



El futuro  
es de todos

Minenergía



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

LA LLANADA  
Y ANDES SOTOMAYOR (NARIÑO)





El futuro  
es de todos

Minenergía

# **GUÍA METODOLÓGICA**

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

**LA LLANADA  
Y ANDES SOTOMAYOR (NARIÑO)**





© Servicio Geológico Colombiano

GUÍA METODOLÓGICA PARA EL MEJORAMIENTO PRODUCTIVO DEL BENEFICIO DE ORO SIN EL USO DE MERCURIO. LA LLANADA Y ANDES SOTOMAYOR (NARIÑO)

Bogotá, Colombia

---

Este documento se ha elaborado en el marco del Convenio Interadministrativo GGC n.º 311 de 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 La Llanada y Andes Sotomayor (Nariño), aplicada al mejoramiento productivo de la extracción del oro sin el uso de mercurio en el proceso de beneficio en la pequeña minería de Colombia.

Este documento debe citarse así: Servicio Geológico Colombiano, Ministerio de Minas y Energía, *guía metodológica para el mejoramiento productivo del beneficio de oro sin el uso de mercurio: La Llanada y Andes Sotomayor (Nariño)*. Bogotá: Colombia, 2018.

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

Servicio Geológico Colombiano  
Dirección de Laboratorios, Grupo de Trabajo Cali.

Fotografía de portada: La imagen muestra el trabajo en un molino chileno y el equipo técnico del SGC verificando el tamaño de partícula que resulta del proceso en una planta de beneficio de la zona minera de La Llanada y Andes Sotomayor (Nariño). Fotografía tomada por Benedicto Galindo (Servicio Geológico Colombiano).

---

ISBN: 978-958-52286-1-0



9 789585 228610

## 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 LA LLANADA Y ANDES SOTOMAYOR (NARIÑO)* 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.

Esta 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 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 esta 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 La Llanada y Andes Sotomayor (Nariño), 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 agradecen a todas las personas que realizaron aportes al desarrollo de la presente guía metodológica, quienes se mencionan en los listados de participantes, así como a los integrantes del equipo de trabajo y a la Universidad Nacional de Colombia.

Asimismo, agradecen a los mineros de la zona de La Llanada y Andes Sotomayor (Nariño) 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. LA LLANADA Y ANDES SOTOMAYOR (NARIÑO)

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 LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA,  
DEPARTAMENTO DE GEOCIENCIAS**



**GRUPO TÉCNICO DE APOYO DE LA UNIVERSIDAD DE CALDAS,  
DEPARTAMENTO DE CIENCIAS GEOLÓGICAS, DIRIGIDO POR  
LOS PROFESORES SERGIO CASTRO Y MAURICIO ALBARÁN.**

**COOPERATIVA DEL DISTRITO MINERO DE LA LLANADA (COODMILLA),  
COOPERATIVA DE MINEROS DE LOS ANDES Y  
LA OFICINA DE ASUNTOS MINEROS DE LOS ANDES.**

