fundirlo para recuperar así el 5,6 %

del oro en una cantidad de masa equivalente al 0,02 % de la que entró originalmente.

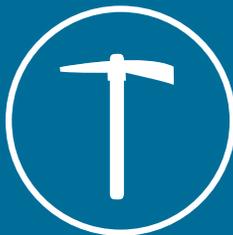
- El material neto de rechazo de la operación de concentración gravimétrica contiene el 73 % del oro. Debe molerse a un d80, por lo menos de 45 μm , antes de cianurarlo.

CON RESPECTO A LA CONCENTRACIÓN POR FLOTACIÓN

- El tamaño de partícula del material a flotar debe ser menor a 106 μm por lo menos.
- La pulpa del material estudiado presenta un pH igual a 7. Es importante la adición de ácido sulfúrico y mantener un pH inferior a 6 durante la flotación.

CON RESPECTO A LA CIANURACIÓN

- En este estudio el proceso de cianuración es alimentado con el concentrado de flotación extraído del rechazo remolido de la concentración gravimétrica, y por el rechazo de la operación de refinación de los concentrados gravimétricos.
- Hay presencia de algunos minerales consumidores de oxígeno y cianuro de sodio durante la cianuración del oro y la plata del material de estudio.
- Se le atribuye a la pirrotina y a la pirita en proceso de oxidación los consumos de cianuro de sodio y de oxígeno adicionales a lo requerido para la lixiviación del oro.
- Se prevé que el gasto de cianuro de sodio durante la lixiviación de oro para 18 h de proceso esté entre 6 y 8 kg de cianuro de sodio por tonelada de material lixiviado.
- Se prevé que el gasto de cal durante la lixiviación de oro sea de aproximadamente 8 kg/t de material lixiviado. Esto debido al tratamiento previo con peróxido, que acidifica un poco la solución.
- Es necesario asistir la cianuración con oxígeno, bien sea con aireación inducida en los cianuradores o con peróxido de hidrógeno, advirtiendo acerca del cuidado que hay que tener con este reactivo.



- Es posible hacer aún más eficiente el proceso extractivo para que, de este modo, el material de rechazo de la flotación y de la cianuración tenga un tenor de oro menor.

CON RESPECTO A LA EXTRACCIÓN DE ORO POR FUNDICIÓN DE UN SUPERCONCENTRADO GRAVIMÉTRICO

- Un concentrado de oro debe tener un tenor igual o superior a 3 g de oro por kg de concentrado para que su fundición directa sea justificable en términos de gastos de fundentes, de energía, de uso eficiente del crisol y del horno, y de obtención de un buillón notable y manejable con respecto a la escoria. El superconcentrado conseguido en este estudio reporta un tenor de 16 g de oro por kg de concentrado, por lo que se concluye que dicho superconcentrado presenta una excelente condición para su fundición directa.

- **Según los resultados obtenidos, la extracción por refinación gravimétrica y fundición, así como la extracción química con cianuro de sodio, pueden sustituir la extracción de oro con mercurio, con grandes ventajas técnicas, productivas, ambientales y económicas en Andes (Antioquia), con porcentajes de recuperación de oro mínimo del 88,27 %.**

7.8. CONCLUSIONES ACERCA DE LA SUSTITUCIÓN DE LA AMALGAMACIÓN

- Según todos los resultados obtenidos, la extracción por refinación gravimétrica y fundición, y la extracción química con cianuro de sodio, pueden sustituir la extracción de oro con mercurio con grandes ventajas técnicas, productivas y ambientales en Andes (Antioquia), con porcentajes de recuperación de oro mínimo de 88.27%.
- Hay oro grueso susceptible de ser concentrado gravimétricamente para ser extraído por fundición directa de un superconcentrado.
- Hay oro fino susceptible de ser concentrado por flotación espumante y para extraerlo por cianuración.
- Los concentrados de oro, generados en la concentración gravimétrica y en la flotación, pueden llegar a representar menos del 50 % de la masa del material inicial que entra al proceso.
- Dado que la masa que entra al proceso es reducida por medio de la concentración a la mitad, el consumo de reactivos para la cianuración se verá reducido y la capacidad de producción de los tanques se incrementará con respecto a la situación actual.
- De acuerdo con la mineralogía de la muestra de la mina, el oro podría extraerse por cianuración efectuados previos procedimientos adecuados de concentración tanto en mesa como por flotación y molienda fina, reemplazando así el proceso de amalgamación.
- Las partículas de oro están, en su mayor parte, en el rango 50-150 μm , de modo que el tiempo de cianuración no debe ser muy prolongado. No obstante, hay que considerar los efectos de inhibición que puedan darse.

Entables contruidos para los montajes de las plantas de beneficio en Andes (Antioquia)
Fotografía tomada por: Jaime Mojica / Servicio Geológico Colombiano

8. ESTUDIO ECONÓMICO Y FINANCIERO

La toma de decisiones de inversión en proyectos de reconversión y modernización tecnológica de una empresa minera requiere un análisis económico y financiero riguroso, con el fin de establecer la conveniencia de emprender el proyecto y efectuar una asignación eficiente de recursos.

En este capítulo se aportan los fundamentos teóricos y metodológicos mínimamente necesarios para que el minero pueda realizar un ejercicio de planeación y evaluación financiera de la operación futura de su planta de beneficio, después de haber implementado la ruta metalúrgica propuesta en esta guía.

8.1. FUNDAMENTOS TEÓRICOS PARA LA EVALUACIÓN FINANCIERA DEL PROYECTO

Esta primera sección se dedica al estudio de generalidades teóricas relacionadas con los proyectos de inversión, al análisis de cada una de las etapas que comprende el estudio y a la evaluación financiera de proyectos de inversión.

8.1.1. GENERALIDADES SOBRE LOS PROYECTOS DE INVERSIÓN

8.1.1.1 DEFINICIÓN

Un proyecto de inversión es un plan que contiene dos elementos esenciales: una serie de actividades secuenciales e interrelacionadas entre sí y la descripción del conjunto de recursos o medios necesarios para la materialización de una idea, la satisfacción de una necesidad o la solución de un problema. En este sentido, los proyectos constituyen un instrumento básico de información para la toma de decisiones de inversión.

8.1.1.2 CLASIFICACIÓN

En general, los proyectos de inversión se clasifican en tres campos:

- a) Según la categoría. De acuerdo con esta clasificación, los proyectos pueden ser de producción de bienes o de prestación de servicios. (En este caso, el proyecto es de producción de bienes).
- b) Según la actividad económica. Esta clasificación se efectúa con base en el sector económico que atiende el proyecto. (En este caso, el sector económico del proyecto es el de minería aurífera).
- c) Según el carácter y la naturaleza de la entidad que los promueva. De acuerdo con esta característica, los proyectos se clasifican en privados (con ánimo de lucro) y públicos (sin ánimo de lucro). (En este caso, el proyecto es de carácter privado con ánimo de lucro).

8.1.1.3. EL CICLO DE LOS PROYECTOS:

El término *ciclo de vida* de un proyecto hace referencia al conjunto de etapas secuenciales que van desde su inicio hasta su cierre. En la formulación y evaluación de proyectos es indispensable disponer de información oportuna, confiable y suficiente en cada una de estas etapas, para que el inversionista pueda tomar decisiones acertadas.

Las etapas del ciclo de vida de los proyectos son la propuesta, la preinversión, la inversión y la operación.

- **La propuesta**

En esta etapa se realizan los estudios diagnósticos necesarios para identificar los problemas que requieren solución y las oportunidades de negocio que puedan aprovecharse. En el caso de los proyectos de modernización tecnológica, esta etapa corresponde a todos los estudios diagnósticos del sistema de operación que se realizan con el fin de identificar necesidades de reemplazo de maquinarias y equipos obsoletos y la sustitución de procesos.

- **La preinversión**

Esta etapa comprende la realización de estudios previos a la toma de decisiones de inversión. Por lo general, esta etapa se divide en dos fases: la formulación y la evaluación.

- **La formulación del proyecto:**

En la fase de formulación, los estudios técnicos que se efectúan tienen como objetivo fundamental establecer los mejores procedimientos para satisfacer la necesidad o solucionar los problemas previamente identificados, así como cuantificar los recursos necesarios para la puesta en marcha de la propuesta y, finalmente, estimar los ingresos y egresos que resultarán de la operación del proyecto.

La etapa de formulación del proyecto se puede desarrollar en dos niveles: prefactibilidad y factibilidad.

Los proyectos de inversión tienen varios orígenes. En el caso de los proyectos de innovación y modernización tecnológica, estos resultan de la necesidad de las empresas de aumentar su productividad, adoptar prácticas responsables con el medio ambiente y disminuir costos directos para competir eficientemente en el mercado con precio y calidad, y, a la vez, contribuir al desarrollo sostenible de la región en donde se desarrolla el proyecto.

Prefactibilidad

En los estudios de prefactibilidad, las investigaciones se realizan de forma preliminar a partir de información proveniente de fuentes primarias (trabajo de campo) y secundarias (bibliográficas). Vale la pena aclarar que en algunos casos la información secundaria es limitada, por lo cual es necesario realizar una investigación más profunda antes de decidir la elaboración de un estudio definitivo o de factibilidad.

Factibilidad

En los estudios de factibilidad, o definitivos, las investigaciones que se realizan son de mayor profundidad, puesto que la información resultante debe permitir la definición de estrategias definitivas para la materialización de la propuesta. Por lo general, los estudios de prefactibilidad o de factibilidad contienen los siguientes estudios:

- Estudio de mercado, que permite verificar la existencia de mercado para el bien o servicio, por medio del estudio de la demanda, la oferta y los precios del bien que se va a producir.
- Estudio técnico, que permite verificar la posibilidad técnica de fabricación del producto para alcanzar los objetivos del proyecto y descartar contingencias técnicas que impidan su implementación.
- Estudio organizacional, que permite verificar la mejor forma de organización o estructura empresarial del proyecto productivo, de acuerdo con sus características y necesidades específicas.

Teniendo en cuenta que el presente capítulo tiene por objetivo primordial aportar información suficiente al minero para que por su cuenta realice un ejercicio de planeación financiera, en la sección 8.1.2 se incluye una explicación detallada de cada una de las etapas que comprende el estudio y la evaluación financiera de proyectos de inversión.

- Estudio financiero, que permite cuantificar el monto de las inversiones necesarias para la puesta en marcha de la propuesta y definir los ingresos y egresos de operación durante el período de evaluación del proyecto. Para el efecto se considera toda la información proveniente de los estudios de mercado, el estudio técnico y el estudio organizacional.

La evaluación del proyecto

En esta fase se valora la viabilidad de la propuesta de inversión tomando como referencia la información contenida en cada uno de los informes técnicos. El objetivo fundamental de esta fase es evaluar la bondad financiera de las alternativas encontradas, con el fin de aceptarlas o rechazarlas, conforme a las exigencias de rentabilidad del inversionista.

- **La inversión**

En esta etapa se materializan las acciones contenidas en los estudios técnicos que se efectuaron en la etapa de preinversión, lo cual da como resultado la adquisición de bienes o servicios que servirán para satisfacer la necesidad o solucionar los problemas previamente identificados.

La etapa de inversión comprende el período en que se toma la decisión de ejecutar el proyecto (desembolso del dinero) y finaliza cuando el proyecto entra en operación.

- **La operación**

Esta etapa corresponde al período de permanente producción de bienes o prestación de servicios. En el caso de los proyectos de modernización tecnológica, la etapa de operación inicia en el momento en que se utiliza la maquinaria y se emplean procesos nuevos para la producción de bienes.

También puede definirse esta etapa, como la materialización del plan en hechos reales mediante la movilización de recursos humanos, financieros y logísticos que expresan salidas de dinero que están representadas en costos de producción y en ingresos, por la venta de los bienes o servicios.

8.1.2. ESTUDIO Y EVALUACIÓN FINANCIERA DE PROYECTOS DE INVERSIÓN

8.1 2.1. PROPÓSITO DEL ESTUDIO FINANCIERO

Como se había mencionado, el estudio financiero integra la información contenida en los demás estudios técnicos, y su objetivo primordial es cuantificar el monto de la inversión necesaria para la puesta en marcha de la propuesta, así como estimar los ingresos y egresos de la operación durante el período de evaluación del proyecto.

8.1.2.2. ETAPAS DEL ESTUDIO FINANCIERO

La elaboración del estudio financiero comprende tres etapas: a) inversión inicial, b) ingresos operacionales, y c) costos operacionales.

- **Inversión inicial**

Esta etapa consiste en la identificación y cuantificación monetaria de los costos de la inversión para la puesta en marcha de la propuesta. Estas inversiones están representadas en activos fijos y activos diferidos.

Activos fijos

Son aquellos activos tangibles que se utilizan de forma permanente en la producción de bienes y servicios. El costo de estos activos incluye, además de su precio de adquisición, los demás gastos en que incurre la empresa hasta dejarlos en condiciones de utilización. Algunos ejemplos de este tipo de activos son los terrenos, edificaciones, maquinaria y equipos, vehículos, minas y canteras, entre otros.

A su vez, estos activos fijos se subdividen en tres categorías: a) no depreciables (con vida útil ilimitada), b) depreciables (con vida útil limitada), y c) agotables (representados en recursos naturales cuya cantidad y valor disminuyen al ser extraídos).

Activos diferidos

Son aquellos activos o inversiones que se realizan en contratación de servicios o derechos que se requieren para la puesta en marcha del proyecto. Algunos ejemplos de este tipo de activos son las licencias ambientales para la explotación de recursos naturales, pago de estudios técnicos y pago de permisos o derechos adquiridos, entre otros.

- **Costos operacionales**

Representan el total que se deriva de las erogaciones que hace el contratista por concepto del pago de salarios al personal y de todos los gastos relacionados con el desarrollo de la operación. En el caso de los proyectos que tienen como objeto la producción de bienes, los costos operacionales se subdividen en costos directos y costos indirectos.

Costos directos

Son aquellas erogaciones o gastos que tienen relación directa con la fabricación del producto. Algunos de estos están relacionados con materia prima, insumos, mano de obra directa (operarios), mantenimiento, depreciación de maquinaria y equipos, etc.

Costos indirectos

Son aquellas erogaciones o gastos que no se relacionan directamente con la fabricación del producto. Algunos de estos están relacionados con mano de obra indirecta (servicios de aseo y vigilancia), servicios públicos, arrendamiento de plantas, etc.

- **Ingresos operacionales**

Entrada de dinero a una empresa por la venta de sus productos, servicios y operaciones financieras, entre otros factores.

8.1.2.3. PROPÓSITO DE LA EVALUACIÓN FINANCIERA

La evaluación financiera de proyectos tiene como propósito fundamental determinar la conveniencia de emprender o no un proyecto, para lo cual es necesario valorar la rentabilidad de la inversión a la luz de las exigencias de rentabilidad propias del inversionista.

8.1.2.4. ETAPAS DE LA EVALUACIÓN FINANCIERA

La evaluación financiera de proyectos comprende esencialmente dos etapas: la construcción del flujo de caja del proyecto y la aplicación de métodos de evaluación para establecer la conveniencia de emprender o no un proyecto.

- **La construcción del flujo de caja del proyecto**

El flujo de caja constituye una herramienta esencial para la evaluación de proyectos, pues contiene el registro sistematizado de la información financiera necesaria para construir los indicadores de rentabilidad del proyecto. En efecto, esta herramienta permite determinar los flujos netos de efectivo que se utilizan en las técnicas de evaluación de proyectos.

La inversión en compra de maquinaria y equipos requeridos para la adecuación de la planta se recupera descontando su valor de las utilidades que se reportan a la DIAN para efectos de pagar el impuesto de renta.

Se puede precisar que una inversión es conveniente si al final del período de evaluación esta se logra recuperar con intereses y deja un excedente.

El valor anual del desgaste de la maquinaria y de los equipos por uso (depreciación) se debe incluir en el flujo de caja del proyecto como gasto deducible de los impuestos que hay que pagar.

Los componentes del flujo de caja son: a) inversión inicial del proyecto, b) ingresos y egresos reales de efectivo, c) depreciación y amortización, d) Impuestos causados y pagados.

Debe tenerse en cuenta que, en la construcción del flujo de caja se consideran los ingresos y egresos en el momento en que ocurren.

• Aplicación de métodos para evaluar proyectos de inversión

Entre los métodos más reconocidos para la evaluación financiera de proyectos de inversión se encuentran el valor presente neto (VPN), la tasa interna de retorno (TIR) y la relación beneficio-costos (RB/C).

Entre los métodos más reconocidos para la evaluación financiera de proyectos de inversión se encuentran el valor presente neto (VPN), la tasa interna de retorno (TIR) y la relación beneficio-costos (RB/C).

Valor Presente Neto

El valor presente neto es una cifra monetaria que resulta de comparar el valor presente de los ingresos con el valor presente de los egresos, es decir, es el valor de la diferencia entre los ingresos y egresos del proyecto (flujos netos de efectivo), en pesos de la misma fecha.

Para comparar la diferencia de los ingresos y egresos del proyecto en pesos de una misma fecha se requiere trasladar estas cifras monetarias del futuro al presente, para lo cual es necesario definir una tasa de descuento.

Los criterios para aceptar o rechazar un proyecto utilizando el VPN son los siguientes

- Si el VPN es mayor de cero, se acepta el proyecto (el inversionista gana más de lo que quería ganar: el VPN indica cuánto más ganó en pesos del presente).
- Si el VPN es igual a cero, es indiferente aceptar el proyecto (el inversionista gana lo que quería ganar después de recuperar la inversión inicial).
- Si el VPN es menor de cero, se rechaza el proyecto (el VPN indica la cantidad de dinero en pesos del presente que faltó para que el inversionista ganara lo que pretendía ganar —esto no indica pérdida—).

Tasa Interna de Retorno (TIR)

La tasa interna de retorno (TIR) es un indicador de rentabilidad financiera que indica hasta cuánto el inversionista podría aumentar su rendimiento a partir de lo invertido en el proyecto (tasa de descuento). En este caso, la TIR es la tasa que hace que el VPN sea igual a cero.

Los criterios para aceptar o rechazar un proyecto utilizando la TIR son los siguientes

- Si la TIR es mayor que la tasa de descuento, se acepta el proyecto (el inversionista obtiene un rendimiento mayor del esperado).
- Si la TIR es igual a la tasa de descuento, es indiferente aceptar o no el proyecto (el inversionista es indiferente respecto a emprender o no el proyecto).
- Si la TIR es menor que la tasa de descuento, se rechaza el proyecto (el inversionista gana menos de lo que pretendía ganar).

Análisis de la Relación Beneficio – Costo (RB/C)

En este análisis se mide la relación beneficio-costos de un proyecto, que resulta de dividir la suma total de los ingresos del proyecto en el horizonte de evaluación (tiempo definido para medir la bondad financiera del proyecto) entre la sumatoria de los costos del mismo, ambas sumas en pesos de hoy.

Para calcular la relación beneficio-costos es necesario aplicar la fórmula del VPN para traer a valor presente los valores futuros de los ingresos y costos del proyecto.

Los criterios para aceptar o rechazar un proyecto utilizando la relación Beneficio – Costo (RB/C) son los siguientes

- Si la RB/C es mayor que uno, se acepta el proyecto (los beneficios son mayores que los costos, aún si se incluye la inversión inicial).
- Si la RB/C es igual a uno, es indiferente aceptar o no el proyecto (los beneficios son iguales a los costos).
- Si la RB/C es menor de uno, se rechaza el proyecto (los beneficios son menores que los costos).

8.2. METODOLOGÍA PARA EL ESTUDIO Y EVALUACIÓN FINANCIERA DEL PROYECTO – UNIDAD GEOMETALÚRGICA 1

En esta sección se enseña la metodología que se emplea en cada una de las etapas del estudio y evaluación financiera del proyecto, correspondiente a la Unidad Geometalúrgica 1 (diagrama 7.1.), al mismo tiempo que se exponen las recomendaciones técnicas (provenientes de los estudios geológico, metalúrgico y químico-ambiental) que soportan la definición de las variables de operación de la planta de beneficio que representa las condiciones típicas de la zona, y, se presentan los supuestos que se tuvieron en cuenta para realizar la proyección de ingresos y egresos de la operación futura, durante el horizonte de evaluación definido.

VARIABLES DE OPERACIÓN DE LA PLANTA DE BENEFICIO MODELO – UNIDAD GEOMETALÚRGICA 1

Para la realización del estudio se establecieron unas variables de operación de la planta de beneficio que fueron determinadas por el equipo técnico, a partir de la información recolectada en campo y los resultados de los estudios técnicos efectuados.

• Capacidad de procesamiento	1 t/h
• Funcionamiento de la planta	8 h/día
• Volumen de procesamiento	8 t/día
• Turnos por día	1 día
• Días de operación al mes	26 días
• Volumen de procesamiento	208 t/mes
• Tenor por tonelada de material de mina	44,3
• % Total de recuperación de oro	88,0%
• Recuperación total de oro	38,98 g/t

Las inversiones que se requieren para la adecuación de la planta (maquinaria y equipo, instalaciones eléctricas e hidráulicas y montaje de laboratorio) dependerán de las características de cada planta y de la negociación del minero con su proveedor.

8.2.1. ESTUDIO FINANCIERO

En esta etapa se identificaron y valoraron monetariamente las inversiones en activos fijos y diferidos que se requieren para la puesta en marcha de la propuesta, como se explica enseguida.

8.2.1.1. IDENTIFICACIÓN Y VALORACIÓN DE LA INVERSIÓN INICIAL

ACTIVOS FIJOS

La inversión en activos fijos está representada en la adquisición de maquinaria y equipo (incluyendo el costo de instalaciones eléctricas e hidráulicas para su funcionamiento) y el costo del montaje del laboratorio.

- **Maquinaria y equipo**

Este rubro comprende el costo de la maquinaria y los equipos que se deben adquirir para mejorar algunos de los procesos que se están llevando a cabo en la operación actual de las plantas de beneficio, e implementar los nuevos procesos que se detallan en la ruta metalúrgica contenida en esta guía.

Para la definición de la maquinaria y los equipos que deben comprarse se partió del inventario inicial de las plantas de la zona, con el objetivo de no incurrir en costos innecesarios y optimizar, así, los recursos disponibles.

La puesta en marcha de la propuesta de modernización requiere la compra total de la maquinaria que se relaciona en seguida. Estas especificaciones técnicas corresponden a la capacidad de procesamiento de la planta de beneficio definida por el equipo técnico.

En la siguiente tabla se detalla la maquinaria y equipos nuevos que se requieren para cada proceso, de acuerdo al inventario inicial de la unidad geometalúrgica 1.

PROCESOS	MÁQUINA Y DESCRIPCIÓN	ESPECIFICACIÓN TÉCNICA	CANTIDAD
TRITURACIÓN Y MOLIENDA	Tolva para almacenar material de mina	4 m x 4m x 2m	1
	Criba vibratoria	1,5 x 0,9m	1
	Trituradora de martillos	24" x 10"	1
	Banda transportadora con estructura de soporte	18"	1
	Tolva para material triturado	4 m x 4m x 2m	1
	Molino de bolas primario	4" x 5" - 1,20 x 1,50	1
	Molino de bolas secundario	1,0m x 2,5m	1
	Caja de pulpa	0,80m x 0,80m x 1m	1
	Bomba de sólidos	2,5" x 2"	3
	Hidrociclón 1	6"	1
Hidrociclón 2	4"	1	
CONCENTRACIÓN	Mesa de concentración primaria	1,50 m x 2,50m	1
	Tanque acondicionador	1m ³	1
	Tanque espesador	2,5m	2
CIANURACIÓN	Precipitación, sistema Merrill Crowe	5 a 10m ³ /hora	1
FUNDICIÓN	Horno con crisol para	15 Kg	1
MANEJO AMBIENTAL	Bomba sumergible	2 HP	2
	Tanques auxiliares en propileno	1000 Lts	3
	Tanque auxiliares en lámina para neutralización	D= 3m, H=3,5m	1
	Tanque reactor	D=3m, H=3m	1

- Instalaciones eléctricas e hidráulicas**

Este rubro comprende el costo de materiales y pago de honorarios del personal calificado que llevará a cabo las adecuaciones eléctricas e hidráulicas necesarias para la instalación y puesta en funcionamiento de la maquinaria y equipos nuevos. (La descripción del alcance del trabajo de instalaciones eléctricas puede consultarse en el Informe técnico que soporta la presente guía).

- Montaje de laboratorio**

Este rubro comprende el costo del montaje del laboratorio requerido para obtener información oportuna y veraz acerca de la eficiencia de las operaciones implicadas en el proceso y de los impactos ambientales de tipo químico que se estén causando con el proceso de beneficio.

ACTIVOS DIFERIDOS

Para el desarrollo de la explotación minera y el beneficio de oro se debe contar con dos criterios básicos. 1) trabajar bajo el amparo de un título minero y 2) contar con un instrumento ambiental.

La adquisición del siguiente activo diferido está sujeta a las condiciones propias de cada planta.

- Licencia ambiental**

Este rubro comprende el costo de los estudios previos que se deben realizar para tramitar la solicitud de la licencia ambiental y el valor que se debe pagar a la autoridad ambiental competente, una vez sea aprobada la licencia.

8.2.1.2. IDENTIFICACIÓN Y VALORACIÓN DE COSTOS DE OPERACIÓN

En esta etapa se identificaron y valoraron monetariamente cada uno de los costos (directos e indirectos) de la operación de la planta de beneficio, conforme a la ruta metalúrgica propuesta.

De acuerdo con el diagrama de operaciones de la ruta metalúrgica propuesta (diagrama 7.3.), los costos de operación se cuantificaron y clasificaron para cada uno de los siguientes procesos:

- Trituración y molienda
- Concentración (gravimétrica y por flotación)
- Cianuración
- Fundición
- Manejo ambiental

COSTOS DIRECTOS

Los costos directos del proceso de beneficio tienen que ver con la adquisición de materia prima e insumos, la contratación de mano de obra, mantenimiento de maquinaria y equipos, análisis y pruebas de laboratorio, pago de servicios públicos (energía eléctrica y agua) y depreciación de bienes físicos.

• Materia prima

El costo de materia prima corresponde al valor que se debe pagar por cada tonelada de material de mina (mineral) puesto en tolva. En este ejercicio, el costo de la materia prima se estimó en un porcentaje equivalente al 30 % del valor de venta final del oro que se recupera por cada tonelada de material procesado.

Fórmula para calcular el costo de la materia prima

Costo de material de mina (\$/t) = Au recuperado (g/t) × precio de venta (\$) × 30%

• Insumos

Respecto al rubro de insumos, se tiene en cuenta el costo de los reactivos y elementos químicos que se emplean en cada proceso, según se detalla en la siguiente tabla:

PROCESOS	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CONSUMO / TONELADA*	CONSUMO MENSUAL**
TRITURACIÓN Y MOLIENDA	Cuerpos moledores	kg	0,15	31,2
	Revestimientos trituradora primaria	kg	0,15	31,2
	Revestimientos trituradora secundaria	kg	0,15	31,2
	Revestimientos molino primario	kg	0,15	31,2
	Revestimientos molino secundario	kg	0,15	31,2
CONCENTRACIÓN	Aero 7020 (contratipo A31)	kg	0,045	9,36
	Aero 8255 (contratipo A31)	kg	0,045	9,36
	Xantato isopropilico Z6	kg	0,085	17,68
	Espumante Aero - Froth 65	kg	0,04	8,32
	Sulfato de cobre	kg	0,05	10,40
CIANURACIÓN	Cianuro de sodio (NaCN)	kg	3	624,00
	Cal (CaO)	kg	2,5	520,00
	Hidróxido de sodio (Potasa)	kg	0,0391	8,13
	Acetato de plomo	kg	0,003	0,62
	Polvo de zinc	kg	0,024	4,99
FUNDICIÓN	Xelite (diatomita)	kg	0,013	2,70
	Borax	kg	0,044	9,15
	Carbonato de sodio	kg	0,008	1,66
MANEJO AMBIENTAL	Silice	kg	0,025	5,20
	Floculante	kg	0,004	0,83
	Ácido sulfúrico	kg	0,3	62,40
	Peróxido de hidrógeno	kg	0,23	47,84
	Hipoclorito de sodio	L	0,23	47,84

Nota: (*) La dosificación por tonelada fue determinada por el Equipo técnico. (**) La cantidad consumida mes se estimó para 208 toneladas, conforme a las variables de operación de la planta.

• Mano de obra

En este rubro se cuantifica el pago mensual de los salarios del personal vinculado a la operación, los aportes a seguridad social que deben ser asumidos por el empleador con base en la ley 100 de 1993 (Salud Pensión y ARP), los aportes parafiscales que deben destinarse al Instituto de Bienestar Familiar (ICBF), al SENA y a las Cajas de Compensación Familiar, así como la respectiva provisión mensual para el pago de las prestaciones sociales (prima, vacaciones, cesantías, e intereses de cesantías).

Salarios de los empleados.

El costo de mano de obra se calcula para un total de cuatro empleados, conforme a la distribución de operarios por proceso y la asignación salarial que se muestran en la siguiente tabla:

PROCESO	CARGO	CANTIDAD DE OPERARIOS	TORNOS X DÍA	SUELDO BÁSICO X MES (COP)	AUX. TRANSPORTE X MES (COP)	SALARIO TOTAL X MES (COP)*
Trituración y molienda	Operario	1	1	\$ 781.242	\$ 88.211	\$ 869.453
Concentración	Operario	1	1	\$ 781.242	\$ 88.211	\$ 869.453
Cianuración	Operario	1	1	\$ 781.242	\$ 88.211	\$ 869.453
General	Jefe de turno	1	1	\$ 3.000.000	\$ 0	\$ 3.000.000
Total:						\$ 5.608.359

Nota: (*) El salario total asignado para los operarios corresponde al valor del salario mínimo mensual vigente en Colombia para 2018.

El Jefe de Turno se encarga de la supervisión de la operación y de la dosificación de los reactivos en el proceso de flotación. El operario del proceso de cianuración se encarga del proceso de neutralización.

Aportes al Sistema General de Seguridad Social (SGSS)

El cálculo de aportes a cargo del empleador, con destino al Sistema General de Seguridad Social se realizó con base en los sueldos básicos por mes que se indicaron en la tabla anterior.

Fórmula para calcular los aportes a seguridad social
 Aportes a seguridad social (\$/mes) =
 sueldo básico (\$) × % aportes (EPS, pensión, ARL)

Aportes parafiscales

El cálculo de aportes parafiscales que corresponden a una contribución obligatoria del empleador con destino al Servicio Nacional de Aprendizaje, al Instituto Colombiano de Bienestar Familiar y a las cajas de compensación familiar, con el propósito de que dicho aporte permita a estas entidades ejecutar las labores para las cuales fueron creadas, se estimó conforme a los salarios básicos asignados a los empleados.

Fórmula para calcular los aportes a parafiscales
 Aportes parafiscales (\$/mes) =
 sueldo básico (\$) × % aporte (SENA, ICBF, CCF)

Prestaciones sociales

El cálculo de la provisión mensual sobre el valor de la nómina, para el pago de prestaciones sociales a los trabajadores, se estimó con base en el salario mensual total asignado a cada operario.

Fórmula para calcular la provisión.
 Provisión mes = salario total (\$) × % de carga prestacional (prima, vacaciones, cesantías)

Fórmula para calcular la provisión para intereses de cesantías.
 Provisión mes intereses de cesantías = cesantías (\$) × 12 %

El cálculo de los aportes al SGSS y contribuciones parafiscales se debe realizar sobre la base del sueldo básico, es decir, sin tener en cuenta el auxilio de transporte. En tanto que la liquidación de las prestaciones sociales se debe tomar como base del cálculo del salario total, esto es, el sueldo básico más auxilio de transporte.

CONCEPTO	APORTE SGSS COP (\$)	DESCRIPCIÓN
EPS (salud)	\$66,406	Aporte total: \$97.655 Empleador: (8,5%) \$66,406 Trabajador: (4%) \$31,250
Pensión (AFP)	\$93,749	Aporte total: \$ 124.999 Empleador: (12%)\$93,749 Trabajador: (4%)\$31,250
ARL	\$ 54,374	Riesgo V (6,96%): \$ 54,374 Empleador \$54.374
Total:	214.529	

Cálculo con base en Ley 100 de 1993, valor del salario mínimo mensual vigente en Colombia para 2018.

CONCEPTO	APORTES PARAFISCALES COP(\$)	DESCRIPCIÓN
Caja de Compensación Familiar	\$ 31.250	4% a cargo del empleador
ICBF	\$ 23.437	3% a cargo del empleador
SENA	\$ 15.625	2% a cargo del empleador
Total:	\$70.312	

Cálculo con base en % establecidos en Código Sustantivo del Trabajo, valor del salario mínimo mensual vigente en Colombia para 2018.

CONCEPTO	PRESTACIONES SOCIALES COP(\$)	DESCRIPCIÓN
Cesantías (8,33%)	\$72.425	Equivale a un mes de salario por cada año trabajado o según el tiempo laborado.
Intereses de cesantías (12%)	\$ 8.691	Corresponde al 12% sobre el valor a pagar de las cesantías.
Prima de servicios (8,33%)	\$72.425	Equivale a un mes de salario por cada año trabajado o según el tiempo laborado.
Vacaciones (4,17%)	\$ 36.256	La Ley del Trabajo establece 15 días hábiles consecutivos de vacaciones anuales remuneradas.

Cálculo con base en Ley 1607 de 2012, valor del salario mínimo mensual vigente en Colombia para 2018.

MANTENIMIENTO DE LOS BIENES FÍSICOS

En este rubro se cuantifican todos los gastos necesarios para conservar la maquinaria y equipos en buenas condiciones, a efectos de que trabajen con rendimiento normal durante su vida útil.

El costo del mantenimiento de la maquinaria y de los equipos se estableció como un porcentaje equivalente a 0.75% del valor comercial de la maquinaria. (Este valor incluye el costo del mantenimiento preventivo y correctivo y la compra de repuestos).

Fórmula para calcular el costo de mantenimiento

Costo de mantenimiento (\$) = valor comercial total (\$) x 0.75%

ANÁLISIS Y PRUEBAS DE LABORATORIO

Este rubro comprende el costo de los ensayos de laboratorio que deben realizarse cada mes con el objetivo de disponer de información oportuna y veraz acerca de la eficiencia de las operaciones en cada uno de los procesos, así como de los impactos ambientales de tipo químico que se estén generando.

En la siguiente tabla se relacionan los tipos de ensayos, tipos de muestras y cantidades mínimas que se deben realizar en cada mes de la operación.

PROCESOS	TIPO DE ENSAYO	TIPO DE MUESTRA	CANTIDAD (UNIDAD/MES)
TRITURACIÓN	Ensayo al fuego	Cabeza general	26
	Ensayo al fuego	Cola de flotación	26
CONCENTRACIÓN	Ensayo al fuego	Concentrado de mesa	26
	Ensayo al fuego	Superconcentrado	8
FUNDICIÓN	Ensayo al fuego	Fundido	8
CIANURACIÓN	Ensayo al fuego	Cola de cianuración	26
	Absorción atómica	Oro en solución de cianuración	52
	Absorción atómica	Oro en solución pobre	26
	Absorción atómica	Zinc en solución pobre	2
MANEJO AMBIENTAL	Absorción atómica	Cobre en solución	2
	Absorción atómica	Ambientales	4

SERVICIOS PÚBLICOS

Es necesario precisar que en los costos indirectos de fabricación (CIF) usualmente se tienen en cuenta los costos de los servicios públicos. Sin embargo, en este ejercicio financiero se clasifica el costo del consumo de agua y energía como costos directos del proceso de operación, con el objetivo de establecer un punto de referencia para evaluar el aumento de consumo de energía que se generaría en la planta, a partir de la implementación de la propuesta tecnológica y estimar el costo del consumo de agua en el proceso de beneficio.

• Costo de energía eléctrica

En este rubro se cuantifica el costo de la energía eléctrica mensual que se consume en el proceso de beneficio.

El consumo de energía eléctrica por cada equipo se determinó a partir de la potencia nominal de los motores empleados en la planta y el número de horas al día que se utilizarían, de acuerdo con los parámetros de operación previamente definidos para la planta de beneficio. La siguiente tabla contiene el detalle del consumo de energía eléctrica por mes para cada equipo.

El costo total por energía eléctrica mensual se calcula con base en el consumo en kWh-mes, y la tarifa por kW que se paga a la empresa que suministra el servicio.

Fórmula para calcular el costo mensual de energía eléctrica

Costo de la energía eléctrica (\$) = consumo energía (kWh-mes) × tarifa kW (\$)

PROCESOS	EQUIPO	ESPECIFICACIÓN TÉCNICA	POTENCIA MOTOR (H.P.)	POTENCIA MOTOR (Kw)	CANTIDAD	HORAS DE TRABAJO	Kw/DÍA	Kw/MES
TRITURACIÓN Y MOLIENDA	Trituradora de quijadas	10" x 16"	12	9	1	4	36	936
	Criba vibratoria	1,5 x 0,9m	2	1,5	1	4	6	156
	Trituradora de martillos	24" x 10"	25	18,75	1	4	75	1.950
	Banda transportadora	18"	3	2,25	1	4	9	234
	Molino de bolas primario	4" x 5" - 1,20 x 1,50	30	22,5	1	8	180	4.680
	Molino de bolas secundario	1,0m x 2,5m	25	18,75	1	8	150	3.900
	Bomba de sólidos	2,5" x 2"	7,5	5,625	2	8	90	2.340
Total Trituración y Molienda								14.196
CONCENTRACIÓN	Mesa de concentración primaria	1,50m x 2,50m	2	1,5	1	8	12	312
	Celdas de flotación circulares	1,2m	12	9	2	8	144	3.744
	Tanque espesador	2,5m	2	1,5	2	8	24	624
	Tanque acondicionador		5	3,75	1	8	30	780
Total Concentración								5.460
CIANURACIÓN	Tanque agitación (lixiviación)		12	9	4	8	288	7.488
	Precipitación, Compresor	5 a 10m ³ /hora	14	10,5	1	0	3	78
			45	33,75	1	8	270	7.020
Total Cianuración								14.586
MANEJO AMBIENTAL	Tanque agitado para neutralización		12	9	1	8	72	1.872
	Bombas para recirculación de aguas y soluciones	5 HP	5	3,75	3	8	90	2.340
Total Manejo Ambiental								4.212
TOTAL								38.454

• Costo del agua

En este rubro se cuantifica el costo por consumo de agua en el proceso de beneficio de la planta, de acuerdo con la tarifa reportada por la empresa prestadora del servicio en la zona.

Para determinar la cantidad de agua que se consume en el proceso de beneficio de la planta, el equipo técnico realizó un ejercicio experimental basándose en un balance de masa hídrico, mediante el cual se logró establecer que el consumo específico de agua por tonelada de mineral procesado es de 0.53 m³.

Fórmula empleada para calcular el costo mensual de agua

Costo del agua (\$) =
consumo de agua (m³/mes) × tarifa m³ (\$)

DEPRECIACIÓN

En este rubro se cuantifica la disminución del valor original de la maquinaria como consecuencia de su uso durante su tiempo de vida útil. Debe tenerse en cuenta que, pese a que la depreciación no representa una salida de efectivo, este mecanismo debe considerarse a efectos de recuperar la inversión en activos fijos.

El método de línea recta está reconocido por la DIAN para efectos de descontar el valor de la depreciación de la base de cálculo del impuesto de renta y complementarios.

El valor de depreciación mensual de cada equipo se estimó por medio del método en línea recta, utilizando como referencia un tiempo de vida útil de diez años.

Fórmula para calcular la depreciación de la maquinaria y equipo

Costo depreciación (\$) = valor comercial del equipo (\$) / tiempo de vida útil (meses)

COSTOS INDIRECTOS

En este análisis, los costos indirectos de fabricación (CIF) se calculan en un 10% de la suma de los costos directos de la planta de beneficio.

Fórmula para calcular los CIF

$\text{CIF (\$)} = \text{valor de costos directos (\$)} \times 10\%$

El costo e ingreso unitario, es decir, el valor por cada gramo de oro, se calcula dividiendo el valor de los costos totales del mes sobre el número de gramos recuperados y viceversa.

COSTOS TOTALES

Los costos totales de la operación mensual de la planta de beneficio se determinan mediante la suma de los costos directos e indirectos.

Fórmula para calcular el costo total

$\text{Costos totales mensuales (\$)} = \text{total de los costos directos mensuales (\$)} + \text{total de los costos indirectos mensuales (\$)}$

8.2.1.3. IDENTIFICACIÓN Y VALORACIÓN DE INGRESOS DE OPERACIÓN

En esta etapa se identificaron y valoraron monetariamente los ingresos mensuales que se obtienen de la operación de la planta de beneficio. Para esto se debe multiplicar la cantidad de oro producido en gramos por el precio al que se vende cada gramo de oro.

Fórmula utilizada para determinar la cantidad de oro que se recupera por cada tonelada de material procesado

$\text{Oro recuperado} \times t \text{ (g)} = \text{tenor (g)} \times \% \text{ de recuperación total}$

CANTIDAD DE MATERIAL PROCESADO (t)	RECUPERACIÓN TOTAL (%)*	CANTIDAD RECUPERADA (g/t)
1	100	44,3
1	88,0	38,98

(*) Con la implementación de la propuesta tecnológica se puede alcanzar hasta un 88,0% de recuperación de oro por tonelada, obteniéndose el 39,0% de recuperación en el proceso de concentración gravimétrica y el 49,0%, restante, en el proceso de cianuración.

(**) Para la zona minera de Andes (Unidad Geometalúrgica 1) se determinó un tenor de 44,3 gramos, por tonelada.

Una vez se ha determinado la cantidad de oro recuperado por cada tonelada de material de mina procesada, se emplea la siguiente fórmula para establecer la cantidad de oro que se produce en un mes:

$\text{Producción de oro (g)} = \text{oro recuperado (g)} \times \text{material de mina procesado mensualmente (t)}$

Finalmente, se utiliza la siguiente fórmula para determinar los ingresos mensuales por la venta de oro producido

$\text{Ingresos totales mensuales (\$)} = \text{producción mensual de oro (g)} \times \text{precio del oro (\$/g)}$

8.2.2 EVALUACIÓN FINANCIERA

En esta sección se presenta la metodología que se emplea en las dos etapas de la evaluación financiera y se exponen los supuestos que se tuvieron en cuenta para la proyección de ingresos y costos de operación durante el horizonte definido para la evaluación del proyecto.

Recordemos que la evaluación financiera de proyectos comprende esencialmente dos etapas: la construcción del flujo de caja del proyecto y la aplicación de métodos de evaluación para establecer la conveniencia de emprender o no un proyecto.

8.2.2.1 CONSTRUCCIÓN DEL FLUJO DE CAJA DEL PROYECTO

El tiempo definido para medir la bondad financiera del proyecto, u horizonte de evaluación del proyecto, es de cinco años.

A continuación se explican cada uno de los componentes del flujo de caja y los supuestos que se utilizaron para la proyección de ingresos y costos de operación de la planta de beneficio, en cada uno de los años que comprende el horizonte de evaluación.

INVERSIÓN INICIAL

El monto de la inversión inicial se registra en la estructura del flujo de caja en el año cero. Esto se debe a que la inversión se realiza antes de poner en marcha el proyecto.

INGRESOS GRAVABLES

Los ingresos gravables que se registran en el flujo de caja del proyecto son los mismos ingresos operacionales que resultan de la venta de oro producido en cada año.

• Supuestos que se tuvieron en cuenta para la proyección de los ingresos gravables

La producción anual se mantiene constante en el horizonte de evaluación del proyecto (cada año se produce la misma cantidad de oro). A partir del segundo año, el precio del oro aumenta en una proporción del 3% anual.

Fórmula para calcular los ingresos gravables anuales

Ingresos gravables en el año 1 (\$) = producción de oro en el año 1 (g) × precio del oro en el año 1 (\$/g)

EGRESOS DEDUCIBLES

Los egresos deducibles que se registran en el flujo de caja del proyecto son los costos de operación, la depreciación y el pago de regalías.

La tasa para la liquidación de regalías por explotación de oro es del 4% sobre la producción en boca de mina.

Fórmula para la liquidación de las regalías

Regalías del año 1 (\$) = (producción de oro año 1 (g) × precio fijado por el Banco de la República en el año 1 (\$/g)) * 4%

• Supuestos que se tuvieron en cuenta para la proyección de los egresos deducibles

- A partir del 2.º año, el costo de la materia prima (material de mina) aumenta en una proporción del 3% anual.
- A partir del 2.º año, el costo de los insumos aumenta en una proporción del 2% anual.
- A partir del 2.º año, el costo de mano de obra aumenta en una proporción del 4% anual.
- A partir del 2.º año, el precio para la liquidación de las regalías aumenta en una proporción de 3% anual.

Los demás costos de operación (mantenimiento, análisis y pruebas de laboratorio, servicios públicos y costos indirectos de fabricación) permanecen constantes en el horizonte de evaluación del proyecto, es decir que para cada año el costo es el mismo.

Las regalías son una contraprestación económica que recibe el Estado por la explotación de un recurso natural no renovable cuya producción se extingue con el transcurso del tiempo. De conformidad con los artículos 58, 332 y 360 de la Constitución Política, toda explotación de recursos naturales no renovables de propiedad estatal genera una regalía como contraprestación económica.

UTILIDAD OPERACIONAL

La utilidad operacional es la ganancia obtenida por la empresa, antes del pago de impuestos.

Fórmula para calcular la utilidad antes de pagar impuestos

Utilidad operacional del primer año (\$) = ingresos gravables en el primer año (\$) - egresos deducibles en el primer año (\$)

MARGEN DE UTILIDAD OPERACIONAL

Este indicador determina el porcentaje que queda por cada peso de venta después de deducir todos los costos y gastos de la operación de la planta de beneficio.

Fórmula para calcular el margen de utilidad operacional

Margen de utilidad operacional del primer año (%) = (utilidad operacional en el primer año (\$) / ingresos gravables en el primer año (\$)) × 100

IMPUESTOS

En el flujo de caja del proyecto se debe estimar el impuesto de renta, que corresponde al impuesto que grava todos los ingresos que obtenga un contribuyente en el año, que sean susceptibles de producir incremento neto del patrimonio en el momento de su percepción, siempre que no hayan sido expresamente exceptuados, y considerando los costos y gastos en que se incurre para producirlos.

En la última reforma tributaria, contenida en la Ley 1819 del 29 de diciembre de 2016, se estableció el 33% como tarifa general del impuesto de renta para las personas jurídicas.

Fórmula para calcular el impuesto de renta

Impuesto de renta del primer año (\$) = utilidad antes de pagar impuestos (\$) × 33%

UTILIDAD NETA

La utilidad neta es la ganancia obtenida por la empresa después de haber pagado impuestos.

Fórmula para calcular la utilidad neta

Utilidad neta del primer año (\$) = utilidad operacional en el primer año (\$) – impuesto de renta del primer año (\$)

MARGEN DE UTILIDAD NETA

Este indicador determina el porcentaje que queda por cada peso de venta, después de deducir todos los costos y gastos de la operación de la planta de beneficio, incluyendo el pago de impuesto de renta.

Fórmula para calcular el margen de utilidad neta

Margen de utilidad neta del primer año (%) = (utilidad neta en el primer año (\$) / ingresos gravables en el primer año (\$)) × 100

FLUJO NETO DE EFECTIVO

Los flujos netos de efectivo son los beneficios futuros que genera el proyecto en cada año que comprende el horizonte de evaluación.

Fórmula para calcular el flujo neto de efectivo

Flujo neto de efectivo en el primer año (\$) = utilidad neta en el primer año (\$) + depreciación en el primer año (\$)

8.2.2.2 APLICACIÓN DE MÉTODOS PARA EVALUAR PROYECTOS

En seguida se presentan las fórmulas que se emplearon para calcular los indicadores de evaluación financiera del proyecto.

VALOR PRESENTE NETO (VPN)

Para el cálculo del VPN se utilizaron dos tasas de descuento: la primera equivalente al 20% y la segunda, del 30%. Recordemos que la tasa de descuento (TD) se utiliza para trasladar los flujos netos de efectivo del futuro al presente.

Fórmula para calcular el VPN

$$\text{VPN} = - \text{Inversión inicial (\$)} + \frac{\text{FNE (\$)}_{\text{año 1}}}{(1 + \text{TD})^1} + \frac{\text{FNE (\$)}_{\text{año 2}}}{(1 + \text{TD})^2} \dots \frac{\text{FNE (\$)}_{\text{año 5}}}{(1 + \text{TD})^5}$$

TASA INTERNA DE RETORNO (TIR)

Fórmula para calcular la TIR

$$\text{TIR} = \frac{- \text{Inversión Inicial (\$)} + \sum_{t=1}^5 \text{FNE (\$)}}{\sum_{t=1}^5 (\text{TD}(\%)^t \cdot \text{FNE}(\$))}$$

RELACIÓN BENEFICIO-COSTO (RB/C)

Antes de calcular la relación Beneficio - Costo se requiere estimar el valor presente neto (VPN) de los beneficios y de los costos. Para esto se utilizaron dos tasas de descuento: la primera, equivalente al 20%, y la segunda, del 30%.

Fórmulas para calcular el valor presente de los beneficios y de los costos

$$\text{VPN Ingresos} = \frac{\text{Ingresos operacionales año 1}}{(1 + \text{TD})^1} + \frac{\text{Ingresos operacionales año 2}}{(1 + \text{TD})^2} \dots \frac{\text{Ingresos operacionales año 5}}{(1 + \text{TD})^5}$$

$$\text{VPN Costos} = \frac{\text{Costos operacionales año 1}}{(1 + \text{TD})^1} + \frac{\text{Costos operacionales año 2}}{(1 + \text{TD})^2} \dots \frac{\text{Costos operacionales año 5}}{(1 + \text{TD})^5}$$

Después de estimar el valor presente neto (VPN) de los beneficios y de los costos, se procede a calcular la relación beneficio - costo (RB/C).