# CONTENIDO

PRESENTACIÓN	
AGRADECIMIENTOS	
EQUIPO DE TRABAJO	8
INTRODUCCIÓN	13
<b>CAPÍTULO 1. MARCO DE REFERENCIA</b>	<b>15</b>
1.1. DESCRIPCIÓN DE LA SITUACIÓN ACTUAL	17
1.2. DESCRIPCIÓN DE LA NECESIDAD	21
1.3. OBJETIVOS	24
1.3.1. Objetivo General	24
1.3.2. Objetivos Específicos	24
1.4. ALCANCE	25
<b>CAPÍTULO 2. METODOLOGÍA DE TRABAJO</b>	<b>26</b>
2.1. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	29
2.2. MUESTREO	29
2.3. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN	29
2.4. PRUEBAS	29
<b>CAPÍTULO 3. CARACTERÍSTICAS DE LA ZONA DE ESTUDIO</b>	<b>30</b>
3.1. LOCALIZACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO	32
3.1.1. Municipio de La Lanada	33
3.1.2. Municipio de Los Andes Sotomayor	34
3.1.3. Vías de acceso	35
3.1.4. Ubicación geográfica de las minas y plantas de beneficio	35
<b>CAPÍTULO 4. ASPECTOS GEOLÓGICOS</b>	<b>37</b>
4.1. FUNDAMENTOS TEÓRICOS : GEOLOGÍA Y YACIMIENTOS MINERALES	39
4.1.1. Generalidades de los yacimientos auríferos	39
4.1.2. Identificación de minerales en el frente de mina	43
4.1.3. Sulfuros metálicos asociados a la mena	45
4.1.4. Tipos de ocurrencia de oro	46
4.2. GEOLOGÍA Y MINERALOGÍA DE LA ZONA MINERA DE LA LLANADA Y ANDES SOTOMAYOR	47
4.2.1. Geología regional	47
4.2.2. Geología local y mineralogía de la mena	48
4.2.2.1. Geología estructural local	48
4.2.2.2. Alteración hidrotermal	48
4.2.2.3. Metalogénesis y mineralización aurífera	49
4.2.2.4. Secuencia paragenética	51
4.2.2.5. Modelo metalogénico	53
4.2.3. Unidades geometalúrgicas (UGM)	54
4.2.4. Ocurrencia de oro en la veta	55
4.2.4.1. Municipio de la llanada	55
4.2.4.2. Municipio de los andes sotomayor	58
4.2.5. Liberación de sulfuros	61
4.2.5.1. Municipio de la llanada	61
4.2.5.2. Municipio de los andes sotomayor	61
4.3. CONSIDERACIONES GENERALES EN GEOLOGÍA Y MINERALOGÍA	63
4.4. CONSIDERACIONES EN GEOLOGÍA Y MINERALOGÍA PARA AL BENEFICIO METALÚRGICO	64
<b>CAPÍTULO 5. ASPECTOS METALÚRGICOS</b>	<b>65</b>
5.1. FUNDAMENTOS TEÓRICOS : PROCESO DE BENEFICIO METALÚRGICO	67
5.1.1. Beneficio de minerales en planta	67
5.1.2. Proceso de conminución (trituración y molienda)	68
5.1.2.1. Trituración primaria (gruesos)	69
5.1.2.2. Trituración secundaria (finos)	70