Fórmula para calcular la relación beneficio-costo (RB/C)

$$\text{Relación Beneficio - Costo} = \frac{\sum_{t=1}^5 (\text{VPN}) \text{ Ingresos}(\$)}{\sum_{t=1}^5 (\text{VPN}) \text{ Costos}(\$)}$$

*En los costos operacionales no se tiene en cuenta la depreciación de los bienes físicos y la maquinaria.

8.3. ESTUDIO Y EVALUACIÓN FINANCIERA DEL PROYECTO - UNIDAD GEOMETALÚRGICA 1

En esta sección se presentan los resultados de la estimación del monto de recursos económicos que se requieren para la inversión inicial, los costos totales y el valor de la producción en función de los parámetros de operación definidos para la planta y los indicadores que comprueban la viabilidad financiera del proyecto, acorde con las condiciones iniciales de la unidad geometalúrgica 1.

Inversión inicial

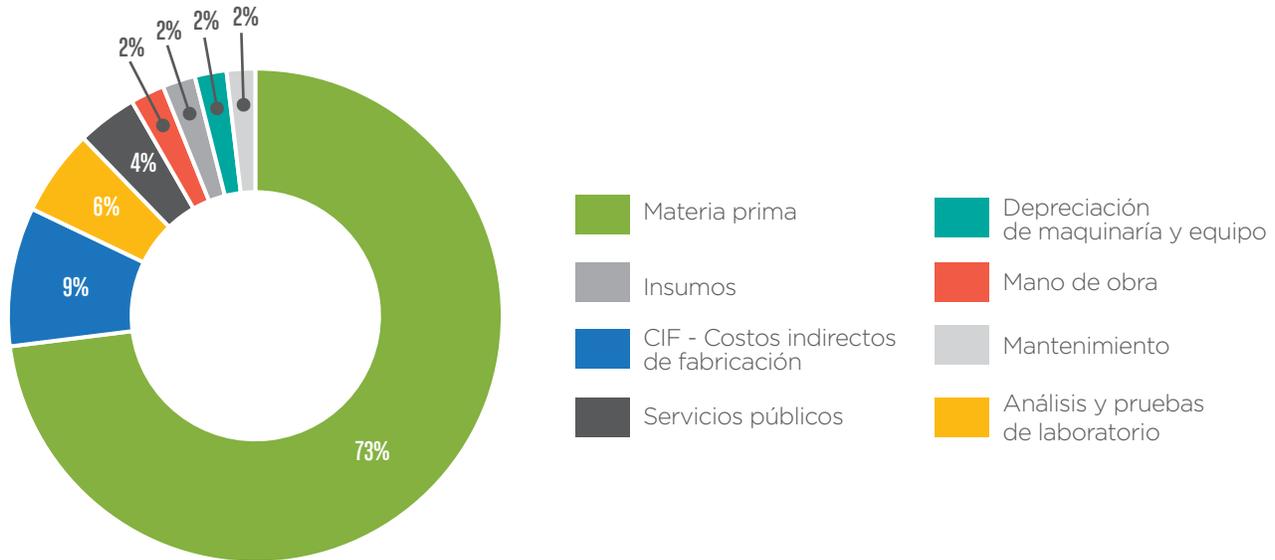
DESCRIPCIÓN	COSTO	% PARTICIPACIÓN EN INVERSIÓN
Activos Fijos		
Maquinaria y equipo	\$ 636.453.650	79%
Instalaciones eléctricas e hidráulicas	\$ 165.877.490	21%
Total Activos Fijos	\$ 802.331.140	100%

Los precios cotizados se encuentran detallados en el informe técnico.

Costo operación - mes

DESCRIPCIÓN	COP (\$)
Costos Directos	
Materia prima	\$ 288.178.149
Insumos	\$ 8.477.367
Mano de obra	\$ 8.780.964
Mantenimiento	\$ 7.361.652
Análisis y pruebas de laboratorio	\$ 22.300.000
Servicios públicos	\$ 15.496.580
Depreciación de maquinaria y equipo	\$ 8.179.614
Total Costos Directos	\$ 358.774.326
Costos Indirectos	
CIF - Costos indirectos de fabricación	\$ 35.877.433
Total Costos Indirectos	\$ 35.877.433
Total Costos: (Directos + Indirectos)	\$ 394.651.758

Estructura de costos de operación futura - Planta de Beneficio Modelo



Ingresos de operación – mes

PROCESO	RECUPERACIÓN DE ORO %	RECUPERACIÓN DE ORO (gr/t)	PRODUCCIÓN DE ORO (gr/mes)	PRECIO UNITARIO DE ORO (\$/gr)*	COP (\$)
Concentración Gravimétrica	0,390	17,28	3.594	\$ 118.465	\$ 425.717.719
Cianuración	0,490	21,71	4.515	\$ 118.465	\$ 534.876.109
Total:	0,880	38,98	8.109		\$ 960.593.828

*Corresponde al precio promedio internacional en 2017.

Fuente: cálculo propio con base en información Equipo Técnico y Banco de la República de Colombia.

Flujo de caja del proyecto (5 años)

CONCEPTO	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5
(1) INVERSIÓN INICIAL (-)						
Activos fijos	\$ 802,331,140					
Activos diferidos						
TOTAL INVERSIÓN INICIAL	-\$ 802,331,140					
(2) INGRESOS GRAVABLES (+)						
Ingresos operacionales		\$ 11,527,125,942	\$ 11,872,939,720	\$ 12,229,127,912	\$ 12,596,001,749	\$ 12,973,881,801
(3) EGRESOS DEDUCIBLES (-)						
Costos operacionales		\$ 4,637,665,735	\$ 4,758,658,656	\$ 4,883,305,347	\$ 5,011,716,829	\$ 5,146,382,529
Depreciación		\$ 98,155,365	\$ 98,155,365	\$ 98,155,365	\$ 98,155,365	\$ 98,155,365
Regalías		\$ 368,868,030	\$ 379,934,071	\$ 391,332,093	\$ 403,072,056	\$ 415,164,218
TOTAL EGRESOS DEDUCIBLES		\$ 5,104,689,130	\$ 5,236,748,092	\$ 5,372,792,805	\$ 5,512,944,250	\$ 5,659,702,111
(4) UTILIDAD ANTES DE IMPUESTOS		\$ 6,422,436,812	\$ 6,636,191,628	\$ 6,856,335,106	\$ 7,083,057,499	\$ 7,314,179,690
(5) MÁRGEN UTILIDAD OPERACIONAL		55.7%	55.9%	56.1%	56.2%	56.4%
(6) IMPUESTOS (-)						
IMPUESTO DE RENTA (33%) (-)		\$ 2,119,404,148	\$ 2,189,943,237	\$ 2,262,590,585	\$ 2,337,408,975	\$ 2,413,679,298
TOTAL IMPUESTOS		\$ 2,119,404,148	\$ 2,189,943,237	\$ 2,262,590,585	\$ 2,337,408,975	\$ 2,413,679,298
(7) UTILIDAD NETA		\$ 4,303,032,664	\$ 4,446,248,391	\$ 4,593,744,521	\$ 4,745,648,524	\$ 4,900,500,392
(8) MÁRGEN DE UTILIDAD NETA		37.3%	37.4%	37.6%	37.7%	37.8%
(9) DEPRECIACIÓN (+)		\$ 98,155,365				
(10) FLUJO NETO DE EFECTIVO	-\$ 802,331,140	\$ 4,401,188,029	\$ 4,544,403,756	\$ 4,691,899,886	\$ 4,843,803,889	\$ 4,998,655,757

8.3.1 RESULTADOS E INTERPRETACIÓN DE INDICADORES DE EVALUACIÓN FINANCIERA - UNIDAD GEOMETALÚRGICA 1

El VPN del proyecto, a una TD del 20 %, correspondiente a la UGM 1, es de trece mil ochenta y un millones ciento sesenta y ocho mil trescientos cuarenta y nueve pesos M./CTE. (\$13.081.168.349).

El VPN del proyecto a una TD del 30 %, correspondiente a la UGM 1, es de diez mil cuatrocientos cincuenta millones veintidós mil sesenta y nueve pesos M./CTE. (\$10.450.022.069).

Teniendo en cuenta que el VPN es mayor que cero (para ambas tasas de descuento), se concluye que el proyecto se justifica desde el punto de vista financiero, pues el dinero invertido en él rinde más que estas tasas de interés de oportunidad.

La TIR del 552 % anual es mayor que las dos tasas de interés de oportunidad del inversionista definidas en este proyecto (el 20 % y el 30 % anual). Se concluye, por tanto, que este proyecto se justifica desde el punto de vista financiero, en la medida en que el dinero que permanece invertido en el proyecto rinde a una tasa del 552 % anual.

Para este proyecto, la RB/C a tasas de interés de oportunidad del 20 % y el 30 % es del 2,31 % y el 2,32 %, respectivamente. De este resultado se concluye que el proyecto se justifica desde el punto de vista financiero, pues los beneficios son mayores que los costos.

Indicadores de evaluación financiera - Proyecto Unidad Geometalúrgica 1

INDICADOR	TD 20%	TD 30%
Valor presente Neto (VPN)	COP \$13.081.168.349 USD* \$ 4.360.389	COP \$10.450.022.069 USD* \$3.483.341
Tasa Interna de Retorno (TIR)	552%	552%
Relación Beneficio / Costo (B/C)	2,32	2,31

Tasa de cambio utilizada COP \$3000/USD.

8.4. ESTUDIO FINANCIERO OPERACIÓN ACTUAL Vs OPERACIÓN FUTURA - UNIDAD GEOMETALÚRGICA 1

En esta sección se exponen los resultados del estudio financiero de la operación actual de la planta típica de la zona que corresponde a la Unidad Geometalúrgica 1 (diagrama 7.1.), a partir de los cuales se estableció una base de comparación (en términos de porcentaje de recuperación, cantidad de oro recuperado, costo unitario de producción, margen de utilidad operacional y de utilidad neta), para analizar la viabilidad económica de la implementación de la ruta metalúrgica propuesta.

VARIABLES DE OPERACIÓN DE LA PLANTA DE BENEFICIO ACTUAL

• Capacidad de procesamiento	0.25 t/h
• Funcionamiento de la planta	8 h/día
• Volumen de procesamiento	2 t/día
• Turnos por día	1 día
• Días de operación al mes	26 días
• Volumen de procesamiento	52 t/mes
• Tenor por tonelada de material de mina	44,3
• % Total de recuperación de oro	28%
• Recuperación total de oro	12,4 g/t

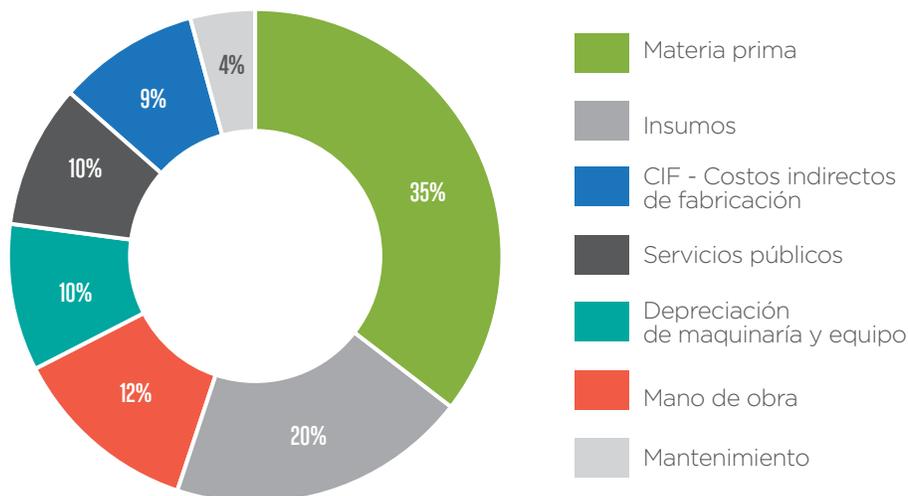
Debe tenerse en cuenta que la información de la operación actual de la planta de beneficio típica de la zona, se construyó a partir de pruebas de laboratorio efectuadas por el equipo técnico con base en información recolectada en trabajo de campo.

Costo operación - mes planta actual

DESCRIPCIÓN	COP (\$)
Costos Directos	
Materia prima	\$ 22.923.262
Insumos	\$ 12.688.061
Mano de obra	\$ 8.064.552
Mantenimiento	\$ 2.738.250
Servicios públicos	\$ 6.174.979
Depreciación de maquinaria y equipo	\$ 6.209.167
Total Costos Directos	\$ 58.798.270
Costos Indirectos	
CIF - Costos Indirectos de fabricación	\$ 5.879.827
Total Costos Indirectos	\$ 5.879.827
Total Costos: (Directos + Indirectos)	\$ 64.678.097

8.4.1 RESULTADOS DE LA OPERACIÓN ACTUAL

Estructura de costos de operación actual



Ingresos de operación actual – mes

PROCESO	RECUPERACIÓN DE ORO %	RECUPERACIÓN DE ORO (g/t)	PRODUCCIÓN DE ORO (gramos)	PRECIO UNITARIO DE ORO (\$/g)*	COP (\$)
Amalgamación	8%	3,54	184	\$ 118.465	\$ 21.831.678
Cianuración	20%	8,86	461	\$ 118.465	\$ 54.579.195
Total:	0,28	12,40	645		\$ 76.410.873

Nota: (*) Corresponde al precio promedio internacional en 2017.

Fuente: cálculo propio con base en información Equipo Técnico y Banco de la República de Colombia.

Flujo de caja de la operación actual (5 años)

CONCEPTO	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5
(2) INGRESOS GRAVABLES (+)					
Ingresos operacionales	\$ 916,930,473	\$ 944,438,387	\$ 972,771,538	\$ 1,001,954,685	\$ 1,032,013,325
(3) EGRESOS DEDUCIBLES (-)					
Costos operacionales	\$ 701,627,166	\$ 718,312,509	\$ 735,507,497	\$ 753,228,452	\$ 775,046,915
Depreciación	\$ 74,510,000	\$ 74,510,000	\$ 74,510,000	\$ 74,510,000	\$ 74,510,000
Regalías	\$ 29,341,775	\$ 30,222,028	\$ 31,128,689	\$ 32,062,550	\$ 33,024,426
TOTAL EGRESOS DEDUCIBLES	\$ 805,478,941	\$ 823,044,538	\$ 841,146,186	\$ 859,801,002	\$ 882,581,342
(4) UTILIDAD ANTES DE IMPUESTOS	\$ 111,451,531	\$ 121,393,849	\$ 131,625,352	\$ 142,153,682	\$ 149,431,983
(5) MÁRGEN DE UTILIDAD OPERACIONAL	12.15%	12.85%	13.53%	14.19%	14.48%
(6) IMPUESTOS (-)					
IMPUESTO DE RENTA (33%) (-)	\$ 36,779,005	\$ 40,059,970	\$ 43,436,366	\$ 46,910,715	\$ 49,312,555
TOTAL IMPUESTOS	\$ 36,779,005	\$ 40,059,970	\$ 43,436,366	\$ 46,910,715	\$ 49,312,555
(7) UTILIDAD NETA	\$ 74,672,526	\$ 81,333,879	\$ 88,188,986	\$ 95,242,967	\$ 100,119,429
(8) MÁRGEN DE UTILIDAD NETA	8.14%	8.61%	9.07%	9.51%	9.70%
(9) DEPRECIACIÓN (+)	\$ 74,510,000				
(10) FLUJO NETO DE EFECTIVO	\$ 149,182,526	\$ 155,843,879	\$ 162,698,986	\$ 169,752,967	\$ 174,629,429

Nota: Los supuestos que se tuvieron en cuenta para la proyección de ingresos y costos de operación actual, son los mismos que se definieron para la operación futura de la planta de beneficio.

El detalle de cada uno de los cálculos anteriores, pueden ser consultados en el informe técnico que soporta la presente guía.

8.4.2. RESUMEN DE INDICADORES DE OPERACIÓN ACTUAL VS OPERACIÓN FUTURA

INDICADOR	UNIDAD	OPERACIÓN ACTUAL	OPERACIÓN FUTURA
Recuperación oro (g/t)	%	28,00%	88,00%
Cantidad de oro recuperado por tonelada	gr	12,40	38,98
Costo de producción unitario por gramo de oro	COP (\$)	\$ 100.275,00	\$ 48.670
Costo de producción unitario por onza troy de oro	USD (\$)	\$ 1.049,66	\$ 509,47
Utilidad antes de impuestos por gramo de oro	COP(\$)	\$ 14.399,00	\$ 66.004
Utilidad antes de impuestos por onza troy de oro	USD(\$)	\$ 150,73	\$ 690,92
Margen de utilidad operacional - (promedio 5 años)	%	13,44%	56,06%
Utilidad después de impuestos por gramo de oro	COP (\$)	\$ 9.647,00	\$ 44.223
Utilidad después de impuestos por onza troy de oro	USD(\$)	\$ 100,98	\$ 462,92
Margen de utilidad neta (promedio 5 años)	%	9,01%	37,56%
Indicador de productividad (producto/insumo)		1,18	2,43

Precio de venta por gramo de oro: COP \$ 118.465

Precio de venta por Onza Troy de oro: USD \$ 1.228

Tasa de cambio utilizada COP \$3000/USD.

Factor de conversión utilizado: 1 onza troy = 31.1034768 gramos

8.4.3. ANÁLISIS DE RESULTADOS DE INDICADORES DE OPERACIÓN ACTUAL Vs OPERACIÓN FUTURA - UNIDAD GEOMETALÚRGICA 1

La adopción integral de la propuesta contenida en esta guía para realizar una migración hacia el uso de tecnologías limpias en el proceso de beneficio de oro, permite a la empresa minera incrementar la productividad total en aproximadamente el 106 %, al pasar de una razón producto/insumo total de 1,18 bajo las condiciones de la producción actual de la UGM 1, a una razón de productividad de 2,43 con la implementación de la ruta metalúrgica propuesta.

Lo anterior corrobora la generación de beneficios económicos a la empresa minera y se espera que represente, desde el punto de vista financiero, un incentivo para que el empresario adopte estas prácticas responsables con el medio ambiente y desarrolle su operación bajo el estricto cumplimiento de estándares técnico-administrativo y legales.

Se resalta que en el escenario de producción actual se estableció que el costo unitario de producir un gramo de oro es de aproximadamente COP \$100.275/g de oro; se espera que con la operación futura el costo unitario del gramo de oro sea de COP \$48.670/g de oro. Este resultado indica una reducción efectiva de los costos unitarios del 51,5 %.

Esta reducción en costos unitarios de producción de la UGM 1, junto con el aumento en el porcentaje del gramo de oro recuperado por cada tonelada de mineral procesado (del 28 % al 88 %), resulta en un aumento del margen de utilidad neta proyectada para los cinco años evaluados, al pasar del 9,01 % en la actualidad, al 37,56 % en la operación futura.

Como anexo a la presente guía se encuentra un simulador en formato Excel, en el cual podrá introducir las variables de operación deseadas (acorde con las características propias de la planta de beneficio) y efectuar un ejercicio de planeación financiera, estimando los costos unitarios de operación y los márgenes de utilidad operacional, para determinar los rendimientos futuros de la inversión necesaria para la implementación de la ruta metalúrgica propuesta.

En el escenario actual de la planta correspondiente a la unidad geometalúrgica 1, el costo unitario de producir un gramo de oro es de COP \$100.275/ gr de oro, mientras que la implementación de la propuesta lo reduce a COP \$48.670, esta disminución en el costo, junto con el aumento de los ingresos por un porcentaje de mayor recuperación de oro, se traduce en un incremento de la utilidad neta superior al 300%.



8.5. CONSIDERACIONES SOBRE LA OPERACIÓN ACTUAL DE LA PLANTA DE BENEFICIO-UNIDAD GEOMETALÚRGICA 1

- En el estudio financiero de la operación actual de la planta definida para la zona correspondiente a la UGM 1, se utilizó como referencia un porcentaje de recuperación de oro del 28 % por cada tonelada de material mineral procesado, obteniéndose el 8 % en el proceso de amalgamación y el 20 % restante en el proceso de cianuración, de acuerdo con la información suministrada por el equipo técnico.
- Teniendo en cuenta que el tenor de la zona minera de Andes (Antioquia) correspondiente a la UGM 1 es de 44,3 g y que la operación actual permite una recuperación promedio del 28 %, en el estudio financiero se estimó una recuperación de 12,40 g por cada tonelada de mineral procesado.
- Los rubros más representativos dentro de la estructura de costos de la operación actual de la planta correspondiente a la UGM 1 son la materia prima y los insumos, cada uno con una participación sobre los costos totales del 35 % y el 20 %, respectivamente. Esta participación elevada de los insumos está representada en un 84 % por el costo del kg de mercurio que se utiliza en el proceso de amalgamación.
- Se estableció que las plantas de beneficio de la zona disponen de un sistema efectivo de reutilización del agua con la que atienden la molienda y la concentración. Los análisis de laboratorio efectuados por el equipo técnico permitieron estimar que el consumo de agua por cada tonelada de mineral procesado es de 0,53 m³.
- Las plantas de beneficio que corresponden a la UGM 1 se aprecian en buen estado y con superficies que se prestan a ampliaciones y reformas. Sin embargo, se determinó que a partir de la implementación de la ruta metalúrgica propuesta pueden incrementar su capacidad hasta en un promedio de 15 o 16 t por día.
- El consumo de energía eléctrica por cada equipo se determinó a partir de la potencia nominal de los motores empleados en la planta y del número de horas al día que se utilizarían. De acuerdo con los parámetros de operación previamente definidos para la planta de beneficio, el consumo de energía actual es de 15.366 kW/mes.
- El costo unitario aproximado, con los parámetros de la operación actual definidos para la planta, es de COP \$100.275 por cada gramo de oro y de USD \$1.050 por cada onza Troy de oro.
- El precio de venta que se utilizó como referencia para el estudio financiero de la operación actual corresponde al precio del oro promedio internacional del 2017. Este precio es de COP \$118.465/g y de USD \$1.228/onza Troy.
- La ganancia unitaria (antes de impuestos) aproximada es de COP \$14.399/g de oro y de USD \$150,73/onza Troy de oro. Esto corresponde a un margen de utilidad operacional del 13,44 % en promedio para los cinco años contemplados como horizonte de evaluación.
- La ganancia unitaria neta (después de impuestos) bajo la operación actual de la planta es de COP \$9.647/g de oro y de USD \$100,98/onza Troy de oro. Esto corresponde a un margen de utilidad neta del 9,01% en promedio para los cinco años contemplados como horizonte de evaluación.



8.6. CONSIDERACIONES SOBRE LA OPERACIÓN FUTURA DE LA PLANTA DE BENEFICIO-UNIDAD GEOMETALÚRGICA 1

- Con base en la capacidad promedio instalada de las plantas de beneficio de la zona se estableció un potencial de procesamiento anual de 2.496 t de material de mina, lo cual implica un funcionamiento de la planta de 26 días al mes y un procesamiento de 16 t de material mineral al día.

- La implementación de la propuesta de adecuación tecnológica para la sustitución del uso del mercurio en el proceso de beneficio del oro permite alcanzar hasta un 88 % de recuperación de oro por tonelada, obteniéndose el 39 % de recuperación en el proceso de concentración gravimétrica y el 49 % restante en el proceso de cianuración. Este porcentaje es mayor en relación con la recuperación promedio que se tiene en esta zona, correspondiente a la UGM 1.

- Teniendo en cuenta que el tenor de la zona minera de Andes (Antioquia) correspondiente a la UGM 1 es de 44,3 g y que la implementación de la ruta metalúrgica en la operación futura permite una recuperación mínima del 88 %, se espera una recuperación de 38,98 g por cada tonelada de mineral procesado.

- Se definió un esquema conservador, en el cual se obtiene una recuperación de oro equivalente al 88 % por cada tonelada de material mineral procesado. Sin embargo, estos rendimientos pueden ser superiores al 90 %.

- De las características de la planta y las variables de operación definidas por parte del equipo técnico, se realizó un inventario de la maquinaria y los equipos nuevos que se deben adquirir en pro de mejorar algunos de los procesos que se están llevando a cabo en la operación actual de las plantas de beneficio de la UGM 1, con el fin de implementar los nuevos procesos que se detallan en la ruta metalúrgica contenida en la presente guía. El monto de recursos a invertir para la adecuación es de COP \$802.331.140.

- La definición del inventario de maquinaria y equipo nuevos, con sus respectivas especificaciones técnicas, se determinó a partir del inventario inicial de las plantas de la zona que corresponden a la UGM 1. Esto con el objetivo de evitar incurrir en costos innecesarios y optimizar los recursos disponibles para la inversión.

- Los rubros más representativos dentro de la estructura de costos de la operación futura de la planta son la materia prima y los análisis y pruebas de laboratorio, cada uno con una participación en los costos totales del 73 % y el 6 %, respectivamente.

- El consumo de energía eléctrica por cada equipo se determinó a partir de la potencia nominal de los motores emplea-

dos en la planta y el número de horas al día que se utilizarían. De acuerdo con los parámetros de operación previamente definidos para la planta de beneficio, el consumo de energía es de 38.454 kW/mes.

- A partir de experimentos de laboratorio efectuados por el equipo técnico se determinó la dosificación adecuada de los insumos y elementos químicos que se deben utilizar en cada uno de los procesos de la operación. Con esto se espera que en la operación futura de las plantas de la zona de Andes (Antioquia) se realice un uso eficiente de dichos insumos.

- El costo unitario aproximado que se puede alcanzar con la implementación de la propuesta de adecuación es de COP \$48.670 por cada gramo de oro y de USD \$509,47 por cada onza Troy.

- El costo de los análisis y pruebas de laboratorio que se deben realizar para tener el control de la eficiencia de cada uno de los procesos de la operación y los impactos ambientales asociados a elementos tóxicos que es posible se generen, pueden racionalizarse con la inversión futura en el montaje de un laboratorio. Se prevé que este laboratorio puede tener una demanda potencial de las empresas mineras de la zona.

- El precio de venta que se utilizó como referencia para el estudio financiero de la operación futura corresponde al precio del oro promedio internacional del 2017. Este precio es de COP \$118.465/g y de USD \$1.228/onza Troy.

- Con la implementación de la presente propuesta de modernización tecnológica se alcanza una ganancia unitaria (antes de impuestos) de COP \$66.004/g de oro y de USD \$690,92/onza Troy de oro. Esto corresponde a un margen de utilidad operacional del 56,06 % en promedio para los cinco años contemplados como horizonte de evaluación.

- Con la implementación de la presente propuesta de modernización tecnológica se alcanza una ganancia unitaria neta (después de impuestos) de COP \$44.223/g de oro y de USD \$462,92/onza Troy de oro. Esto corresponde a un margen de utilidad neta del 37,56 % en promedio para los cinco años contemplados como horizonte de evaluación.

- Se estableció que la inversión en adecuación de las plantas de beneficio de la zona que corresponden a la UGM 1 se justifica desde el punto de vista financiero, ya que los resultados de los indicadores demuestran que los beneficios son mayores que los costos, incluyendo la inversión inicial, y que el dinero invertido en el proyecto rinde más que las tasas de interés de oportunidad del 20 % y el 30 % anual.

- El periodo de recuperación de la inversión bajo las tasas de interés de oportunidad del 20 % y el 30 % anual es inferior a 1 año.

8.7. METODOLOGÍA PARA EL ESTUDIO Y EVALUACIÓN FINANCIERA DEL PROYECTO – UNIDAD GEOMETALÚRGICA 2

En esta sección se enseña la metodología que se emplea en cada una de las etapas del estudio y evaluación financiera del proyecto, correspondiente a la unidad geometalúrgica 2 (ver figura 7.2.), al mismo tiempo que se exponen las recomendaciones técnicas (provenientes de los estudios geológico, metalúrgico y químico-ambiental) que soportan la definición de las variables de operación de la planta de beneficio que representa las condiciones típicas de la zona, y se presentan los supuestos que se tuvieron en cuenta para la proyección de ingresos y egresos de la operación futura durante el horizonte de evaluación definido.

VARIABLES DE OPERACIÓN DE LA PLANTA DE BENEFICIO (MODELO)

Para la realización del estudio se establecieron unas variables de operación de la planta de beneficio modelo que fueron determinadas por el equipo técnico, a partir de la información recolectada en campo y los resultados de los estudios técnicos efectuados.

• Capacidad de procesamiento	2 t/h
• Funcionamiento de la planta	8 h/día
• Volumen de procesamiento	16 t/día
• Turnos por día	1 día
• Días de operación al mes	26 días
• Volumen de procesamiento	416 t/mes
• Tenor por tonelada de material de mina	10,12
• % Total de recuperación de oro	88,0%
• Recuperación total de oro	8,91 g/t

Las inversiones que se requieren para la adecuación de la planta (maquinaria y equipo, instalaciones eléctricas e hidráulicas y montaje de laboratorio) dependerán de las características de cada planta y de la negociación del minero con su proveedor.

8.7.1. ESTUDIO FINANCIERO

En esta etapa se identificaron y valoraron monetariamente las inversiones en activos fijos y diferidos que se requieren para la puesta en marcha de la propuesta, como se explica enseguida.

8.7.1.1. IDENTIFICACIÓN Y VALORACIÓN DE LA INVERSIÓN INICIAL

ACTIVOS FIJOS

La inversión en activos fijos está representada en la adquisición de maquinaria y equipo (incluyendo el costo de instalaciones eléctricas e hidráulicas para su funcionamiento) y el costo del montaje del laboratorio.

- **Maquinaria y equipo**

Este rubro comprende el costo de la maquinaria y de los equipos que se deben adquirir para mejorar algunos de los procesos que se están llevando a cabo en la operación actual de las plantas de beneficio, e implementar los nuevos procesos que se detallan en la ruta metalúrgica contenida en esta guía.

La puesta en marcha de la propuesta de modernización requiere la compra total de la maquinaria que se relaciona en seguida. Estas especificaciones técnicas corresponden a la capacidad de procesamiento de la planta de beneficio definida por el equipo técnico.

Para definir la maquinaria y los equipos que deben comprarse se partió del inventario inicial de las plantas de la zona, con el objetivo de evitar costos innecesarios y optimizar, así, los recursos disponibles.

En la siguiente tabla se detalla la maquinaria y equipos nuevos que se requieren para cada proceso, de acuerdo al inventario inicial de la unidad geometalúrgica 2.

PROCESOS	MÁQUINA Y DESCRIPCIÓN	ESPECIFICACIÓN TÉCNICA	CANTIDAD
TRITURACIÓN Y MOLIENDA	Tolva para material triturado	4 m x 4m x 2m	1
	Trituradora de mandíbulas	10" x 16"	1
	Criba vibratoria	1,5m x 0,9m	1
	Caja de pulpa	0,80m x 0,80m x 1m	1
	Bomba de sólidos	2,5" x 2"	2
	Hidrociclón 1	6"	1
	Hidrociclón 2	4"	1
CONCENTRACIÓN	Tanque acondicionador	1m ³	1
	Celdas de flotación circulares	1,2m	2
	Tanque espesador	2,5m	2
CIANURACIÓN	Precipitación, sistema Merrill Crowe	5 a 10m ³ /hora	1
FUNDICIÓN	Horno con crisol para	15 Kg	1
MANEJO AMBIENTAL	Bomba sumergible	2 HP	2
	Tanques auxiliares en propileno	1000 Lts	3
	Tanque auxiliares en lámina para neutralización	D= 3m, H=3,5m	1
	Tanque reactor	D=3m, H=3m	1

- **Instalaciones eléctricas e hidráulicas**

Este rubro comprende el costo de materiales y el pago de honorarios del personal calificado que llevará a cabo las adecuaciones eléctricas e hidráulicas necesarias para la instalación y puesta en funcionamiento de la maquinaria y los equipos nuevos. (La descripción del alcance del trabajo de instalaciones eléctricas puede consultarse en el informe técnico que soporta la presente guía).

- **Montaje de laboratorio**

Este rubro comprende el costo del montaje del laboratorio requerido para obtener información oportuna y veraz, acerca de la eficiencia de las operaciones a nivel de proceso y de los impactos ambientales de tipo químico, que se estén causando con el proceso de beneficio.

ACTIVOS DIFERIDOS

La adquisición del siguiente activo diferido está sujeta a las condiciones propias de cada planta.

- **Licencia ambiental**

Este rubro comprende el costo de los estudios previos que se deben realizar para tramitar la solicitud de la licencia ambiental y el valor que se debe pagar a la autoridad ambiental competente una vez sea aprobada la licencia.

Para el desarrollo de la explotación minera y el beneficio de oro se debe contar con dos criterios básicos. 1) trabajar bajo el amparo de un título minero y 2) contar con un instrumento ambiental.

8.7.1.2. IDENTIFICACIÓN Y VALORACIÓN DE COSTOS DE OPERACIÓN

En esta etapa se identificaron y valoraron monetariamente cada uno de los costos (directos e indirectos) de la operación de la planta de beneficio, conforme a la ruta metalúrgica propuesta.

De acuerdo con el diagrama de operaciones de la ruta metalúrgica propuesta (diagrama 7.3.), los costos de operación se cuantificaron y clasificaron para cada uno de los siguientes procesos:

- Trituración y molienda
- Concentración (gravimétrica y por flotación)
- Cianuración
- Fundición
- Manejo ambiental

COSTOS DIRECTOS

Los costos directos del proceso de beneficio tienen que ver con la adquisición de materia prima e insumos, pago de mano de obra, mantenimiento de maquinaria y equipos, análisis y pruebas de laboratorio, pago de servicios públicos (energía eléctrica y agua) y depreciación de bienes físicos.

• Materia prima

El costo de materia prima corresponde al valor que se debe pagar por cada tonelada de material de mina (mineral) puesto en tolva. En este ejercicio, el costo de la materia prima se estimó en un 30% del valor de venta final del oro que se recupera por cada tonelada de material procesado.

Fórmula para calcular el costo de la materia prima:

Costo de material de mina (\$/t) = Au recuperado (g/t) × precio venta (\$) × 30%

• Insumos

Respecto al rubro de insumos, se tiene en cuenta el costo de los reactivos y elementos químicos que se emplean en cada proceso, según se detalla en la siguiente tabla:

PROCESOS	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CONSUMO / TONELADA*	CONSUMO MENSUAL**
TRITURACIÓN Y MOLIENDA	Cuerpos moledores	kg	0,12	50
	Revestimientos trituradora Primaria	kg	0,12	50
	Revestimientos trituradora Secundaria	kg	0,12	50
	Revestimientos molino Primario	kg	0,12	50
	Revestimientos molino Secundario	kg	0,12	50
CONCENTRACIÓN	Aero 7020 (contratipo A31)	kg	0,045	18,72
	Aero 8255 (contratipo A31)	kg	0,045	18,72
	Xantato isopropílico Z6	kg	0,085	35,36
	Espumante Aero - Froth 65	kg	0,04	16,64
	Sulfato de cobre	kg	0,05	20,80
CIANURACIÓN	Cianuro de sodio (NaCN)	kg	3	1.248
	Cal (CaO)	kg	2,5	1.040
	Hidróxido de sodio (Potasa)	kg	0,0391	16
	Acetato de plomo	kg	0,003	1
	Polvo de zinc	kg	0,024	10
	Xelite (diatomita)	kg	0,013	5
FUNDICIÓN	Borax	kg	0,044	18
	Carbonato de sodio	kg	0,008	3
	Sílice	kg	0,025	10
MANEJO AMBIENTAL	Floculante	kg	0,004	2
	Ácido sulfúrico	kg	0,3	125
	Peróxido de hidrógeno	kg	0,23	96
	Hipoclorito de sodio	L	0,23	96

Nota: (*) La dosificación por tonelada fue determinada por el Equipo Técnico. (**) La cantidad consumida mes se estimó para 416 toneladas, conforme a las variables de operación de la planta.

• Mano de obra

En este rubro se cuantifica el pago mensual de los salarios del personal vinculado a la operación, los aportes a seguridad social que deben ser asumidos por el empleador con base en la Ley 100 de 1993 (salud, pensión y ARL), los aportes parafiscales que deben destinarse al Instituto de Bienestar Familiar, al SENA y a las cajas de compensación familiar, así como la respectiva provisión mensual para el pago de las prestaciones sociales (prima, vacaciones, cesantías e intereses de cesantías).

Salarios de los empleados:

El costo de mano de obra se calcula para un total de cuatro empleados, conforme a la distribución de operarios por proceso y la asignación salarial, que se muestran en la siguiente tabla:

PROCESO	CARGO	CANTIDAD DE OPERARIOS	TORNOS X DÍA	SUELDO BÁSICO X MES (COP)	AUX. TRANSPORTE X MES (COP)	SALARIO TOTAL X MES (COP)*
Trituración y molienda	Operario	1	1	\$ 781.242	\$ 88.211	\$ 869.453
Concentración	Operario	1	1	\$ 781.242	\$ 88.211	\$ 869.453
Cianuración	Operario	1	1	\$ 781.242	\$ 88.211	\$ 869.453
General	Jefe de turno	1	1	\$ 3.000.000	\$ 0	\$ 3.000.000
Total:						\$ 5.608.359

Nota: (*) El salario total asignado para los operarios corresponde al valor del salario mínimo mensual vigente en Colombia para 2018.

El Jefe de Turno se encarga de la supervisión de la operación y de la dosificación de los reactivos en el proceso de flotación. El operario del proceso de cianuración se encarga del proceso de neutralización.

Aportes al Sistema General de Seguridad Social (SGSS)

El cálculo de aportes a cargo del empleador, con destino al Sistema General de Seguridad Social, se realizó con base en los sueldos básicos por mes que se indicaron en la tabla anterior.

Fórmula para calcular los aportes a seguridad social.

Aportes a seguridad social (\$/mes) = sueldo básico (\$) × % aporte (EPS, pensión, ARL)

Aportes Parafiscales

El cálculo de aportes parafiscales que corresponden a una contribución obligatoria del empleador con destino al Servicio Nacional de Aprendizaje (SENA), al Instituto Colombiano de Bienestar Familiar (ICBF) y a las cajas de compensación familiar (CCF), con el propósito de que dicho aporte permita a estas entidades ejecutar las labores para las cuales fueron creadas, se estimó conforme a los salarios básicos asignados a los empleados.

Fórmula para calcular los aportes a parafiscales

Aportes parafiscales (\$/mes) = sueldo básico (\$) × % aporte (SENA, ICBF, CCF)

Prestaciones sociales

El cálculo de la provisión mensual sobre el valor de la nómina para el pago de prestaciones sociales a los trabajadores se estimó con base en el salario mensual total asignado a cada operario.

Fórmula para calcular la provisión

Provisión mes = salario total (\$) × % carga prestacional (prima, vacaciones, cesantías)

Fórmula para calcular la provisión para intereses de cesantías.

Provisión mes intereses de cesantías = cesantías (\$) × 12 %

El cálculo de los aportes al SGSS y contribuciones parafiscales se deben realizar sobre la base del sueldo básico, es decir, sin tener en cuenta el auxilio de transporte. En tanto que, la liquidación de las prestaciones sociales se debe tomar como base de cálculo el salario total, esto es, el sueldo básico más auxilio de transporte.

CONCEPTO	APORTE SGSS COP (\$)	DESCRIPCIÓN
EPS (salud)	\$66,406	Aporte total: \$97.655 Empleador: (8,5%) \$66,406 Trabajador: (4%) \$31,250
Pensión (AFP)	\$93,749	Aporte total: \$ 124.999 Empleador: (12%)\$93,749 Trabajador: (4%)\$31,250
ARL	\$ 54,374	Riesgo V (6,96%): \$ 54,374 Empleador \$54.374
Total:	214.529	

Cálculo con base en Ley 100 de 1993, valor del salario mínimo mensual vigente en Colombia para 2018.

CONCEPTO	APORTES PARAFISCALES COP(\$)	DESCRIPCIÓN
Caja de Compensación Familiar	\$ 31.250	4% a cargo del empleador
ICBF	\$ 23.437	3% a cargo del empleador
SENA	\$ 15.625	2% a cargo del empleador
Total:	\$70.312	

Cálculo con base en % establecidos en Código Sustantivo del Trabajo, valor del salario mínimo mensual vigente en Colombia para 2018.

CONCEPTO	PRESTACIONES SOCIALES COP(\$)	DESCRIPCIÓN
Cesantías (8,33%)	\$72.425	Equivale a un mes de salario por cada año trabajado o según el tiempo laborado.
Intereses de cesantías (12%)	\$ 8.691	Corresponde al 12% sobre el valor a pagar de las cesantías.
Prima de servicios (8,33%)	\$72.425	Equivale a un mes de salario por cada año trabajado o según el tiempo laborado.
Vacaciones (4,17%)	\$ 36.256	La Ley del Trabajo establece 15 días hábiles consecutivos de vacaciones anuales remuneradas.

Cálculo con base en Ley 1607 de 2012, valor del salario mínimo mensual vigente en Colombia para 2018.

MANTENIMIENTO DE LOS BIENES FÍSICOS

En este rubro se cuantifican todos los gastos necesarios para conservar la maquinaria y los equipos en buenas condiciones, a efectos de que trabajen con rendimiento normal durante su vida útil.

El valor del mantenimiento de la maquinaria y los equipos se estableció como un porcentaje equivalente a 0.75% sobre el valor comercial de la maquinaria. (Este valor incluye el costo del mantenimiento preventivo, correctivo y compra de repuestos).

Fórmula para calcular el costo de mantenimiento

Costo de mantenimiento (\$) = valor comercial total (\$) x 0.75%

ANÁLISIS Y PRUEBAS DE LABORATORIO

Este rubro comprende el costo de los ensayos de laboratorio que deben realizarse cada mes con el objetivo de disponer de información oportuna y veraz acerca de la eficiencia de las operaciones en cada uno de los procesos, así como de los impactos ambientales de tipo químico que se estén generando.

En la siguiente tabla se relacionan los tipos de ensayos, tipos de muestras y cantidades mínimas que se deben realizar en cada mes de la operación.

PROCESOS	TIPO DE ENSAYO	TIPO DE MUESTRA	CANTIDAD (UNIDAD/MES)
TRITURACIÓN	Ensayo al fuego	Cabeza general	26
	Ensayo al fuego	Cola de flotación	26
CONCENTRACIÓN	Ensayo al fuego	Concentrado de mesa	26
	Ensayo al fuego	Superconcentrado	8
FUNDICIÓN	Ensayo al fuego	Fundido	8
CIANURACIÓN	Ensayo al fuego	Cola de cianuración	26
	Absorción atómica	Oro en solución de cianuración	52
	Absorción atómica	Oro en solución pobre	26
	Absorción atómica	Zinc en solución pobre	2
	Absorción atómica	Cobre en solución	2
MANEJO AMBIENTAL	Absorción atómica	Ambientales	4

SERVICIOS PÚBLICOS

Es necesario precisar que en los costos indirectos de fabricación (CIF) usualmente se tienen en cuenta los costos de los servicios públicos. Sin embargo, en este ejercicio financiero se clasifica el costo del consumo de agua y energía como costos directos del proceso de operación, con el objetivo de establecer un punto de referencia para evaluar el aumento de consumo de energía que se generaría en la planta, a partir de la implementación de la propuesta tecnológica y estimar el costo del consumo de agua en el proceso de beneficio.

• Costo de energía eléctrica

En este rubro se cuantifica el costo de la energía eléctrica mensual que se consume en el proceso de beneficio.

El consumo de energía eléctrica por cada equipo se determinó a partir de la potencia nominal de los motores empleados en la planta y el número de horas al día que se utilizarían, de acuerdo con los parámetros de operación previamente definidos para la planta de beneficio típica de la zona. La siguiente tabla contiene el detalle del consumo de energía eléctrica por mes para cada equipo.

El costo total por energía eléctrica mensual se calcula con base en el consumo en kWh-mes y la tarifa por kW que se paga a la empresa que suministra el servicio.

Fórmula para calcular el costo mensual de energía eléctrica

Costo de energía eléctrica (\$) = consumo de energía (kWh-mes) × tarifa kW (\$)

PROCESOS	EQUIPO	ESPECIFICACIÓN TÉCNICA	POTENCIA MOTOR (H.P.)	POTENCIA MOTOR (Kw)	CANTIDAD	HORAS DE TRABAJO	Kw/DÍA	Kw/MES
TRITURACIÓN Y MOLIENDA	Trituradora de quijadas	24" x 10"	12	9	1	4	36	936
	Criba vibratoria	1,5 x 0,9m	2	1,5	1	4	6	156
	Trituradora de martillos	10" x 16"	25	18,75	1	4	75	1.950
	Molino de bolas primario	4" x 5" - 1,20 x 1,50	30	22,5	1	8	180	4.680
	Molino de bolas secundario	1,0m x 2,5m	25	18,75	1	8	150	3.900
	Bomba de sólidos	2,5" x 2"	7,5	5,625	2	8	90	2.340
Total Trituración y Molienda								13.962
CONCENTRACIÓN	Mesa de concentración 1	1,50m x 2,50m	2	1,5	1	8	12	312
	Celdas de flotación circulares	1,2m	12	9	2	8	144	3.744
	Tanque espesador	2,5m	2	1,5	2	8	24	624
	Tanque acondicionador		5	3,75	1	8	30	780
	Total Concentración							5.460
CIANURACIÓN	Tanque agitación (Lixiviación)		12	9	3	8	216	5.616
	Precipitación, Sistema Merrill Crowe	5 a 10m ³ /hora	14	10,5	1	4	3	78
	Compresor		45	33,75	1	8	270	7.020
	Total Cianuración							12.714
MANEJO AMBIENTAL	Tanque agitado para neutralización		12	9	1	8	72	1.872
	Bombas para recirculación de aguas y soluciones	5 HP	5	3,75	3	8	90	2.340
Total Manejo Ambiental								4.212
TOTAL								36.348

• Costo de agua

En este rubro se cuantifica el costo por consumo de agua en el proceso de beneficio de la planta, de acuerdo con la tarifa reportada por la empresa prestadora del servicio en la zona.

Para determinar la cantidad de agua que se consume en el proceso de beneficio de la planta, el equipo técnico realizó un ejercicio experimental basándose en un balance de masa hídrico, mediante el cual se logró establecer que el consumo específico de agua por tonelada de mineral procesado es de 0.53 m³.

Fórmula empleada para calcular el costo mensual de agua

Costo del agua (\$) =
consumo de agua (m³/mes) × tarifa m³ (\$)

DEPRECIACIÓN

En este rubro se cuantifica la disminución del valor original de la maquinaria, como consecuencia de su uso durante su tiempo de vida útil. Debe tenerse en cuenta que, pese a que la depreciación no representa una salida de efectivo, este mecanismo debe considerarse a efectos de recuperar la inversión en activos fijos.

El valor de depreciación mensual de cada equipo se estimó por medio del método en línea recta, utilizando como referencia un tiempo de vida útil de 10 años.

El método de línea recta está reconocido por la DIAN para efectos de descontar el valor de la depreciación de la base de cálculo del impuesto de renta y complementarios.

La fórmula para el cálculo de la depreciación de la maquinaria y equipo es la siguiente:

Costo depreciación (\$) = valor comercial del equipo (\$) / tiempo de vida útil (meses)

COSTOS INDIRECTOS

En este análisis, los costos indirectos de fabricación (CIF) se calculan como un porcentaje equivalente al 10% sobre la suma de los costos directos de la planta de beneficio.

Fórmula para calcular los CIF

$$\text{CIF (\$)} = \text{valor de costos directos (\$)} \times 10\%$$

El costo e ingreso unitario, es decir, el valor por cada gramo de oro, se calcula dividiendo el valor de los costos totales del mes sobre el número de gramos recuperados y viceversa.

COSTOS TOTALES

Los costos totales de la operación mensual de la planta de beneficio se determinan mediante la suma de los costos directos e indirectos.

Fórmula para calcular el costo total

$$\text{Costos totales mensuales (\$)} = \text{total de costos directos mensuales (\$)} + \text{total de costos indirectos mensuales (\$)}$$

8.7.1.3. IDENTIFICACIÓN Y VALORACIÓN DE INGRESOS DE OPERACIÓN

En esta etapa se identificaron y valoraron monetariamente los ingresos mensuales que se obtienen de la operación de la planta de beneficio. Para esto se debe multiplicar la cantidad de oro producido en gramos por el precio al que se vende cada gramo de oro.

Fórmula utilizada para determinar la cantidad de oro que se recupera por cada tonelada de material procesado

$$\text{Oro recuperado por tonelada (g)} = \text{tenor (g)} \times \% \text{ recuperación total}$$

CANTIDAD DE MATERIAL PROCESADO (t)	RECUPERACIÓN TOTAL (%)*	CANTIDAD RECUPERADA (g/t)
1	100	10,12
1	88,0	8,91

(*) Con la implementación de la propuesta tecnológica se puede alcanzar hasta un 88,0% de recuperación de oro por tonelada, obteniéndose el 39,0% de recuperación en el proceso de concentración gravimétrica y el 49,0%, restante, en el proceso de cianuración.

(**) Para la zona minera de Andes (Unidad Geometalúrgica 2) se determinó un tenor de 10,12 gramos, por tonelada.

Una vez se ha determinado la cantidad de oro recuperado por cada tonelada de material de mina procesado, se emplea la siguiente fórmula para establecer la cantidad de oro que se produce en un mes:

$$\text{Producción de oro (g)} = \text{oro recuperado (g)} \times \text{material de mina procesado al mes (t)}$$

Finalmente se utiliza la siguiente fórmula para determinar los ingresos mensuales por la venta de oro producido

$$\text{Ingresos totales mensuales (\$)} = \text{producción mensual de oro (g)} \times \text{precio del oro (\$/g)}$$

8.7.2 EVALUACIÓN FINANCIERA

En esta sección se presenta la metodología que se emplea en las dos etapas de la evaluación financiera, y se exponen los supuestos que se tuvieron en cuenta para la proyección de ingresos y costos de operación durante el horizonte definido para la evaluación del proyecto.