# CONTENIDO

5.1.2.3.	Molienda	71
5.1.3.	Clasificación granulométrica	73
5.1.4.	Clasificación hidráulica	74
5.1.5.	Concentración de minerales auríferos por gravimetría	76
5.1.6.	Concentración de minerales auríferos por flotación	79
5.1.7.	Cianuración	80
5.1.7.1.	Precipitación por el proceso de Merrill Crowe	81
5.1.8.	Fundición	82
5.1.9.	Tratamiento de residuos sólidos en aguas	84
<b>CAPÍTULO 6. ASPECTOS QUÍMICO - AMBIENTALES</b>		<b>85</b>
6.1	CONTRIBUCIÓN Y CARACTERIZACIÓN QUÍMICA, CONTROL DE PROCESOS METALÚRGICOS Y QUÍMICO AMBIENTALES	87
6.2	FUNDAMENTOS TEÓRICOS: MÉTODOS Y APLICACIONES QUÍMICO - AMBIENTALES	88
6.2.1.	Contaminación por mercurio en minería	88
6.2.1.1	Ciclo del mercurio	88
6.2.2.	Uso del mercurio y su normatividad en Colombia	89
6.2.3.	Caracterización química y ambiental	89
6.2.3.	Análisis químicos aplicados para caracterizar y controlar procesos metalúrgicos y ambientales	90
6.2.3.1.	Espectrofotometría de absorción atómica	91
6.2.3.2.	Espectrofotometría de ultravioleta visible	91
6.2.3.3.	Potenciometría del ion cianuro	92
6.2.4.	Tratamientos para la descomposición de cianuro: formas libre y complejo	92
6.2.4.1.	Cianuro y sus formas	92
6.2.4.2.	Tratamientos de descomposición: uso del peróxido de hidrógeno, sulfato ferroso y prueba de control ambiental	93
6.3.	CARACTERÍSTICAS QUÍMICO AMBIENTALES DE LA ZONA MINERA	96
6.3.1.	Caracterización química	96
6.3.2.	Caracterización de las aguas superficiales	97
6.3.3.	Mercurio, metales y cianuro	98
6.3.3.1.	Mercurio en fase líquida	98
6.3.3.2.	Mercurio en sedimentos activos sólidos	99
6.3.3.3.	Caracterización de vertimientos	101
6.3.3.4.	Caracterización de relaves	101
6.3.4.	Pruebas ambientales para relaves	103
6.4.	CONSIDERACIONES AMBIENTALES	106
6.4.1.	Recomendaciones	106
<b>CAPÍTULO 7. RUTA METALÚRGICA PROPUESTA PARA LA ZONA MINERA</b>		<b>107</b>
7.1	PPROCESO DE BENEFICIO DESARROLLADO ACTUALMENTE EN LA LLANADA	109
7.2	PROCESO DE BENEFICIO DESARROLLADO ACTUALMENTE EN LOS ANDES SOTOMAYOR	110
7.3.	PROCESO DE BENEFICIO SUGERIDO PARA LA PLANTA DE COODMILLA EN LA LLANADA	111
7.4.	PROCESO DE BENEFICIO SUGERIDO PARA LA ARENAS DE RECHAZO EN LA PLANTA DE LA COOPERATIVA EN LA LLANADA	112
7.5	RECOMENDACIONES	113
7.6.	DIAGRAMA DE FLUJO DE OPERACIONES, PROCESOS Y MASA PARA LA PROPUESTA	114
7.7.	MONTAJE DE PLANTA DE BENEFICIO SUGERIDA	115
7.8.	DIAGRAMA DE FLUJO PARA LA PLANTA DE BENEFICIO SUGERIDA	117
7.9.	CONSIDERACIONES METALÚRGICAS	118
<b>CAPÍTULO 8. ESTUDIO ECONÓMICO Y FINANCIERO</b>		<b>119</b>
8.1.	FUNDAMENTOS TEÓRICOS PARA LA EVALUACIÓN FINANCIERA DEL PROYECTO	121
8.1.1.	Generalidades sobre los proyectos de inversión	121
8.1.1.1.	Definición	121
8.1.1.2.	Clasificación	121