Recordemos que la evaluación financiera de proyectos comprende esencialmente dos etapas: la construcción del flujo de caja del proyecto y la aplicación de métodos de evaluación para establecer la conveniencia de emprender o no un proyecto.

8.7.2.1 CONSTRUCCIÓN DEL FLUJO DE CAJA DEL PROYECTO

El tiempo definido para medir la bondad financiera del proyecto u horizonte de evaluación del proyecto es de cinco años.

A continuación se explican cada uno de los componentes del flujo de caja y los supuestos que se utilizaron para la proyección de ingresos y costos de operación de la planta de beneficio en cada uno de los años que comprende el horizonte de evaluación.

INVERSIÓN INICIAL

El monto de la inversión inicial se registra en la estructura del flujo de caja en el año cero. Esto se debe a que la inversión se realiza antes de poner en marcha el proyecto.

INGRESOS GRAVABLES

Los ingresos gravables que se registran en el flujo de caja del proyecto son los mismos ingresos operacionales que resultan de la venta de oro producido en cada año.

- **Supuestos que se tuvieron en cuenta para la proyección de los ingresos gravables**

La producción anual se mantiene constante en el horizonte de evaluación del proyecto (cada año se produce la misma cantidad de oro). A partir del segundo año, el precio del oro aumenta en una proporción del 3% anual.

Fórmula para calcular los ingresos gravables anuales

Ingresos gravables del primer año (\$) = producción de oro del primer año (g) × precio oro en el primer año (\$/g)

EGRESOS DEDUCIBLES

Los egresos deducibles que se registran en el flujo de caja del proyecto son los costos de operación, la depreciación y el pago de regalías.

La tasa para la liquidación de regalías por explotación de oro es del 4% sobre la producción en boca de mina.

Fórmula para la liquidación de las regalías

Regalías del año 1 (\$) = (producción de oro año 1 (g) × precio fijado por el Banco de la República en el año 1 (\$/g)) * 4%

- **Supuestos que se tuvieron en cuenta para la proyección de los egresos deducibles:**

A partir del 2.º año, el costo de la materia prima (material de mina) aumenta en una proporción del 3% anual.

A partir del 2.º año, el costo de los insumos aumenta en una proporción del 2% anual.

A partir del 2.º año, el costo la de mano de obra aumenta en una proporción del 4% anual.

A partir del 2.º año, el precio para la liquidación de las regalías aumenta en una proporción de 3% anual.

Los demás costos de operación (mantenimiento, análisis y pruebas de laboratorio, servicios públicos y costos indirectos de fabricación) permanecen constantes en el horizonte de evaluación del proyecto, es decir que para cada año el costo es el mismo.

Las regalías son una contraprestación económica que recibe el Estado por la explotación de un recurso natural no renovable cuya producción se extingue con el transcurso del tiempo. De conformidad con los artículos 58, 332 y 360 de las Constitución Política, toda explotación de recursos naturales no renovables de propiedad estatal genera una regalía como contraprestación económica.

UTILIDAD OPERACIONAL

La utilidad operacional es la ganancia obtenida por la empresa, antes del pago de impuestos.

Fórmula para calcular la utilidad antes de pagar impuestos

Utilidad operacional del primer año (\$) = ingresos gravables en el primer año (\$) – egresos deducibles del primer año (\$)

MARGEN DE UTILIDAD OPERACIONAL

Este indicador determina el porcentaje que queda por cada peso de venta después de deducir todos los costos y gastos de la operación de la planta de beneficio.

Fórmula para calcular el margen de utilidad operacional

Margen de utilidad operacional del primer año (%) = (utilidad operacional del primer año (\$) / ingresos gravables del primer año (\$)) × 100

IMPUESTOS

En el flujo de caja del proyecto se debe estimar el impuesto de renta, que corresponde al impuesto que grava todos los ingresos que obtenga un contribuyente en el año, que sean susceptibles de producir incremento neto del patrimonio en el momento de su percepción, siempre que no hayan sido expresamente exceptuados, y considerando los costos y gastos en que se incurre para producirlos.

En la última reforma tributaria, contenida en la Ley 1819 del 29 de diciembre de 2016, se estableció el 33% como tarifa general del impuesto de renta para las personas jurídicas.

Fórmula para calcular el impuesto de renta

Impuesto de renta del primer año (\$) = utilidad antes de pagar impuestos (\$) × 33%

UTILIDAD NETA

La utilidad neta es la ganancia obtenida por la empresa después de haber pagado impuestos.

Fórmula para calcular la utilidad neta

Utilidad neta en el primer año (\$) = utilidad operacional del primer año (\$) – impuesto de renta del primer año (\$)

MARGEN DE UTILIDAD NETA

Este indicador determina el porcentaje que queda por cada peso de venta, después de deducir todos los costos y gastos de la operación de la planta de beneficio, incluyendo el pago de impuesto de renta.

Fórmula para calcular el margen de utilidad neta

Margen de utilidad neta del primer año (%) = (utilidad neta del primer año (\$) / ingresos gravables del primer año (\$)) × 100

FLUJO NETO DE EFECTIVO

Los flujos netos de efectivo son los beneficios futuros que genera el proyecto en cada año que comprende el horizonte de evaluación.

Fórmula para calcular el flujo neto de efectivo

Flujo neto de efectivo en el primer año (\$) = utilidad neta del primer año (\$) + depreciación en el primer año (\$)

8.7.2.2 APLICACIÓN DE MÉTODOS PARA EVALUAR PROYECTOS

En seguida se presentan las fórmulas que se emplearon para calcular los indicadores de evaluación financiera del proyecto.

VALOR PRESENTE NETO (VPN):

Para el cálculo del VPN se utilizaron dos tasas de descuento: la primera, equivalente al 20%, y la segunda, del 30%.

Recordemos que la tasa de descuento (TD) se utiliza para trasladar los flujos netos de efectivo del futuro al presente.

Fórmula para calcular el VPN

$$\text{VPN} = - \text{Inversión inicial (\$)} + \frac{\text{FNE (\$)}_{\text{año 1}}}{(1 + \text{TD})^1} + \frac{\text{FNE (\$)}_{\text{año 2}}}{(1 + \text{TD})^2} \dots \frac{\text{FNE (\$)}_{\text{año 5}}}{(1 + \text{TD})^5}$$

TASA INTERNA DE RETORNO (TIR):

Fórmula para calcular la TIR

$$\text{TIR} = \frac{-\text{Inversión Inicial (\$)} + \sum_{t=1}^5 \text{FNE (\$)}}{\sum_{t=1}^5 (\text{TD}(\%) * \text{FNE}(\$))}$$

Antes de calcular la relación Beneficio - Costo se requiere estimar el valor presente neto (VPN) de los beneficios y de los costos. Para esto se utilizaron dos tasas de descuento: la primera, equivalente al 20%, y la segunda, del 30%.

Fórmulas para calcular el valor presente de los beneficios y de los costos

$$\text{VPN Ingresos} = \frac{\text{Ingresos operacionales año 1}}{(1 + \text{TD})^1} + \frac{\text{Ingresos operacionales año 2}}{(1 + \text{TD})^2} \dots \frac{\text{Ingresos operacionales año 5}}{(1 + \text{TD})^5}$$

$$\text{VPN Costos} = \frac{\text{Costos operacionales año 1}}{(1 + \text{TD})^1} + \frac{\text{Costos operacionales año 2}}{(1 + \text{TD})^2} \dots \frac{\text{Costos operacionales año 5}}{(1 + \text{TD})^5}$$

Después de estimar el valor presente neto (VPN) de los beneficios y de los costos, se procede a calcular la relación beneficio - costo (RB/C).

Fórmula para calcular la relación beneficio-costo (RB/C)

$$\text{Relación Beneficio - Costo} = \frac{\sum_{t=1}^5 (\text{VPN}) \text{ Ingresos}(\$)}{\sum_{t=1}^5 (\text{VPN}) \text{ Costos}(\$)}$$

*En los costos operacionales no se tiene en cuenta la depreciación de los bienes físicos y la maquinaria.

8.8. ESTUDIO Y EVALUACIÓN FINANCIERA DEL PROYECTO - UNIDAD GEOMETALÚRGICA 2

En esta sección se presentan los resultados de la estimación del monto de recursos económicos que se requieren para la inversión inicial, los costos totales y el valor de la producción en función de los parámetros de operación definidos para la planta, y los indicadores que comprueban la viabilidad financiera del proyecto, de acuerdo con las condiciones iniciales de la Unidad Geometalúrgica 2.

Inversión inicial

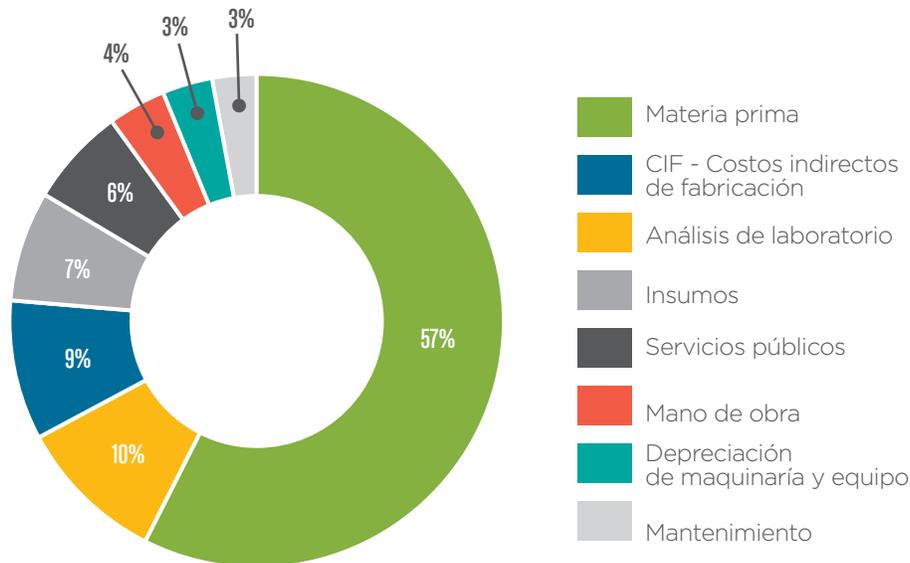
DESCRIPCIÓN	COSTO	% PARTICIPACIÓN EN INVERSIÓN
Activos Fijos		
Maquinaria y equipo	\$ 519.238.650	76%
Instalaciones eléctricas e hidráulicas	\$ 165.877.490	24%
Total Activos Fijos	\$ 685.116.140	100%

Los precios cotizados se encuentran detallados en el informe técnico.

Costo operación - mes

DESCRIPCIÓN	COP (\$)
Costos Directos	
Materia prima	\$ 131.664.238
Insumos	\$ 16.687.412
Mano de obra	\$ 8.780.964
Mantenimiento	\$ 6.683.352
Análisis y pruebas de Laboratorio	\$ 22.300.000
Servicios públicos	\$ 14.769.161
Depreciación de maquinaria y equipo	\$ 7.425.947
Total Costos Directos	\$ 208.311.074
Costos Indirectos	
CIF - Costos Indirectos de fabricación	\$ 20.831.107
Total Costos Indirectos	\$ 20.831.107
Total Costos: (Directos + Indirectos)	\$ 229.142.181

Estructura de costos de operación futura - Planta de Beneficio Modelo



Ingresos de operación – mes

PROCESO	RECUPERACIÓN DE ORO %	RECUPERACIÓN DE ORO (g/t)	PRODUCCIÓN DE ORO (gramos)	PRECIO UNITARIO DE ORO (\$/g)*	COP (\$)
Concentración gravimétrica	0,390	3,95	1.642	\$ 118.465	\$ 194.503.987
Cianuración	0,490	4,96	2.063	\$ 118.465	\$ 244.376.805
Total:	0,880	8,91	3.705		\$ 438.880.792

*Corresponde al precio promedio internacional en 2017.

Fuente: cálculo propio con base en información Equipo Técnico y Banco de la República de Colombia.

Flujo de caja del proyecto (5 años)

CONCEPTO	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5
(1) INVERSIÓN INICIAL (-)						
Activos fijos	\$ 685,116,140					
Activos diferidos						
TOTAL INVERSIÓN INICIAL	-\$ 685,116,140					
(2) INGRESOS GRAVABLES (+)						
Ingresos operacionales		\$ 5,266,569,505	\$ 5,424,566,590	\$ 5,587,303,588	\$ 5,754,922,695	\$ 5,927,570,376
(3) EGRESOS DEDUCIBLES (-)						
Costos operacionales		\$ 2,660,594,809	\$ 2,721,775,673	\$ 2,784,794,272	\$ 2,849,706,710	\$ 2,921,245,962
Depreciación		\$ 89,111,365	\$ 89,111,365	\$ 89,111,365	\$ 89,111,365	\$ 89,111,365
Regalías		\$ 168,530,224	\$ 173,586,131	\$ 178,793,715	\$ 184,157,526	\$ 189,682,252
TOTAL EGRESOS DEDUCIBLES		\$ 2,918,236,399	\$ 2,984,473,169	\$ 3,052,699,352	\$ 3,122,975,602	\$ 3,200,039,579
(4) UTILIDAD ANTES DE IMPUESTOS		\$ 2,348,333,106	\$ 2,440,093,421	\$ 2,534,604,236	\$ 2,631,947,094	\$ 2,727,530,798
(5) MÁRGEN UTILIDAD OPERACIONAL		44.6%	45.0%	45.4%	45.7%	46.0%
(6) IMPUESTOS (-)						
IMPUESTO DE RENTA (33%) (-)		\$ 774,949,925	\$ 805,230,829	\$ 836,419,398	\$ 868,542,541	\$ 900,085,163
TOTAL IMPUESTOS		\$ 774,949,925	\$ 805,230,829	\$ 836,419,398	\$ 868,542,541	\$ 900,085,163
(7) UTILIDAD NETA		\$ 1,573,383,181	\$ 1,634,862,592	\$ 1,698,184,838	\$ 1,763,404,553	\$ 1,827,445,634
(8) MÁRGEN DE UTILIDAD NETA		29.9%	30.1%	30.4%	30.6%	30.8%
(9) DEPRECIACIÓN (+)		\$ 89,111,365				
(10) FLUJO NETO DE EFECTIVO	-\$ 685,116,140	\$ 1,662,494,546	\$ 1,723,973,957	\$ 1,787,296,203	\$ 1,852,515,918	\$ 1,916,556,999

8.8.1 RESULTADOS E INTERPRETACIÓN DE INDICADORES DE EVALUACIÓN FINANCIERA - UNIDAD GEOMETALÚRGICA 2

El VPN del proyecto a una TD del 20 %, correspondiente a la UGM 2, es de cuatro mil quinientos noventa y cinco millones cuatrocientos diecisiete mil ochocientos cuarenta y tres pesos M./CTE. (\$4.595.417.843).

El VPN del proyecto a una TD del 30 % correspondiente a la UGM 2, es de tres mil quinientos noventa y dos millones ciento cuarenta y siete mil doscientos noventa y siete pesos M./CTE. (\$3.592.147.297).

Teniendo en cuenta que el VPN es mayor que cero (para ambas tasas de descuento), se concluye que el proyecto se justifica desde el punto de vista financiero, pues el dinero invertido en el proyecto rinde más que estas tasas de interés de oportunidad.

Indicadores de evaluación financiera - Proyecto Unidad Geometalúrgica 2

INDICADOR	TD 20%	TD 30%
Valor presente Neto (VPN)	COP \$ 4.595.417.843 USD* \$ 1.531.806	COP \$ 3.592.147.297 USD* \$ 1.197.382
Tasa Interna de Retorno (TIR)	246%	246%
Relación Beneficio / Costo (B/C)	1,88	1,88

Tasa de cambio utilizada COP \$3000/USD.

La TIR del 246 % anual es mayor que las dos tasas de interés de oportunidad del inversionista definidas en este proyecto como el 20 % y el 30 % anual. Se concluye que este proyecto se justifica desde el punto de vista financiero, en la medida en que el dinero que permanece invertido en el proyecto rinde a una tasa del 246 % anual.

Para este proyecto la RB/C a tasas de interés de oportunidad del 20 % y el 30 % es de 1,88. De este resultado se concluye que el proyecto se justifica desde el punto de vista financiero, pues los beneficios son mayores que los costos.

8.9. ESTUDIO FINANCIERO OPERACIÓN ACTUAL Vs OPERACIÓN FUTURA - UNIDAD GEOMETALÚRGICA 2

En esta sección se exponen los resultados del estudio financiero de la operación actual de la planta que corresponde a la Unidad geometalúrgica 2 (diagrama 7.2.), a partir de los cuales se estableció una base de comparación (en términos de porcentaje de recuperación, cantidad de oro recuperado, costo unitario de producción, margen de utilidad operacional y de utilidad neta), para analizar la viabilidad económica de la implementación de la ruta metalúrgica propuesta.

VARIABLES DE OPERACIÓN DE LA PLANTA DE BENEFICIO ACTUAL

• Capacidad de procesamiento	1,25 t/h
• Funcionamiento de la planta	8 h/día
• Volumen de procesamiento	10 t/día
• Turnos por día	1 día
• Días de operación al mes	26 días
• Volumen de procesamiento	260 t/mes
• Tenor por tonelada de material de mina	10,12
• % Total de recuperación de oro	55%
• Recuperación total de oro	5,57 g/t

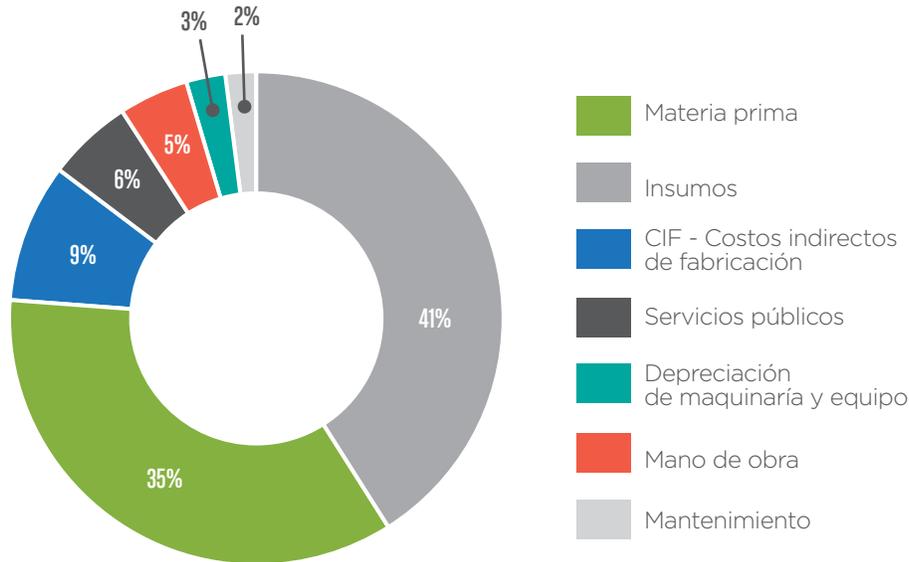
Costo operación - mes planta actual

DESCRIPCIÓN	COP (\$)
Costos Directos	
Materia prima	\$ 51.431.343
Insumos	\$ 59.899.432
Mano de obra	\$ 6.720.460
Mantenimiento	\$ 2.923.125
Servicios públicos	\$ 8.146.525
Depreciación de maquinaria y Equipo	\$ 3.722.917
Total Costos Directos	\$ 132.843.802
Costos Indirectos	
CIF - Costos indirectos de fabricación	\$ 13.284.380
Total Costos Indirectos	\$ 13.284.380
Total Costos: (Directos + Indirectos)	\$ 146.128.182

Debe tenerse en cuenta que la información de la operación actual de la planta de beneficio típica de la zona, se construyó a partir de pruebas de laboratorio efectuados por el equipo técnico con base en información recolectada en trabajo de campo.

8.9.1 RESULTADOS DE LA OPERACIÓN ACTUAL

Estructura de costos de operación actual



Ingresos de operación actual – mes

PROCESO	RECUPERACIÓN DE ORO %	RECUPERACIÓN DE ORO (g/t)	PRODUCCIÓN DE ORO (gramos)	PRECIO UNITARIO DE ORO (\$/g)*	COP (\$)
Amalgamación	15%	1,52	395	\$ 118.465	\$ 46.755.766
Cianuración	40%	4,05	1.052	\$ 118.465	\$ 124.682.043
Total:	0,55	5,57	1.447		\$ 171.437.809

Nota: (*) Corresponde al precio promedio internacional en 2017.

Fuente: cálculo propio con base en información Equipo técnico y Banco de la República de Colombia.

Flujo de caja de la operación actual (5 años)

CONCEPTO	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5
(2) INGRESOS GRAVABLES (+)					
Ingresos operacionales	\$ 2,057,253,713	\$ 2,118,971,324	\$ 2,182,540,464	\$ 2,248,016,678	\$ 2,315,457,178
(3) EGRESOS DEDUCIBLES (-)					
Costos operacionales	\$ 1,708,863,185	\$ 1,748,591,849	\$ 1,789,389,724	\$ 1,831,287,140	\$ 1,891,096,695
Depreciación	\$ 44,675,000	\$ 44,675,000	\$ 44,675,000	\$ 44,675,000	\$ 44,675,000
Regalías	\$ 65,832,119	\$ 67,807,082	\$ 69,841,295	\$ 71,936,534	\$ 74,094,630
TOTAL EGRESOS DEDUCIBLES	\$ 1,819,370,304	\$ 1,861,073,932	\$ 1,903,906,018	\$ 1,947,898,674	\$ 2,009,866,325
(4) UTILIDAD ANTES DE IMPUESTOS	\$ 237,883,409	\$ 257,897,392	\$ 278,634,446	\$ 300,118,004	\$ 305,590,853
(5) MÁRGEN DE UTILIDAD OPERACIONAL	11.56%	12.17%	12.77%	13.35%	13.20%
(6) IMPUESTOS (-)					
IMPUESTO DE RENTA (33%) (-)	\$ 78,501,525	\$ 85,106,139	\$ 91,949,367	\$ 99,038,941	\$ 100,844,982
TOTAL IMPUESTOS	\$ 78,501,525	\$ 85,106,139	\$ 91,949,367	\$ 99,038,941	\$ 100,844,982
(7) UTILIDAD NETA	\$ 159,381,884	\$ 172,791,253	\$ 186,685,079	\$ 201,079,063	\$ 204,745,872
(8) MÁRGEN DE UTILIDAD NETA	7.75%	8.15%	8.55%	8.94%	8.84%
(9) DEPRECIACIÓN (+)	\$ 44,675,000				
(10) FLUJO NETO DE EFECTIVO	\$ 204,056,884	\$ 217,466,253	\$ 231,360,079	\$ 245,754,063	\$ 249,420,872

Nota: Los supuestos que se tuvieron en cuenta para la proyección de ingresos y costos de operación actual, son los mismos que se definieron para la operación futura de la planta de beneficio modelo.

El detalle de cada uno de los cálculos anteriores, pueden ser consultados en el informe técnico que soporta la presente guía.

8.9.2. RESUMEN DE INDICADORES DE OPERACIÓN ACTUAL VS OPERACIÓN FUTURA

INDICADOR	UNIDAD	OPERACIÓN ACTUAL	OPERACIÓN FUTURA
Recuperación oro (g/t)	%	55,00%	88,00%
Cantidad de oro recuperado por tonelada	gr	5,57	8,91
Costo de producción unitario por gramo de oro	COP (\$)	\$ 100.976,00	\$ 61.851
Costo de producción unitario por onza troy de oro	USD (\$)	\$ 1.057,00	\$ 647,45
Utilidad antes de impuestos por gramo de oro	COP(\$)	\$ 13.698,00	\$ 52.823
Utilidad antes de impuestos por onza troy de oro	USD(\$)	\$ 143,39	\$ 552,94
Márgen de utilidad operacional - (promedio 5 años)	%	12,61%	45,34%
Utilidad después de impuestos por gramo de oro	COP (\$)	\$ 9.178,00	\$ 35.391
Utilidad después de impuestos por onza troy de oro	USD(\$)	\$ 96,07	\$ 370,47
Márgen de utilidad neta (promedio 5 años)	%	8,45%	30,38%
Indicador de productividad (producto/insumo)		1,17	1,92

Precio de venta por gramo de oro: COP \$ 118.465

Precio de venta por Onza Troy de oro: USD \$ 1.228

Tasa de cambio utilizada COP \$3000/USD.

Factor de conversión utilizado: 1 onza troy = 31.1034768 gramos

8.9.3. ANÁLISIS DE RESULTADOS DE INDICADORES DE OPERACIÓN ACTUAL Vs OPERACIÓN FUTURA - UNIDAD GEOMETALÚRGICA 2

La adopción integral de la propuesta contenida en este guía para realizar una migración hacia el uso de tecnologías limpias en el proceso de beneficio de oro permite a la empresa minera incrementar la productividad total en aproximadamente un 64 %, al pasar de una razón producto/insumo total de 1,17 bajo las condiciones de la producción actual de la UGM 2, a una razón de productividad de 1,92 con la implementación de la ruta metalúrgica propuesta. Lo anterior corrobora la generación de beneficios económicos a la empresa minera y se espera que represente desde el punto de vista financiero un incentivo para que el empresario adopte estas prácticas responsables con en el medio ambiente y desarrolle su operación bajo el estricto cumplimiento de estándares técnico-administrativo y legales.

En el escenario actual de la planta correspondiente a la unidad geometalúrgica 2, el costo unitario de producir un gramo de oro es de COP \$100.976/ gr de oro, mientras que la implementación de la propuesta lo reduce a COP \$61.851, esta disminución en el costo, junto con el aumento de los ingresos por un porcentaje de mayor recuperación de oro, se traduce en un incremento de la utilidad neta de 260%.

Se resalta que bajo el escenario de producción actual se estableció que el costo unitario de producir un gramo de oro es de aproximadamente COP \$100.976/g de oro; se espera que con la operación futura el costo unitario del gramo de oro sea de COP \$61.851/g de oro. Este resultado indica una reducción efectiva de los costos unitarios del 38,7 %.

Esta reducción en costos unitarios de producción de la UGM 2, junto con el aumento en el porcentaje del gramo de oro recuperado por cada tonelada de mineral procesado (del 55 % al 88 %), resulta en un aumento del margen de utilidad neta proyectada para los cinco años evaluados, al pasar de 8,45% en la actualidad, a 30,38% en la operación futura.

Como anexo a la presente guía se encuentra un simulador en formato Excel, en el cual podrá introducir las variables de operación deseadas (acorde con las características propias de la planta de beneficio) y efectuar un ejercicio de planeación financiera para estimar los costos unitarios de operación y los márgenes de utilidad operacional y para determinar los rendimientos futuros de la inversión necesaria para la implementación de la ruta metalúrgica propuesta.



8.10. CONSIDERACIONES SOBRE LA OPERACIÓN ACTUAL DE LA PLANTA DE BENEFICIO-UNIDAD GEOMETALÚRGICA 2

- En el estudio financiero de la operación actual de la planta definida para la zona correspondiente a la UGM 2 se utilizó como referencia un porcentaje de recuperación de oro del 55 % por cada tonelada de material mineral procesado, obteniéndose el 15 % en el proceso de amalgamación y el 40 % restante en el proceso de cianuración, de acuerdo con la información suministrada por el equipo técnico.

- Teniendo en cuenta que el tenor de la zona minera de Andes (Antioquia) correspondiente a la UGM 2 es de 10,12 g y que la operación actual permite una recuperación promedio del 55 %, en el estudio financiero se estimó una recuperación de 5,57 g por cada tonelada de mineral procesado.

- Los rubros más representativos dentro de la estructura de costos de la operación actual de la planta correspondiente a la UGM 2 son los insumos y la materia prima, cada uno con una participación en los costos totales del 41 % y el 35 %, respectivamente. Esta participación elevada de los insumos está representada en un 76 % por el costo del kg de mercurio que se utiliza en el proceso de amalgamación.

- Se estableció que las plantas de beneficio de la zona disponen de un sistema efectivo de reutilización del agua con la que atienden la molienda y la concentración. Los análisis de laboratorio efectuados por el equipo técnico permitieron estimar que el consumo de agua por cada tonelada de mineral procesado es de 0,53 m³.

- Las plantas de beneficio que corresponden a la UGM 2 se aprecian en buen estado y con superficies que se prestan a ampliaciones y reformas. Sin embargo, se determinó que actualmente las plantas operan con una capacidad ociosa, al procesar en promedio 10 t de material mineral, en lugar de 15 o 16 (que corresponde

a su capacidad instalada promedio). Esta capacidad ociosa implica un elevado costo financiero.

- El consumo de energía eléctrica por cada equipo se determinó a partir de la potencia nominal de los motores empleados en la planta y el número de horas al día que se utilizarían. De acuerdo con los parámetros de operación previamente definidos para la planta de beneficio, el consumo de energía actual es de 20.007 kW/mes.

- El costo unitario aproximado con los parámetros de la operación actual definidos para la planta es de COP \$100.976 por cada gramo de oro y de USD \$1.057 por cada onza Troy de oro.

- El precio de venta que se utilizó como referencia para el estudio financiero de la operación actual corresponde al precio del oro promedio internacional del 2017. Este precio es de COP \$118.465/g y de USD \$1.228/onza Troy.

- La ganancia unitaria (antes de impuestos) aproximada es de COP \$13.698/g de oro y de USD \$143,39/onza Troy de oro. Esto corresponde a un margen de utilidad operacional del 12,61 %, en promedio para los cinco años contemplados como horizonte de evaluación.

- La ganancia unitaria neta (después de impuestos) bajo la operación actual de la planta, es de COP \$9.178/g de oro y de USD \$96,07/onza Troy de oro. Esto corresponde a un margen de utilidad neta del 8,45% en promedio para los cinco años contemplados como horizonte de evaluación.



8.11. CONSIDERACIONES SOBRE LA OPERACIÓN FUTURA DE LA PLANTA DE BENEFICIO-UNIDAD GEOMETALÚRGICA 2

- Con base en la capacidad promedio instalada de las plantas de beneficio de la zona se estableció un potencial de procesamiento anual de 4.992 t de material de mina, lo cual implica un funcionamiento de la planta de 26 días al mes y un procesamiento de 16 t de material mineral al día.
 - La implementación de la propuesta de adecuación tecnológica para la sustitución del uso del mercurio en el proceso de beneficio del oro permite alcanzar hasta un 88 % de recuperación de oro por tonelada, obteniéndose el 39 % en el proceso de concentración gravimétrica y el 49 % restante en el proceso de cianuración. Este porcentaje es mayor en relación con la recuperación promedio que se tiene en esta zona, correspondiente a la UGM 2.
 - Teniendo en cuenta que el tenor de la zona minera de Andes (Antioquia) correspondiente a la UGM 2 es de 10,12 g y que la implementación de la ruta metalúrgica en la operación futura permite una recuperación mínima del 88 %, se espera una recuperación de 8,91 g por cada tonelada de mineral procesado.
 - Se definió un esquema conservador, en el cual se obtiene una recuperación de oro equivalente al 88 % por cada tonelada de material mineral procesado. Sin embargo, estos rendimientos pueden ser superiores al 90 %.
 - De las características de la planta y las variables de operación definidas por parte del equipo técnico se realizó un inventario de la maquinaria y equipos nuevos que se deben adquirir en pro de mejorar algunos de los procesos que se están llevando a cabo en la operación actual de las plantas de beneficio de la UGM 2, con el fin de implementar los nuevos procesos que se detallan en la ruta metalúrgica contenida en la presente guía. El monto de recursos a invertir para la adecuación es de COP \$685.116.140.
 - La definición del inventario de maquinaria y equipo nuevos, con sus respectivas especificaciones técnicas, se determinó a partir del inventario inicial de las plantas de la zona que corresponden a la UGM 2. Esto con el objetivo de evitar incurrir en costos innecesarios y optimizar los recursos disponibles para la inversión.
 - Los rubros más representativos dentro de la estructura de costos de la operación futura de la planta son la materia prima y los análisis y pruebas de laboratorio, cada uno con una participación en los costos totales del 57 % y el 10 %, respectivamente.
 - El consumo de energía eléctrica por cada equipo se determinó a partir de la potencia nominal de los motores emplea-
- dos en la planta y el número de horas al día que se utilizarían. De acuerdo con los parámetros de operación previamente definidos para la planta de beneficio el consumo de energía es de 36.348 kW/mes.
- A partir de experimentos de laboratorio efectuados por el equipo técnico se determinó la dosificación adecuada de los insumos y elementos químicos que se deben utilizar en cada uno de los procesos de la operación. Con esto se espera que en la operación futura de las plantas de la zona de Andes (Antioquia) se realice un uso eficiente de dichos insumos.
 - El costo unitario aproximado que se puede alcanzar con la implementación de la propuesta de adecuación es de COP \$61.851 por cada gramo de oro y de USD \$647,45 por cada onza Troy.
 - El costo de los análisis y pruebas de laboratorio que se deben realizar para tener el control de la eficiencia de cada uno de los procesos de la operación y los impactos ambientales asociados a elementos tóxicos que es posible se generen, pueden racionalizarse con la inversión futura en el montaje de un laboratorio. Se prevé que este laboratorio puede tener una demanda potencial de las empresas mineras de la zona.
 - El precio de venta que se utilizó como referencia para el estudio financiero de la operación futura corresponde al precio del oro promedio internacional del 2017. Este precio es de COP \$118.465/g y de USD \$1.228/onza Troy.
 - Con la implementación de la presente propuesta de modernización tecnológica se alcanza una ganancia unitaria (antes de impuestos) de COP \$52.823/g de oro y de USD \$552,94/onza Troy de oro. Esto corresponde a un margen de utilidad operacional del 45,34 % en promedio para los cinco años contemplados como horizonte de evaluación.
 - Con la implementación de la presente propuesta de modernización tecnológica se alcanza una ganancia unitaria neta (después de impuestos) de COP \$35.391/g de oro y de USD \$370,47/onza Troy de oro. Esto corresponde a un margen de utilidad neta del 30,38 % en promedio para los cinco años contemplados como horizonte de evaluación.
 - Se estableció que la inversión en adecuación de las plantas de beneficio de la zona que corresponden a la UGM 2 se justifica desde el punto de vista financiero, ya que los resultados de los indicadores demuestran que los beneficios son mayores que los costos, incluyendo la inversión inicial, y que el dinero invertido en el proyecto rinde más que las tasas de interés de oportunidad del 20 % y el 30 % anual.
 - El periodo de recuperación de la inversión bajo las tasas de interés de oportunidad del 20 % y el 30 % anual es inferior a 1 año.

Oro extraído en la zona minera de Andes (Antioquia)
Fotografía tomada por: Verónica Ruíz / Servicio Geológico Colombiano



9. GLOSARIO

Aa

Activo: Conjunto de todos los bienes y derechos con valor monetario que son propiedad de una empresa, institución o individuo, y que se reflejan en su contabilidad.

Adecuación ambiental: Acción de manejo o corrección destinada a hacer compatible una actividad, obra o proyecto con el ambiente, o para que no lo altere significativamente.

Administradora de Riesgos Profesionales: Entidad aseguradora de riesgos profesionales reglamentada por el Decreto número 1722 de 1994 que se refiere a la afiliación y a las cotizaciones del Sistema General de Riesgos Profesionales.

Alteración: (1.) Cambio en la composición química o mineralógica de una roca, producido generalmente por meteorización o por acción de soluciones hidrotermales. (2.) En general, se refiere a cambios físicos o químicos sufridos por rocas y minerales después de su formación, promovidos por procesos exógenos tales como meteorización, o por procesos endógenos tales como magmatismo o fallamiento.

Alteración argílica: Tipo de alteración hidrotermal también denominado argílica intermedia: caracterizada por la presencia de caolinita o montmorillonita.

Alteración filica: Tipo de alteración hidrotermal, también denominada cuarzo sericítica o simplemente sericítica: caracterizada por el desarrollo de sericita y cuarzo secundario. Es el resultado de una hidrólisis moderada a fuerte de los feldespatos, en un rango de temperatura de 300° - 400°C.

Alteración potásica: Alteración desarrollada en presencia de soluciones casi neutras y a altas temperaturas (400°-600°C), la cual se caracteriza por la formación de nuevos silicatos de potasio, tales como feldespato potásico secundario o mica (biotita) secundaria con posible presencia de anhidrita.

Amortización: Reconocimiento contable de la pérdida gradual de valor de un activo fijo a lo largo de su vida física o económica. Los activos amortizables permiten dar como gasto del ejercicio un porcentaje de su valor.

Análisis: Proceso de identificar una pregunta, modelar un evento, investigar modelos, interpretar resultados y dar recomendaciones.

Arcilla: (1.) La palabra arcilla se emplea para hacer referencia a rocas sedimentarias y, en general, a un material terroso de grano fino que se hace plástico al ser mezclado con una cantidad limitada de agua. Las arcillas son siempre de grano muy fino, el límite superior en el tamaño de los granos corresponde, por lo general, a un diámetro de 0,004 mm (menores de 4 micras). En mineralogía y petrografía se conocen como arcillolitas.

Arena (rocas sedimentarias): El término arena es un término textural y sirve para designar materiales o partículas, producto de la desintegración natural o artificial de rocas preexistentes cuyo tamaño oscila entre 0,0625 y 2 mm de diámetro.

Arenisca: Roca sedimentaria detrítica terrígena compuesta de mínimo un 85% de materiales tamaño arena, generalmente granos de cuarzo más o menos redondeados, con tamaños entre 0,0625 y 2 mm. Son rocas comunes, y se constituyen en componente esencial de numerosas series estratigráficas, en capas regulares o no, y también en lentejones. Estas rocas son de color blanco a gris claro o diversamente coloreadas, según la naturaleza del cemento, como rojo (óxidos de hierro), verde (glauconita) y otros. Las variedades se distinguen por el tamaño del grano, la naturaleza del cemento o la presencia de elementos particulares. Minerales esenciales: cuarzo. Minerales accesorios: feldespato, micas. Cemento silíceo, de óxidos de hierro y de calcita. A veces contiene minerales pesados (como rutilo y otros). Textura: grano medio y redondeado; distribución homogénea y pocas veces contienen fósiles.

Autoridad ambiental: Es la autoridad que tienen a su cargo fiscalizar los recursos naturales renovables, aprobar estudios de impacto ambiental, adoptar términos y guías, aprobar la Licencia Ambiental, delimitar geográficamente las reservas forestales, sancionar de acuerdo con las normas ambientales, no autorizar la licencia ambiental de acuerdo con el artículo 195 de la Ley 685 de 2001, recibir los avisos de iniciación y terminación de las explotaciones mineras.

Autoridad minera: Es el Ministerio de Minas y Energía o, en su defecto, la autoridad nacional, que de conformidad con la organización de la administración pública y la distribución de funciones entre los entes que la integran, tienen a su cargo la administración de los recursos mineros, la promoción de los aspectos atinentes a la industria minera, la administración del recaudo y distribución de las contraprestaciones económicas, con el fin de desarrollar las funciones de titulación, registro, asistencia técnica, fomento, fiscalización y vigilancia de las obligaciones emanadas de los títulos y solicitudes de áreas mineras.

Bb

Bauxita: Roca formada por óxidos de aluminio y de hierro hidratados, fórmula $Al_2O_3 \cdot xH_2O$, que suele presentar aspecto terroso, arcilloso o pisolítico y con colores del blanco sucio al pardo, con zonas más oscuras. Es la única mena, comercial, de aluminio. Su composición química es variable en el detalle, y define su calidad industrial. Las bauxitas se explotan para la extracción metalúrgica del aluminio, del que son la única mena. Los principales yacimientos de bauxitas se localizan en Australia, Brasil, Guayana y Surinam.

Beneficio de Minerales: Conjunto de operaciones empleadas para el tratamiento de menas y minerales por medios físicos y mecánicos con el fin de separar los componentes valiosos de los constituyentes no deseados con el uso de las diferencias en sus propiedades.

Bienes Finales: Bienes y servicios que conforman la Demanda Final y son aquellos cuyo proceso de producción se ha concluido en el período y están disponibles para su utilización; la mayor parte ha sido técnicamente terminada, es decir, no serán objeto de una nueva transformación en el período. BF.

Bioacumulación: Es el proceso de acumulación de sustancias químicas en organismos vivos de forma que estos alcanzan concentraciones más elevadas que las concentraciones en su medio o en los alimentos. Las sustancias propensas a la bioacumulación alcanzan concentraciones crecientes a medida que se avanza en el nivel trófico en la cadena alimenticia.

Biogeoquímico/a: Interacción entre los compuestos geoquímicos y los organismos vivos. La biogeoquímica es necesaria para comprender el funcionamiento de los seres vivos, desde el nivel de organización celular hasta el ecosistema que conforman. Además, esta ciencia permite comprender el porqué de muchos de los problemas ambientales (cambio climático, destrucción de la capa de ozono, contaminación ambiental) y de procesos esenciales para la sociedad (producción de cultivos, reciclaje de residuos, depuración ambiental). El desarrollo de la biogeoquímica se adapta muy bien a aquellas regiones que presentan una vegetación muy densa y donde la cartografía geológica es difícil de ser llevada a cabo por ausencia de afloramientos.

Bocamina: (1.) La entrada a una mina, generalmente un túnel horizontal. (2.) Sitio en superficie por donde se accede a un yacimiento mineral.

Cc

Capacidad minera instalada: Es la máxima cantidad de producción que una mina ha sido diseñada para producir.

Capital: 1. Stock de recursos disponibles en un momento determinado para la satisfacción de necesidades futuras. Es decir, es el patrimonio poseído susceptible de generar una renta. Constituye uno de los tres principales elementos que se requieren para producir un bien o un servicio. 2. Es la suma de todos los recursos, bienes y valores movilizados para la constitución y la puesta en marcha de una empresa.

Capital de inversión: Es la suma de todos los recursos, bienes y valores movilizados para la constitución y la puesta en marcha de una empresa. Es su razón económica. Cantidad invertida en una empresa por los propietarios, socios o accionistas.

Chimenea: (1.) Una entrada vertical a una mina hecha hacia abajo desde la superficie. 2. Excavación vertical o inclinada que desemboca directamente en la superficie y está destinada a la extracción del mineral, al descenso y al ascenso del mineral y los materiales. En la chimenea van canalizados los cables eléctricos, las tuberías de conducción de agua y aire comprimido; a través de la chimenea se efectúa la ventilación de todas las labores subterráneas.

Cianuración: Método para extraer oro o plata a partir de un mineral triturado o molido, mediante disolución en una solución de cianuro de sodio o potasio.

Cianuro de sodio: Compuesto químico ampliamente usado en las plantas de tratamiento de minerales de oro para disolver oro y plata.

Ciclo geoquímico: Ocurrencia de cambios geológicos que se dividen en dos etapas: Ciclo mayor: comprende todos

los procesos involucrados en la formación de rocas (ígneas, sedimentarias y metamórficas). Ciclo menor: asociado a la formación de suelos a partir de las rocas preexistentes. Ambas etapas se reintegran en diferentes momentos de la cadena para dar nuevamente inicio al proceso o ciclo geoquímico.

Ciclo minero: Diferentes fases que ocurren durante el desarrollo de un proyecto minero, definidas en el "Plan Nacional de Desarrollo Minero" del Ministerio de Minas y Energía, que abarcan desde la gestación de un proyecto hasta su cierre. El Ciclo minero tiene las siguientes cinco (5) fases: Gestación del proyecto, Exploración, Desarrollo Minero, Producción y Desmantelamiento.

Cinética: Velocidad de disolución de un analito. Para el caso de la cianuración, se denomina velocidad de disolución de oro. Cantidad de sustancia/tiempo

Cizalla: Deformación resultante del esfuerzo que causa o tiende a causar que partes contiguas de un cuerpo se deslicen relativamente una con otra en una dirección paralela a su plano de contacto. Este es el modo de falla de un cuerpo en el cual la porción de masa sobre un lado de un plano o superficie se desliza y pasa sobre el lado opuesto. Este término también se usa para referirse a superficies y zonas de falla por cizalla, y a superficies a lo largo de las cuales han ocurrido movimientos diferenciales.

Clasificación (beneficio): Operación de separación de los componentes de una mezcla de partículas de minerales en dos o más fracciones de acuerdo con su tamaño, forma y densidad. Cuando se realiza en medio húmedo, la operación también depende de las propiedades del fluido en el que se encuentran las partículas, y de las características reológicas de la pulpa.

Código de Minas: Normas que regulan las relaciones entre los organismos y entidades del Estado, y de los particulares entre sí, sobre las actividades de prospección, exploración, explotación, beneficio, transporte, aprovechamiento y comercialización de los recursos no renovables que se encuentran en el suelo o subsuelo, así sean de propiedad de la nación o privada. Todas estas normas están contenidas en la Ley 685 de 2001, Código de Minas vigente.

Comercialización: En minería, compraventa de minerales o de cualquier producto resultante de la actividad minera.

Concentración (beneficio): Operación unitaria en la cual se busca eliminar el material que no es de interés económico con el fin de disminuir el volumen de mineral a procesar. Para esta separación se pueden utilizar propiedades físicas (diferencia de densidad, atracción de campos magnéticos, eléctricos) o físico químicas de los minerales.

Concentración gravimétrica: Método de concentración que aprovecha la diferencia en el peso específico entre los minerales a separar.

Concentración mecánica: Tratamiento del mineral bruto por procedimientos físicos que aumentan su riqueza al eliminar una parte mayor o menor del material estéril, tales como: lavado, clasificación, trituración, molienda, dimensionado y pulido de rocas.

Concentración por medios densos: Método de concentración que se basa en la diferencia de densidades entre el fluido empleado para la operación y los minerales a separar. Durante el proceso, las partículas más densas que el fluido se hunden, mientras las livianas flotan.

Concentración residual: Acumulación de minerales in situ como resultado de procesos de meteorización de las rocas. Las lateritas se producen por este tipo de procesos.
Concentrado: Es el producto enriquecido de las operaciones de concentración de minerales.

Concentrado bulk: Concentrado que contiene más de un metal con valor comercial.

Concentrador (industria minera): 1. Planta donde la mena es separada en "material de valor" (concentrados) y "material de desecho" (colas). 2. Un aparato de la planta de concentración, como las celdas de flotación, jigs, electromagnetos, mesa vibratoria, entre otros. 3. Aparato en el que, mediante aire, agua o gravedad, se lleva a cabo la concentración mecánica de una mena.

Concentrador de espiral: Concentrador conformado por cinco o seis espirales, cerrados, en los cuales se efectúa la separación por efecto de la fuerza centrífuga. El funcionamiento de un concentrador de espiral está basado en el principio de concentración a través de un flujo laminar. Este fenómeno se fundamenta en el hecho que una partícula que se desliza en un canal circular a través de una película de fluido está sujeta, por lo menos, a cuatro fuerzas: 1. Fuerza gravitacional, 2. Fuerza centrífuga; 3. Empuje del líquido, y 4. Roce contra el fondo del canal.

Concentrador Knelson: Concentrador centrífugo que cuenta con un cono invertido, dotado en su interior con una serie de rebordes circulares. La rotación del cono desarrolla fuerzas del orden de 60 veces la fuerza de la gravedad. Al alimentar la pulpa se establece un lecho o zona de concentración donde las partículas más pesadas quedan atrapadas en el lecho. A través de unas perforaciones existentes en la pared del cono se inyecta agua para evitar la compactación del lecho y crear cierta fluidez que permita concentrar las partículas de mayor densidad. Los equipos más grandes de este tipo pueden tratar hasta 90 tm/día.

Concentrador centrífugo: Son equipos que utilizan la fuerza centrífuga generada por la rotación a alta velocidad del depósito al que se alimenta el mineral en forma de pulpa. Uno de estos equipos es el concentrador Knelson.

Concentrados de batea: Fracción pesada de un sedimento que se obtiene por separación mecánica mediante movimiento circular de la batea para determinar el contenido de minerales metálicos o de alto peso específico.

Concordancia: Relación geométrica entre dos unidades estratigráficas superpuestas en las que existe paralelismo entre los materiales infra y suprayacentes.

Contaminación ambiental: Acción que resulta de la introducción por el hombre, directa o indirectamente, en el medio ambiente, de contaminantes, que tanto por su concentración, al superar los niveles máximos permisibles establecidos, como por el tiempo de permanencia, hagan que el medio receptor adquiera características diferentes a

las originales, perjudiciales o nocivas a la naturaleza, a la salud y a la propiedad.

Contrato de concesión: Son contratos administrativos celebrados entre el Estado (Ministerio de Minas y Energía, como representante de la Nación) y un particular (persona natural o jurídica) para efectuar, por cuenta y riesgo de éste, los estudios, trabajos y obras de exploración de minerales de propiedad estatal que puedan encontrarse dentro de una zona determinada y para explotarlos en los términos y condiciones establecidos en la legislación vigente al momento de su celebración. Comprende dentro de su objeto las fases de exploración técnica, explotación económica, beneficio de los minerales y cierre o abandono de los trabajos y obras correspondientes.

Costo (finanzas): 1. En un sentido amplio, es la medida de lo que se debe dar o sacrificar para obtener o producir algo. 2. Es un gasto, una erogación o un desembolso en dinero o especie, acciones de capital o servicios, hecho a cambio de recibir un activo. El efecto tributario del término costo (o gasto) es el de disminuir los ingresos para obtener la renta. 3. La transformación o la destrucción de valor en el transcurso de actividades onerosas destinadas a la producción de bienes o utilidad.

Costo de conversión: Equivale a los recursos invertidos en procesar el mineral de una etapa a otra del beneficio.

Costo por depreciación: Es el que resulta por la disminución en el valor original de la maquinaria.

Costo de inversión: Costo equivalente a los intereses correspondientes al capital invertido en una maquinaria, equipo o en cualquier actividad que conlleve a una mejora en la producción.

Costo por mantenimiento: Costos originados por todas las erogaciones necesarias para conservar la maquinaria en buenas condiciones, a efecto de que trabaje con rendimiento normal durante su vida económica. Se dividen en mayor y menor. En el mantenimiento mayor se consideran todas las erogaciones necesarias para efectuar reparaciones a la maquinaria en talleres especializados, o aquellas que deban realizarse en el campo, con personal especializado, y que requiera retirar la maquinaria de los frentes de trabajo por un tiempo considerable, incluye mano de obra, repuestos y renovación de partes de la maquinaria, así como otros materiales necesarios. En el mantenimiento menor se consideran todas las erogaciones necesarias para efectuar los ajustes rutinarios, reparaciones y cambios de repuestos que se efectúan en las propias obras; así como cambios de líquidos hidráulicos, aceites de transmisión, filtros, grasas y estopas. Incluye el personal y el equipo auxiliar que realizan estas operaciones de mantenimiento, los repuestos y otros materiales que sean necesarios.

Costo de operación: Es el total que se deriva de las erogaciones que hace el contratista por concepto del pago de salarios al personal y de todos los otros gastos relacionados con el desarrollo de la operación.

Crédito: Transacción que implica una transferencia de dinero con el compromiso de que será reembolsado transcurrido un determinado tiempo. Generalmente incluye el pago de

una remuneración en forma de intereses. El que transfiere el dinero se convierte en acreedor y el que lo recibe en deudor.

Cristalización: Formación de porciones de materia con estructura cristalina, y en ciertos casos con formas poliédricas, a partir de una solución o de un líquido, gas o sólido amorfo; cuando los átomos asumen una posición definitiva en la red cristalina, esto es lo que sucede cuando un metal líquido se solidifica. (Nota: la fatiga o falla de los metales debido a esfuerzos repetitivos es, algunas veces, erradamente atribuida a la cristalización).

Dd

Dato: Hecho verificable sobre la realidad; un dato puede ser una medida, una ecuación o cualquier tipo de información que pueda ser verificada (en caso contrario se trataría de una creencia).

Demanda: Precio al que el mercado está dispuesto a comprar (dinero). 2. Es la manifestación de la voluntad de comprar un número de unidades de un título valor a un precio dado en el mercado de valores, expresada por un comisionista según órdenes recibidas de algún cliente.

Depósito mineral: Concentración natural de sustancias minerales útiles, la cual bajo circunstancias favorables puede ser extraído con beneficio económico.

Derecho a explotar: Es el derecho que tiene el beneficiario de un título minero para realizar un conjunto de operaciones que tiene por objeto la extracción o la captación de los minerales yacientes en el suelo o el subsuelo dentro de un área determinada.

Desarrollo sostenible: 1. Desarrollo que conduce al crecimiento económico, a la elevación de la calidad de vida, a la productividad de las personas y al bienestar social, sin agotar la base de los recursos naturales renovables en que se sustenta, ni deteriorar el medio ambiente o el derecho de las generaciones futuras a utilizarlo para la satisfacción de sus propias necesidades, es decir, fundado en medidas apropiadas para la preservación de la integridad de los ecosistemas, la protección del ambiente y el aprovechamiento de los elementos naturales, de manera que no se comprometa la satisfacción de las necesidades de las generaciones futuras. 2. Es el mejoramiento de la calidad de vida humana dentro de la capacidad de carga de los ecosistemas; implican la satisfacción de las necesidades actuales sin comprometer la satisfacción de las necesidades de las futuras generaciones.

Detrítico: Materiales sedimentarios conformados por fragmentos de rocas preexistentes.

Diagrama de operaciones (beneficio): (Diagrama de flujo). Es una representación gráfica de la secuencia de operaciones realizadas durante el procesamiento de un mineral.

Difracción de Rayos X: es una técnica instrumental no destructiva que sirve para analizar un amplio rango de materiales, tales como minerales, polímeros, catalizadores, plásticos, compuestos farmacéuticos, cerámicos y

semiconductores, entre otros.

Dique: Cuerpo tabular de roca ígnea intrusiva, relativamente largo y delgado, que rellena una fisura o una fractura profunda en rocas más antiguas, y las corta discordantemente (que corta a la estratificación de las capas). A veces pueden aparecer varios diques dispuestos paralelamente entre sí. Cuando son afectados por erosión pueden dar lugar a relieves descalzados, al ser los materiales del dique más resistentes que los circundantes, o formar una depresión en forma de fosa en el caso contrario.

Discordancia: Es una superficie de erosión entre dos cuerpos de roca y que representa un hiato o espacio significativo en la sucesión estratigráfica.

Dorsales: Conocidas también como dorsales meso oceánicas, son elevaciones submarinas o sistemas montañosos de las cuencas oceánicas, a lo largo de las cuales se produce episodio de rifting, que implica formación de corteza oceánica nueva, a medida que el magma fluye en forma ascendente y se solidifica. Las dorsales están relacionadas con procesos de tectónica de placas del tipo divergente, que implica que el fondo oceánico (corteza oceánica) vaya creciendo y se expanda.

Ee

Empresa: Unidad institucional o combinación más pequeña de unidades productivas institucionales que abarca y controla, directa o indirectamente, todas las funciones necesarias para realizar sus actividades de producción. Depende de una sola entidad propietaria o de control; puede, sin embargo, ser heterogénea en cuanto a su actividad económica, así como a su emplazamiento. Para Colombia, corresponde a la persona jurídica.

Endógeno: Hace referencia a todos aquellos procesos geológicos que se generan al interior de la tierra, por ejemplo: Metamorfismo, cristalización magmática y segregación magmática.

Erosión: 1. Fenómeno de descomposición y desintegración de materiales de la corteza terrestre por acciones mecánicas o químicas. 2. Pérdida física de suelo transportado por el agua o por el viento, causada principalmente por deforestación, laboreo del suelo en zonas no adecuadas, en momentos no oportunos, con las herramientas impropias o utilizadas en exceso, especialmente en zonas de ladera, con impactos adversos tan importantes sobre el recurso como la pérdida de la capa o del horizonte superficial con sus contenidos y calidades de materiales orgánicos, fuente de nutrientes y cementantes que mantienen una buena estructura y, por lo tanto, un buen paso del agua y el aire. En la minería la erosión hídrica es la más importante y puede ser laminar, en regueros o surcos y en barrancos o cárcavas. 3. Conjunto de procesos externos (exógenos) que mediante acciones físicas y químicas (como agua, hielo, viento), transforman las formas creadas por los procesos endógenos.

Espesor: Ancho o grosor de una veta, estrato u otros; medido perpendicularmente o normal al buzamiento y el rumbo. El espesor real es siempre el ancho de la veta, estrato u otro, en su punto más delgado. El espesor real de una veta muestreada puede hallarse según la fórmula $e = h$

X sená, donde h = espesor horizontal, e = espesor real, y α = ángulo de buzamiento. En esta fórmula, el ángulo " α " se sabe por mediciones previas, y el ancho horizontal puede medirse con un nivel. Es importante que el ancho horizontal sea medido a ángulo recto con respecto al rumbo.

Estratificación: (1.) Estructuración o arreglo en capas de una roca determinada. (2.) Proceso de arreglo de las rocas sedimentarias, originado por algún cambio en la naturaleza de los materiales que están siendo depositados o en las condiciones del ambiente de sedimentación.

Estudio de factibilidad: Comprende toda la información con la que se realiza la evaluación de un proyecto, que habilita para tomar la decisión definitiva sobre la realización o sobre el proyecto mismo. El estudio de factibilidad debe suministrar una base técnica económica y comercial para tomar la decisión sobre inversiones a realizarse en un proyecto minero industrial, lo mismo que sobre sus condiciones operativas y procedimientos asociados.

Estudio de factibilidad minera: Estudio en el cual se recopila la información geológico - minera obtenida desde el reconocimiento hasta la exploración detallada, se modela el yacimiento, se diseña la explotación, se determina el volumen de reservas recuperables, se evalúa la calidad técnica y la viabilidad económica del proyecto de explotación minera. Este estudio permite verificar todas las informaciones geológicas, técnicas, ambientales, jurídicas y económicas relativas al proyecto, lleva a la toma de decisiones en materia de inversiones y constituye un documento aceptable por los bancos para las gestiones de financiación de un proyecto.

Estudio de Impacto Ambiental (E.I.A.) 1. Documento técnico que debe presentar el titular del proyecto del cual se efectuará la declaración de impacto ambiental, que es recopilado antes de iniciar un proyecto; este estudio examina los efectos que tendrán las actividades del proyecto sobre las áreas circundantes naturales de un terreno. 2. Instrumento de planificación ambiental para la toma de decisiones con respecto al desarrollo de acciones o proyectos, exigido por la autoridad ambiental, carácter preventivo, cuyo propósito es identificar, valorar y definir las medidas de preservación, mitigación, control, corrección y compensación de los impactos o consecuencias, y efectos ambientales que las acciones de un proyecto, obra o actividad pueden causar sobre la calidad de vida del hombre y su entorno. El contenido del E.I.A. es: a) Resumen del E.I.A., b) Descripción del proyecto, c) Descripción de los procesos y las operaciones, d) Delimitación, caracterización y diagnóstico de las condiciones ambientales de las áreas de influencia, e) Estimación y evaluación de impactos ambientales, f) Plan de manejo ambiental para prevenir, mitigar, corregir y compensar posibles impactos. Debe incluir plan de seguimiento y monitoreo, y plan de contingencia.

Estudio de prefactibilidad: Es una evaluación preliminar sobre la idea de un proyecto. Es la definición de un plan sobre el cual trabajar, con cálculo de los costos, basado en datos físicos y experimentales limitados. En términos generales, este tipo de estudio consiste en realizar una evaluación más profunda de las alternativas encontradas viables y en determinar la bondad de ellas. Su principal finalidad es tomar la decisión sobre la viabilidad

o no del proyecto, o sobre la necesidad de análisis más detallados.

Estudios geológicos: Recopilación de información geológica de un área o una región, con un objetivo primordial (minería, exploración minera, obras civiles, entre otros). Un estudio geológico provee información sobre litología, estructuras, ocurrencias minerales, entre otros. Un estudio geológico puede ser general o detallado, por ejemplo, en el caso de túneles para obras civiles, un estudio geológico suministra información de la zona a perforar metro a metro, con detalles de la estructura, permeabilidad, niveles freáticos, dureza de las distintas unidades rocosas y otros, para contar con la solución a los problemas que se van a encontrar antes de que la perforación alcance las zonas donde existan estos posibles problemas, para salvar de esta manera tiempo, dinero y hasta vidas humanas.

Exógeno: Hace referencia a todos los procesos geológicos superficiales. Por ejemplo, la meteorización.

Ff

Filón: Un filón es el relleno de minerales que ha colmado una fisura en la corteza terrestre.

Fluidos hidrotermales: Son fluidos que pueden contener agua a alta temperatura y volátiles, químicamente activos, y que pueden tener origen magmático o formados por aguas meteóricas que se calientan y ascienden. Los fluidos hidrotermales pueden transportar y depositar metales, produciendo alteraciones químicas en las rocas con las cuales interactúan.

Flujo de caja (cash flow): Flujo de caja de una empresa que refleja los cobros y pagos del negocio en un período determinado. No incluye partidas de la cuenta de resultados que no corresponden a movimientos de caja, como, por ejemplo, amortizaciones y provisiones.

Fundición: Proceso pirometalúrgico mediante el cual un metal es llevado del estado sólido al líquido.

Gg

Galerías: Túneles horizontales al interior de una mina subterránea.

Ganga: (1.) Minerales que no presentan interés económico en un yacimiento, aquella parte de una mena que no es económicamente deseable, pero que no puede ser desechada en minería. Ella es separada de los minerales de mena durante los procesos de concentración. Este concepto se opone al de mena. Es el material estéril o inútil que acompaña al mineral que se explota. Generalmente son minerales no metálicos, o bien la roca encajante y muy ocasionalmente pueden ser minerales metálicos. Los minerales de ganga son aquellos que no son beneficiables, pero en algunos casos estos minerales pueden llegar a ser económicamente explotables (al conocerse alguna aplicación nueva para los mismos) y, por lo tanto, dejarían de ser ganga, por ejemplo, el mineral de ganga es galena. 2. La roca de derroche que rodea un depósito de mineral; también la materia de menor concentración en un mineral.

Geólogo: Profesional que tiene conocimientos sobre la

composición, la estructura y la evolución de la Tierra; conoce la distribución de las rocas en el espacio y en el tiempo. Esta distribución de las rocas y los minerales permite al geólogo encontrar yacimientos de minerales, petróleo y gas. Además, esta disposición permite conocer la geología para poder asentar edificios, puentes y carreteras sin riesgo para las vidas humanas.

Geoquímica: 1. Estudia la distribución, la dispersión en la naturaleza (ciclos) y la concentración de elementos químicos en minerales, cuerpos mineralizados, rocas, suelos, aguas y atmósfera, y toma como base las propiedades de sus iones y átomos. 2. Estudio espacial y temporal de los elementos químicos y sus especies, y de los procesos fisicoquímicos que controlan su movilidad, su transformación y su acumulación en el medio ambiente. 3. Estudio de los elementos químicos y de los procesos en los cuales intervienen, al interior y sobre la superficie terrestre.

Geoquímica de minerales: Geoquímica de los metales principales y trazas componentes de los minerales.

Grava (rocas sedimentarias): Material redondeado producto de la desintegración, natural o artificial, de cualquier tipo de roca, especialmente de aquellas ricas en cuarzo, cuyo tamaño es superior a dos (2) milímetros de diámetro.

Hh

Horizonte de evaluación del proyecto: Tiempo definido para medir la bondad financiera del proyecto.

Ii

Impacto Ambiental: 1. Alteración o cambio neto parcial, positivo o negativo (adverso o benéfico), en el medio ambiente o en alguno de sus componentes, resultante de actividades, productos o servicios de una organización. Un impacto ambiental conlleva a un problema ambiental. La intensidad de la alteración está relacionada con la capacidad de acogida del territorio donde se desarrolla la actividad impactante. 2. Efecto que las actuaciones humanas producen en el medio.

Impuesto: Pago obligatorio de dinero que exige el Estado a los individuos o empresas que no están sujetos a contraprestación directa, con el fin de financiar los gastos propios de la administración del Estado y la provisión de bienes y servicios de carácter público, tales como administración de justicia, gastos de defensa, subsidios y muchos otros. Sólo por ley pueden establecerse los impuestos de cualquier naturaleza que sean, señalarse sus modalidades, su repartición o su supresión. Las dos categorías fundamentales son los impuestos directos e indirectos.

Impuesto sobre la renta: Contribución que grava el ingreso de las personas y entidades económicas. El impuesto sobre la renta incluye el gravamen al trabajo, al capital y la combinación de ambos. Es un impuesto directo porque incide en forma específica sobre el ingreso de las personas y de las sociedades mercantiles. En Colombia, la tasa del impuesto a la renta es del 33% y se paga anualmente.

Información: Acción y efecto de adquirir conocimiento o

formación mediante el aprendizaje y el entendimiento. La información es un proceso por el cual, del conjunto de datos accesibles, se extrae y elabora aquel subconjunto que tiene relevancia para el sujeto que se informa.

Infraestructura minera: Conjunto de bienes, instalaciones y servicios establecidos (agua, pozos sépticos, acueducto, energía, otros), básicos para el normal desarrollo de una operación minera. La infraestructura minera, como un todo, constituye un gran sistema compuesto por subsistemas, que deben considerarse desde diferentes puntos de vista y no exclusivamente desde el económico. Un subsistema importante es, por ejemplo, el transporte, que está compuesto por caminos, carreteras, vías férreas, aeropuertos, puertos, entre otros, e incluye vehículos, instalaciones y otros muchos bienes más y, desde luego, organizaciones que incluyen a las personas que las manejan.

Ingresos: Entrada de dinero a una empresa derivada de la venta de sus productos, servicios, operaciones financieras y otros.

Interés: Compensación que se debe dar a un sujeto económico por su disposición a desprenderse de dinero, que se formaliza a través de las operaciones de crédito o de préstamo.

Inversión: Bienes comprados por las personas o las empresas para aumentar su stock de capital.

Inversión en bienes de equipo

Equipos y estructuras que compran las empresas para utilizarlas en la producción futura.

Inversionista: Es quien coloca su dinero en un título valor o alguna alternativa que le genere un rendimiento futuro, ya sea una persona o una sociedad.

Inclusiones fluidas: Son fluidos que se encuentran atrapados dentro de un mineral con estructura cristalina. Ocurren en cristales que se forman a partir de fluidos (por ejemplo agua o magma) y no suelen sobrepasar 0.1 mm de diámetro. Según sus orígenes se pueden distinguir tres tipos de inclusiones fluidas: Primarias: Estas inclusiones se forman durante el crecimiento del cristal y pueden ocurrir aisladas, en pequeños grupos de inclusiones fluidas sin orientación particular o alineadas paralelamente a las zonas de crecimiento del cristal. Secundarias: Se forman en fracturas en cristales que han sido penetradas por fluidos para luego sellarse mediante la autoreparación del cristal. Ocurren como lineamientos de inclusiones que llegan a tocar la superficie del cristal e incluso a veces continuar en cristales aledaños. Seudosecundarias: Se trata de inclusiones que por sus lineamientos parecen secundarias aunque en realidad se trata de inclusiones primarias. Se las considera un subgrupo de las inclusiones primarias.

De las inclusiones fluidas se puede obtener información como la temperatura y presión a la cual se formó el mineral que contenedor además del tipo de fluido del cual se formó y la densidad de tal fluido.

LI

Licencia ambiental: 1. Es la autorización que otorga la autoridad competente a una persona natural o jurídica, para la ejecución de un proyecto, obra o actividad. En

ella se establecen los requisitos, las obligaciones y las condiciones que el beneficiario debe cumplir para prevenir, mitigar o corregir los efectos indeseables que el proyecto, obra o actividad autorizada pueda causar en el ambiente. 2. Autorización que otorga la autoridad competente para la construcción, el montaje, la explotación objeto del contrato y el beneficio y para las labores adicionales de exploración durante la etapa de explotación. Se otorga de manera global y comprende además los permisos, autorizaciones y concesiones de carácter ambiental para hacer uso de los recursos necesarios en el proyecto minero.

Litificación: Proceso mediante el cual un material se convierte en roca compacta en la corteza terrestre.

Lixiviable: Material extractable o tratable mediante técnicas de lixiviación.

Lixiviación (beneficio): Proceso hidro-metalúrgico mediante el cual se realiza la disolución selectiva de los diferentes metales que contiene una mena, por medio de una solución acuosa que contiene un reactivo químico apropiado.

Lixiviación (geoquímica): 1. Remoción de elementos químicos desde un material natural (por ejemplo, suelo), mediante su disolución en agua y su transporte o movilización descendente a través de un terreno o medio sólido poroso. 2. Proceso natural mediante el cual, por acción del agua, se liberan y transportan elementos a través de un perfil (suelo) hacia los horizontes inferiores.

Lixiviación a presión: Disolución selectiva de un mineral en medio acuoso ácido o básico, mediante la aplicación de altas presiones y temperaturas. El proceso se realiza en equipos denominados autoclaves.

Lixiviación biológica: 1. Proceso de recuperación de metales de minerales de bajo tenor que se basa en liberar una solución de los metales con la utilización de bacterias. 2. Es el proceso de usar bacterias que ocurren naturalmente para acelerar la oxidación de minerales sulfídicos que contienen algunas formas de oro y a su vez previenen que los químicos lixiviantes alcancen el oro. Cuando la mena es expuesta a grandes concentraciones de estos organismos que consumen sulfuros, se pueden remover cantidades suficientes de material sulfídico para luego recuperar el oro mediante procesos normales de lixiviación.

Lixiviación por percolación: Proceso de lixiviación en el cual la solución lixiviante y las aguas de lavado pueden circular por efecto de la gravedad a través de las partículas de mineral en el interior de un tanque o en el suelo y disolver el metal de interés. Generalmente, las partículas del mineral apto para este proceso deben tener un tamaño entre 6 y 9 mm.

Lixiviados: Solución obtenida por extracción o lixiviación, tal es el caso de la solución resultante de la percolación descendente de agua meteórica a través del suelo o de desechos sólidos que contiene sustancias solubles (por ejemplo, en un relleno sanitario).

Mm

Manejo de aguas (industria minera): Proceso en el que se produce un descenso de la tabla de agua subterránea, en un área minera, mediante bombeo de pozos para luego ser transportada y utilizada o recargada al sistema de aguas subterráneas mediante infiltración, reinyección o irrigación.

Medio ambiente: Conjunto de condiciones físicas, químicas y biológicas que rodean a un organismo.

Mena: (1.) Mineral de base del que es posible extraer otro mineral de mayor pureza e importancia económica. La molibdenita (sulfuro de molibdeno), por ejemplo, es la principal mena del molibdeno. (2.) Minerales que presentan interés económico en un yacimiento. Este concepto se opone al de ganga. En general, es un término que se refiere a minerales metálicos y que designa al mineral del que se extrae el elemento de interés. Para poder aprovechar mejor la mena, suele ser necesario su tratamiento, que en general comprende dos etapas: el tratamiento en el sitio de mina para aumentar la concentración del mineral en cuestión (procesos hidrometalúrgicos, flotación, entre otros), y el tratamiento metalúrgico final, que permita extraer el elemento químico en cuestión (tostación, electrólisis, entre otros).

Metalogénesis: permite definir y, en su caso, mostrar en un mapa las áreas potenciales de contener concentraciones minerales.

Metalogenia: Bajo este concepto se define a la rama de la geología que estudia el origen de los yacimientos minerales, sus relaciones con las rocas que los contienen, las estructuras que los controlan y las leyes que gobiernan la distribución de los depósitos minerales en la corteza terrestre. Esta definición considera todas las variables en el espacio y en el tiempo.

Metalogenética (provincia metalogenética): son regiones en las que una serie de depósitos minerales poseen características comunes.

Metalografía: descripción y clasificación de metales mediante el estudio de la estructura de un metal-aleación y la relaciona con la composición química, con las propiedades mecánicas y físicas.

Metalurgia: (1.) Estudio y tecnología de los metales y aleaciones. (2.) Es la ciencia de extraer metales de las respectivas menas por medios mecánicos y procesos químicos, y de prepararlos para su uso.

Metamorfismo: Proceso por el cual se producen profundas transformaciones mineralógicas, estructurales y químicas sobre rocas o minerales preexistentes, debido a bruscas variaciones en las condiciones de presión y temperatura, y que da lugar a la formación de un nuevo tipo de rocas llamadas metamórficas. Esencialmente es isoquímico y al estado sólido, con cristalización de nuevos minerales, llamados neoformados, y adquisición de texturas y estructuras particulares diferentes de las de la roca originaria. Cualquier roca puede ser afectada por el metamorfismo, ya sea ígnea, sedimentaria o metamórfica.

Hay varios esquemas para distinguir diferentes tipos de metamorfismo: 1) según la extensión sobre la cual tuvo lugar el metamorfismo: metamorfismo regional y local. 2) según las condiciones (ambiente) geológicas: orogénico, de enterramiento, de fondo oceánico, dinámico, de contacto y dinamotérmico. 3) según el principal factor controlante durante el metamorfismo (temperatura (T), presión (P), presión de agua (PH₂O), esfuerzos, deformaciones): térmico. 4) según la causa particular del metamorfismo: de impacto, hidrotermal, por quema de combustibles naturales (raro), por rayos (descargas eléctricas naturales), en esta categoría se puede incluir el metamorfismo de contacto, el piro metamorfismo y el metamorfismo asociado con el emplazamiento de cuerpos tectónicos calientes. 5) según si el metamorfismo es el resultado de un único o de múltiples eventos: monometamorfismo, polimetamorfismo. Una roca o complejo de rocas pueden presentar los efectos de más de un evento metamórfico (por ejemplo, dos metamorfismos regionales o un metamorfismo de contacto y uno regional). 6) según si el metamorfismo está asociado con un incremento o descenso de la temperatura: progrado, retrógrado.

Metasomatismo: (1.) Proceso, prácticamente simultáneo, de solución capilar y deposición, por medio del cual un nuevo mineral o agregado de minerales, de composición química parcial o totalmente diferente, se desarrolla en el cuerpo de un antiguo mineral o agregado de minerales. (2.) Proceso por el cual un mineral es reemplazado por otro de diferente composición química, gracias a un grupo de reacciones que permiten la introducción de material de fuentes externas. (3.) Proceso de solución y deposición simultánea, que ocurre a través de pequeñas aperturas generalmente submicroscópicas, y principalmente por acción de soluciones acuosas hipogénicas, que da como resultado un nuevo mineral de composición total o parcialmente diferente, y que puede desarrollarse en el cuerpo de un antiguo mineral o agregado de minerales.

Metilmercurio: El metilmercurio (a veces escrito como metil-mercurio) es un catión organometálico de fórmula química [CH₃Hg]⁺. Se trata de un compuesto neurotóxico capaz de concentrarse en el organismo (bioacumulación) y concentrarse así mismo en las cadenas alimentarias (biomagnificación),^{1,2} que ocupa un lugar especial debido a que un cierto porcentaje de la población mundial está expuesta a él de una forma u otra y su toxicidad está mejor caracterizada por la investigación médica que la de otros compuestos orgánicos del mercurio.

Mineral: sustancia homogénea originada por un proceso genético natural con composición química, estructura cristalina y propiedades físicas constantes dentro de ciertos límites. 2. Individuos minerales que se caracterizan por una estructura cristalina determinada y por una composición química, que pertenecen a un rango de variaciones continuas y que se encuentran en equilibrio bajo unas condiciones termodinámicas determinadas. 3. El Código de Minas define el mineral como la sustancia cristalina, por lo general inorgánica, con características físicas y químicas propias debido a un agrupamiento atómico específico.

Mineral de alteración: Mineral que se forma como producto de reacciones fisicoquímicas de fluidos hidrotermales o de actividad ígneo - volcánica con minerales que componen las rocas encajantes. Se excluyen los minerales formados

por meteorización o intemperismo. Los tipos de alteración hidrotermal más comunes son: potásica, skarn, filica, propílica, argílica, subpropílica, albitización, piritización, carbonatización, ceolitización, alunitización, caolinización, silicificación, dolomitización, turmalinización, epidotización, argílica avanzada, sericítica, cloritización.

Mineral asociado: Entiéndase por minerales asociados aquellos que hacen parte integral del cuerpo mineralizado objeto del contrato de concesión. Mineral de ganga: 1. Minerales que no presentan interés económico en un yacimiento, aquella parte de una mena que no es económicamente deseable, pero que no puede ser desechada en minería. Ella es separada de los minerales de mena durante los procesos de concentración. Este concepto se opone al de mena. Es el material estéril o inútil que acompaña al mineral que se explota. Generalmente son minerales no metálicos, o bien la roca encajante y muy ocasionalmente pueden ser minerales metálicos. Los minerales de ganga son aquellos que no son beneficiables, pero en algunos casos estos minerales pueden llegar a ser económicamente explotables (al conocerse alguna aplicación nueva para los mismos) y, por lo tanto, dejarían de ser ganga, por ejemplo, el mineral de ganga es galena. 2. La roca de derroche que rodea un depósito de mineral; también la materia de menor concentración en un mineral.

Mineral de mena: Mineral que puede utilizarse para obtener uno o más metales; aunque también pueden estar en forma de metal nativo o como combinaciones de los metales. Los minerales de mena son aquellos que pueden ser beneficiados, lo cual hace que tengan importancia económica, es decir, económicamente explotables bajo condiciones normales, por ejemplo, oro nativo.

Mineralización: Procesos naturales por los cuales los minerales son introducidos en las rocas. Los procesos de mineralización más conocidos son: segregación magmática, diferenciación magmática, hidrotermal, sublimación, metasomatismo de contacto, metamorfismo, sedimentación, evaporación, concentración residual, oxidación y enriquecimiento supergénico, concentración mecánica, eólico.

Mineralogía: Ciencia que estudia los minerales. La manera en que se combinan, cristalizan, presentan y distribuyen estos compuestos, sus diversas características físicas y químicas, su origen y su distribución en la corteza terrestre. Está ligada a la geología (que estudia los procesos físicos que determinaron la formación de la Tierra).

Minería formal: Actividad cuyas unidades productivas desarrollan las labores mineras con título minero vigente o bajo el amparo del mismo, instrumento ambiental y cumplen con los parámetros técnicos, ambientales, económicos, laborales y sociales, de la industria, definidos por la legislación vigente en estos aspectos.

Minería legal: Es la minería amparada por un título minero, que es el acto administrativo escrito mediante el cual se otorga el derecho a explorar y explotar el suelo y el subsuelo mineros de propiedad nacional, según el Código de Minas. El título minero deberá estar inscrito en el Registro Minero Nacional.

Modelo: Una abstracción de la realidad. Un modelo es estructurado como un conjunto de reglas y procedimientos utilizados para derivar nueva información que puede ser analizada para ayudar a resolver problemas de planeación.

Molienda: Operación de reducción de tamaño de un mineral realizada posteriormente a la trituración; puede ser de tipo primario o secundario según el tamaño requerido del producto.

Molienda autógena: Proceso de reducción de tamaño llevado a cabo en un cilindro rotatorio en el cual el efecto molidor es causado por la fricción mutua entre las partículas de mineral.

Molienda semiautógena (SAG): Método de molienda de roca y minerales en el cual el medio molidor está compuesto por trozos grandes del mismo material que se intenta moler y bolas de acero.

Molino: Máquina usada en la molienda de minerales.

Molino de arrastre: Un molino que consiste en una o más piedras grandes arrastradas por un lecho circular, que se utiliza para moler minerales.

Molino de barras: Molinos para molienda fina (última etapa de molienda en la que el material que se entrega pasa por un tamiz de malla de 1 milímetro cuadrado de sección) similares a los molinos de bolas. Son equipos cilíndricos que tienen en su interior barras de acero que cuando el molino gira, caen sobre el material.

Molino de bolas: Cilindro metálico cuyas paredes están reforzadas con material fabricado en aleaciones de acero al manganeso. Estas molduras van apernadas al casco del molino y se sustituyen cuando se gastan. El molino gira y la molienda se realiza por efecto de la bolas de acero al cromo o manganeso que, al girar con el molino, son retenidas por las ondulaciones de las molduras a una altura determinada, desde donde caen y pulverizan por efecto del impacto, el material mineralizado mezclado con agua.

Molino de guijarros: Molino cilíndrico, similar al molino de barras, con sólo un compartimiento y una carga de partículas de mineral cribadas como medio de molienda. Muy usados en minas de oro de Sudáfrica. Se utilizan cuando la proporción de tamaños gruesos es demasiado baja, donde la fracción gruesa de la alimentación se separa y el resto se tritura hasta un tamaño más fino, y se introduce todo en el molino de guijarros para completar la molienda fina.

Molino tubular: Aparato que consiste en un cilindro giratorio, lleno aproximadamente hasta la mitad de varillas y bolas de acero, en el cual se introduce la mena triturada para obtener una molienda más fina.

Oo

Oferta: 1. Precio al cual se ofrece un instrumento (título) para la venta. En la cotización de determinado título el offer constituye el precio más bajo que un vendedor está dispuesto a recibir por dicho título en ese momento dado. 2. Situación por la cual una sociedad hace público su deseo de adquirir una participación mayoritaria en otra.

Onza troy: Unidad de masa en la cual son comercializados los metales preciosos tales como oro y platino. Una onza troy equivale a 31.103 gramos.

Pp

Permiso ambiental: Autorización que concede la autoridad ambiental para el uso o el beneficio temporal de un recurso natural.

Petrografía (Petrología): Rama de la geología que estudia las rocas desde el punto de vista genético (origen) y su relación con otras rocas..

Planta de procesamiento de minerales: Instalación industrial o semi industrial en la cual un mineral es tratado para la recuperación de los metales o compuestos de interés mediante una secuencia de operaciones o procesos unitarios, y que utiliza algún tipo de energía (eléctrica, mecánica, hidráulica o térmica) para la operación de los equipos o máquinas.

Presión de vapor: Es la presión de la fase gaseosa o vapor de un sólido o un líquido sobre la fase líquida, para una temperatura determinada, en la que la fase líquida y el vapor se encuentran en equilibrio dinámico; su valor es independiente de las cantidades de líquido y vapor presentes mientras existan ambas.

Producción (aspectos económicos): Es la suma del valor de todos los bienes y servicios producidos por los agentes económicos residentes, ofrecidos para diferentes usos, incluido el consumo intermedio.

Producción (industria minera): Fase del Ciclo Minero que tiene como objetivo la extracción, la preparación o el beneficio, el transporte y la comercialización del mineral. Es la fase de mayor duración, generalmente entre 10 y 30 años, y depende del nivel de reservas, tipo de explotación y condiciones de la contratación.

Productividad: Relación entre lo producido y los medios empleados, tales como mano de obra, materiales, energía, maquinaria, entre otros.

Producto (industria minera): Cantidad de mineral obtenido en un proceso o una operación y que puede servir a la vez como alimento para un tratamiento posterior.

Propiedades físicas: Son las características que se pueden medir u observar sin alterar la composición de la sustancia: Ej: Color, olor, masa, forma, solubilidad, densidad, punto de fusión, etc.

Propiedades químicas: Son aquellas que pueden ser observadas cuando una sustancia sufre un cambio en su composición Ej: oxidación

Proyecto de Inversión: Un proyecto de inversión es un plan que contiene un conjunto de actividades coordinadas entre sí para posibilitar el cumplimiento de un propósito específico o la materialización de una idea. En este sentido, los proyectos son un instrumento básico de información para la toma de decisiones de inversión.

Pruebas de planta piloto: Pruebas que buscan identificar las mejores condiciones de operación de una planta de beneficio del mineral.

Rr

Recuperación (industria minera): Relación entre el peso del componente útil en el concentrado de mineral y el del mismo componente en el alimento de la misma operación unitaria. Generalmente se expresa en porcentaje y en ocasiones sirve como indicativo del rendimiento de una operación de preparación de minerales.

Recursos naturales: Son elementos de la naturaleza susceptibles de ser utilizados por el hombre para la satisfacción de sus necesidades o intereses económicos, sociales y espirituales. Los recursos renovables se pueden renovar a un nivel constante. Los recursos no renovables son aquellos que forzosamente perecen en su uso.

Recursos naturales no renovables: Son los recursos que no tienen capacidad de recuperarse o regenerarse después de ser aprovechados, posiblemente se regeneren en escalas de tiempo geológico grandes.

Recursos naturales renovables: Son aquellos cuya fuente es abundante y se generan a una velocidad tal, que pueden ser utilizados repetidas veces por el hombre, sin arriesgar su agotamiento.

Regalía: 1. Compensación por el uso de la propiedad ajena basada sobre un porcentaje acordado de los ingresos resultantes de su uso. Por ejemplo, un fabricante por el uso de su maquinaria en la fábrica de otra persona. Generalmente, las regalías se asocian con la actividad extractiva, más especialmente con la actividad petrolera. 2. De conformidad con los artículos 58, 332 y 360 de la Constitución Política, toda explotación de recursos naturales no renovables de propiedad estatal genera una regalía como contraprestación obligatoria.

Relave: (o cola) es un conjunto de desechos tóxicos de procesos mineros de la concentración de minerales, usualmente constituido por una mezcla de rocas molidas, agua y minerales de ganga (o sin valor comercial), aunque también se encuentran bajas concentraciones de metales pesados, tales como cobre, plomo, mercurio y metaloides como el arsénico

Roca encajante: (yacimientos minerales): Unidad o cuerpo de roca que contiene un recurso mineral.

Rocas metamórficas: Toda roca que en estado sólido ha sufrido cambios texturales y composicionales (físico - químicos). Causados por variaciones de presión y temperatura. Según el grado de metamorfismo estos cambios pueden ser o no más evidentes.

Rocas Sedimentarias: Son las que se forman por la acumulación y compactación de sedimentos, en un proceso llamado litificación. Se presentan estratificadas y pueden contener fósiles.

Rocas volcánicas, ígneas o magmáticas: Rocas ígneas que se forman a partir de la consolidación de material del

magma que fluyó hacia la superficie terrestre (lava) o fue lanzado violentamente (de forma explosiva) desde un volcán (piroclastos, como, por ejemplo, ceniza). Una característica importante de las rocas volcánicas es que tienen una tasa de enfriamiento alta, es decir, el paso desde magma a roca es rápido. Las formas de solidificación de las vulcanitas están estrechamente relacionadas con su contenido en SiO₂, con el contenido gaseoso de los fundidos respectivos y con la viscosidad de la lava.

Ss

Sector: Conjunto de empresas o instituciones que conforman una misma actividad económica.

Sedimento: Material sólido que se asienta desde el líquido cuando se encuentra en suspensión.

Silicificación: Introducción de sílice o remplazamiento de componentes por sílice. La sílice formada o introducida es generalmente cuarzo de grano fino, calcedonia u ópalo, y puede rellenar poros o remplazar minerales existentes. El término es aplicable a procesos magmáticos, hidrotermales o diagenéticos.

Sistema General de Riesgos Profesionales: Conjunto de normas, entidades y procedimientos destinados a prevenir, proteger y atender a los trabajadores, de los efectos de las enfermedades y los accidentes que puedan ocurrir con ocasión o como consecuencia del trabajo

Sostenibilidad: Es el deber de manejar adecuadamente los recursos naturales renovables, y la integridad y el disfrute del ambiente; es compatible y concurrente con la necesidad de fomentar y desarrollar racionalmente el aprovechamiento de los recursos mineros como componentes básicos de la economía nacional y el bienestar social.

Sulfuros: se refiere a minerales formados a partir del enlace entre el azufre y otro elemento químico, en especial un metal (Zn, Cu, Pb, Hg, Sb, Bi, Ni).

Tt

Tasa de descuento : La tasa de descuento también la podemos definir como el costo de oportunidad en que se incurre al tomar la decisión de invertir en el proyecto en lugar de hacerlo en otras alternativas que nos pueda ofrecer el mercado financiero.

Tasa Interna de Retorno - TIR: Indicador de la rentabilidad de un activo financiero. Es aquella tasa de descuento que iguala el valor presente de los flujos de ingresos futuros (intereses, amortizaciones parciales), con el costo de la inversión inicial. Corresponde al rendimiento que obtendría el inversionista de mantener el instrumento hasta su vencimiento, bajo el supuesto que reinvierte los flujos de ingresos a la misma tasa. En el caso de instrumentos de renta fija es equivalente al rendimiento a vencimiento.

Tenor: Porcentaje neto de mineral económicamente recuperable de una mena.

Tenor de cabeza: La ley promedio de la mena alimentada al molino. Se refiere al dato de tenor del material que entra

a la planta de beneficio, y se calcula tanto para el producto como para los co-productos y subproductos.

Tenor de colas: Tenor, ley o concentración de mineral en las colas que se desechan al final de todo el proceso mineralúrgico (beneficio).

Título minero de exploración: Es el acto administrativo que confiere a una persona el derecho exclusivo a realizar dentro de una zona determinada, trabajos dirigidos a establecer la existencia de minerales y sus reservas en calidad y cantidad comercialmente explotables.

Título minero de explotación: Es el derecho que tiene el titular de la licencia de exploración que ha sido clasificado en forma definitiva como de pequeña minería para convertir su título en licencia de explotación.

Tonelada métrica : Unidad de peso equivalente a 1.000 kg ó 2.205 libras.

Trituración: Reducción inicial del tamaño del mineral hasta un grado que permita su molienda.

Trituración primaria: Proceso por el cual el mineral es triturado entre 1/2 a 1/6 de su tamaño original, en preparación a la siguiente etapa de reducción (segunda o tercera etapa de trituración o circuito de molienda).

Trituración primaria, secundaria y terciario: Etapas en las que se realiza la trituración o la reducción de tamaño de las rocas y los minerales con el fin de reducir los costos de energía; la reducción en una sola etapa incurre en mayores gastos energéticos. Convencionalmente denominadas trituración gruesa, media y fina (primaria, secundaria y terciaria).

Trituración selectiva: Proceso que consiste en evitar triturar excesivamente las partículas que ya han alcanzado el tamaño deseado. Lo que se consigue cribando o tamizando previamente el material triturado.

Trituradora: Maquinaria para romper y reducir de tamaño fragmentos o trozos grandes de roca y otros materiales.

Trituradora de cono: Máquina que tritura el mineral en el espacio entre un cono de trituración, montado en forma excéntrica, y otro cono truncado fijo llamado tazón.

Trituradora de mandíbulas: Máquina que utiliza placas de acero (una fija y otra móvil) para romper las rocas. La trituradora de mandíbulas rompe el material al presionarlo entre las dos placas de acero (mandíbulas) que forman una cámara en forma de cuña.

Trituradora de rodillos: Trituradora en la cual el material es roto entre dos rodillos rotatorios, que se mueven en sentido contrario a las manecillas del reloj; y pasa a través de una ranura en el fondo de la máquina. Cuando la presión es muy grande, los rodillos se separan aumentando la distancia entre ellos y, por lo tanto, el tamaño de grano final. Se utiliza para la trituración de menas quebradizas (frágiles) antes de la separación gravimétrica hidromecánica de fracciones de grano medio.

Uu

Utilidad neta: Ganancia obtenida por una empresa en un período determinado después de haber pagado impuestos y otros gastos.

Vv

Valor en libros: Importe por el que aparece registrado un activo en los libros contables de una empresa.

Ventas: Importe de todas las ventas que ha efectuado una empresa en un período dado, ya sea que se hayan realizado de contado o a crédito

Veta: Cuerpo de roca tabular o laminar que penetra cualquier tipo de roca. Muchos depósitos de minerales importantes se presentan en formas de vetas junto con otros minerales asociados.

Vida útil : La vida útil de un equipo es el lapso durante el cual éste está en condiciones de realizar el trabajo para el cual fue diseñado, sin que los gastos de su operación excedan los rendimientos económicos obtenidos por el mismo, por mínimos que éstos sean. La vida útil de una máquina depende de múltiples y complejos factores, entre los que se pueden enumerar: fallas de fabricación, falta de protección contra los agentes atmosféricos, desgastes excesivos debido a uso anormal, vibraciones y fricción de sus partes móviles, manejo de diferentes operadores e irresponsabilidad de éstos, descuidos técnicos, entre otros.

Vida útil del proyecto: Tiempo durante el cual se espera que el proyecto genere beneficios.

Zz

Zona de falla: Área relacionada con un plano de falla que puede consistir hasta de cientos de metros a los lados del plano de falla. Consiste de numerosas fallas pequeñas en las cataclásitas y milonitas asociadas.

Panorámica de la cordillera occidental donde se ubica la zona minera de Andes (Antioquia).
Fotografía tomada por: Verónica Ruíz / Servicio Geológico Colombiano



- REFERENCIAS

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Lopez L.M y Pulgarin, B (1987). Estudio geológico de la mina San Pablo, Andes , departamento de Antioquia. Tesis de grado. Universidad Nacional sede Medellín.
- Romero, A., Medina, R., & Flores, S (2008). Estudio de los metales pesados en el relave abandonado de Ticapampa. Revista del Instituto de Investigación de la Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica, 11(22), 13-16.
- Dold, B. (2010). Basic concepts in environmental geochemistry of sulfidic mine-waste management. In Waste management. InTech.
- Akabzaa, T. M., Armah, T. E. K., & Baneong-Yakubo, B. K. (2007). Prediction of acid mine drainage generation potential in selected mines in the Ashanti Metallogenic Belt using static geochemical methods. Environmental Geology, 52(5), 957-964.
- AWWA, APHA, WEF (2012). Standard Methods for the examination of water and wastewater. (22 Ed.). Washington: American Public Health Association, American Water Works Association, Water Environment Federation.
- BESSER, J.M., Brumbaugh W.G., Allert A.L., Poulton B.C., Schmitt C.J., Ingersoll C.G. (2009). Ecological impacts of lead mining on Ozark streams: Toxicity of sediment and pore water. Ecotoxicology and Environmental Safety, 72:516-526.
- Blackburn, W. B., Show, I., Williams, L., Taylor, D. R., & Marsden, P. J. (1988). Collaborative study of the toxicity characteristic leaching procedure (TCLP). In Waste Testing and Quality Assurance. ASTM International.
- Congreso de la Republica. Ley 1658 de 15 de Julio de 2013 (2013).
- Gascon, R., Soto, M., Oblasser, A., Calderón Rosa, C., Hoppe, J., Salazar, N., & Bastidas, M. (2015). Guia Metodologica para la Estabilidad Química de Faenas e Instalaciones Mineras.
- IDEAM. Resolución 0062 (2007). Protocolos para el muestreo y análisis de las características de peligrosidad de los residuos o desechos peligrosos.
- Lawrence, R. W., & Marchant, P. M. (1991). Acid Rock Drainage Prediction Manual: A Manual of Chemical Evaluation Procedures for the Prediction of Acid Generation from Mine Wastes. CANMET (Canadian Centre for Mineral and Energy Technology), Vancouver, BC, Canada, 47.
- Lawrence, R. W., & Scheske, M. (1997). A method to calculate the neutralization potential of mining wastes. Environmental Geology, 32(2), 100-106.
- Méndez Ortiz, B. A., Carrillo Chávez, A., & Monroy Fernández, M. G. (2007). Acid rock drainage and metal leaching from mine waste material (tailings) of a Pb-Zn-Ag skarn deposit: environmental assessment through static and kinetic laboratory tests. Revista Mexicana de Ciencias Geológicas, 24(2).
- MINAMBIENTE (2005). Decreto 4741 de 2005. Concentraciones máximas de contaminantes para la prueba TCLP. Tabla 3 del Anexo III.
- MINAMBIENTE (2015). Resolución 0631 de 2015. Artículo 10. Parámetros fisicoquímicos a monitorear y sus valores máximos permisibles en los vertimientos puntuales de aguas residuales No domesticas-ARnD a cuerpos de aguas superficiales de actividades de minería.
- MINAMBIENTE (2007). Resolución 2115 del 22 de Julio de 2007. Características físicas y químicas del agua para consumo humano. Cuadro N°2.
- Procedure Toxicity Characteristic Leaching. (1992). Method 1311. USA Norm.
- EPA. (1994). Method 7470 A Mercury in liquid waste. Methods for Chemical Analysis of Water and Wastes, EPA - 600/4 82-85, (September), 1-6.
- Cordy, P., Veiga, M. M., Salih, I., Al-Saadi, S., Console, S., Garcia, O., Roeser, M. (2011). Mercury contamination from artisanal gold mining in Antioquia, Colombia: The world is highest per capita mercury pollution. The Science of the Total Environment, 410, 154-60.
- INGEOMINAS. (2010). Técnicas Mineralógicas, químicas y metalúrgicas para la caracterización de menas auríferas. (L. E. Vasquéz, Ed.) (Primera Ed., p. 479). Bogotá D.C.: Ingeominas-JICA.
- Ministerio De Medio Ambiente. Plan único nacional de mercurio (2014).

- Barringer, J. L., Szabo, Z., Kauffman, L. J., Barringer, T. H., Stackelberg, P. E., Ivahnenko, T., ... Krabbenhoft, D. P. (2005). Mercury concentrations in water from an unconfined aquifer system, New Jersey coastal plain. *Science of the Total Environment*, 346, 169–183.
- García, O., Veiga, M. M., Cordy, P., Suescún, O. E., Molina, J. M., & Roeser, M. (2014). Artisanal gold mining in Antioquia, Colombia: a successful case of mercury reduction. *Journal of Cleaner Production*.
- Pinedo-Hernández, J., Marrugo-Negrete, J., & Díez, S. (2015). Speciation and bioavailability of mercury in sediments impacted by gold mining in Colombia. *Chemosphere*, 119, 1289–95.
- Programa de las Naciones Unidas, & Ministerio del Medio Ambiente. (2012). Sinopsis Nacional de la minería aurífera artesanal y de pequeña escala (p. 72).
- Public, A., & Association, H. (1992). APHA Method 3112: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. In *Methods for examination of water and wastewater*. 552, 7.
- Velásquez-López, P. C., Veiga, M. M., Klein, B., Shandro, J. a., & Hall, K. (2011). Cyanidation of mercury-rich tailings in artisanal and small-scale gold mining: identifying strategies to manage environmental risks in Southern Ecuador. *Journal of Cleaner Production*, 19, 1125–1133.
- Universidad de Antioquia. Caracterización y análisis de las variables locativas, ambientales, de salud ocupacional y manejo del mercurio y las amalgamas en los entables y compras de oro del municipio de Andes. 2014
- Universidad de Antioquia-Corantioquia: Cartilla Didáctica. Manejo integral del Mercurio: un enfoque social y de desarrollo humano. 2014
- Ingeominas 2004. Plancha geológica de la plancha 186 Riosucio.

REFERENCIAS WEB

- <http://www.fabreminerals.com>
- <https://www.mineralesyrocas.com>
- <http://www.directindustry.es/prod/hectron/product-56622-414043.html>
- <http://adolfo-gonzales-chaves.anuncios.com/criba-vibratoria-para-piedras-minerales-arena-idp-167249>
- <https://www.911metallurgist.com/equipment/industrial-rock-crusher/>
- <http://www.hosokawa-alpine.es/procesado-de-polvo-particulas/maschinen/kugel-und-ruehrwerkskugelmuehlen/so-super-orion-kugelmuehle/>
- <https://www.911metallurgist.com/metalurgia/equipos-de-flotacion/>
- <https://www.911metallurgist.com/metalurgia/cianuracion-oro-plata/>
- Created by Luis_molinero - Freepik.com
- Created by Starline - Freepik.com
- Created by Macrovector - Freepik.com
- Created by Brgfx - Freepik.com

GUÍA METODOLÓGICA
PARA EL MEJORAMIENTO PRODUCTIVO
DEL BENEFICIO DE ORO
SIN EL USO DE MERCURIO.

ANDES (ANTIOQUIA)

ISBN: 978-958-59782-7-0



El futuro
es de todos

Minenergía