# CONTENIDO

8.1.1.3.	El ciclo de los proyectos	121
8.1.2.	Estudio y evaluación financiera de proyectos de inversión	122
8.1.2.1.	Propósito del estudio financiero	122
8.1.2.2.	Etapas del estudio financiero	123
8.1.2.3.	Propósito de la evaluación financiera	123
8.1.2.4.	Etapas de la evaluación financiera	123
8.2.	METODOLOGÍA PARA EL ESTUDIO Y EVALUACIÓN FINANCIERA DEL PROYECTO-ZONA MINERA DE LA LLANADA	125
8.2.1.	Estudio financiero	125
8.2.1.1.	Identificación y valoración de la inversión inicial	125
8.2.1.2.	Identificación y valoración de costos de operación	126
8.2.1.3.	Identificación y valoración de ingresos de operación	130
8.2.2.	Evaluación financiera	131
8.2.2.1.	Construcción del flujo de caja del proyecto	131
8.2.2.2.	Aplicación de métodos para evaluar proyectos	132
8.3.	ESTUDIO Y EVALUACIÓN FINANCIERA DEL PROYECTO – PLANTA DE LA COOPERATIVA MUNICIPIO LA LLANADA	133
8.3.1.	Resultados e interpretación de indicadores de evaluación financiera – zona minera de la llanada	135
8.4.	ESTUDIO FINANCIERO DE LA OPERACIÓN ACTUAL VS LA OPERACIÓN FUTURA EN LA PLANTA DE LA COOPERATIVA EN EL MUNICIPIO DE LA LLANADA	135
8.4.1.	Resultados de la operación actual	136
8.4.2.	Resumen de indicadores de operación actual vs. operación futura	137
8.4.3.	Análisis de resultados de indicadores de operación actual vs operación futura en la planta de la cooperativa en el municipio de la llanada	137
8.5.	CONSIDERACIONES SOBRE LA OPERACIÓN ACTUAL DE LA PLANTA DE BENEFICIO DE LA COOPERATIVA EN EL MUNICIPIO DE LA LLANADA	138
8.6.	CONSIDERACIONES SOBRE LA OPERACIÓN FUTURA DE LA PLANTA DE BENEFICIO DE LA COOPERATIVA EN EL MUNICIPIO DE LA LLANADA	139
8.7.	ESTUDIO FINANCIERO DEL PROYECTO DE BENEFICIO DE LAS ARENAS DE RECHAZO EN LA PLANTA DE LA COOPERATIVA	140
8.8.	METODOLOGÍA PARA EL ESTUDIO FINANCIERO - ZONA MINERA DE LOS ANDES SOTOMAYOR	141
8.8.1.	Estudio financiero	141
8.8.1.1.	Identificación y valoración de costos de operación	141
8.8.1.2.	Identificación y valoración de ingresos de operación	145
8.8.2.	Evaluación financiera	145
8.8.2.1.	Construcción del flujo de caja del proyecto	145
8.8.2.2.	Aplicación de métodos para evaluar proyectos	147
8.9.	ESTUDIO Y EVALUACIÓN FINANCIERA DE LA OPERACIÓN DE LA PLANTA GUALCONDA	148
8.9.1.	Resultados e interpretación de indicadores de valoración de la rentabilidad operación actual planta gualconda	149
8.9.2.	RESUMEN DE INDICADORES DE OPERACIÓN ACTUAL DE LA PLANTA GUALCONDA	150
8.10.	CONSIDERACIONES SOBRE LA OPERACIÓN ACTUAL DE LA PLANTA DE BENEFICIO GUALCONDA EN LA ZONA DE LOS ANDES SOTOMAYOR	151

GLOSARIO  
REFERENCIAS

# INTRODUCCIÓN

Mediante la Resolución n.º 4 0391 del 20 de abril de 2016, el Ministerio de Minas y Energía adoptó la Política Minera Nacional, en la que 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 de 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 mejorar las condiciones de vida.

En este contexto, el Servicio Geológico Colombiano (SGC), perteneciente al Sistema Nacional de Competitividad, Ciencia, Tecnología e Innovación (SNCCTI), adscrito al Ministerio de Minas y Energía, tiene por objeto, entre otras actividades, según artículo 3 del Decreto 4131 de 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 diversas actividades, entre las que se encuentra “generar e integrar conocimientos y levantar, compilar, validar, almacenar y suministrar, en forma automatizada y estandarizada, información sobre geología y recursos del subsuelo” e “integrar y analizar la información geocientífica del subsuelo”.

El Servicio Geológico Colombiano debe procurar el cumplimiento de sus objetivos y contribuir al desarrollo de las actividades contempladas en la Ley 1286 de 2009. Entre dichos objetivos cabe destacar la generación y el uso del conocimiento mediante el desarrollo científico, tecnológico y la innovación, como actividades esenciales para dotar de valor agregado a nuestros recursos, crear nuevas empresas basadas en investigación, desarrollo tecnológico e innovación, 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 Servicio Geológico Colombiano, en el marco del Decreto 2703 de 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.*

Entre las funciones de la Dirección de Laboratorios, específicamente del Grupo de Trabajo de Caracterización y Procesamiento de Minerales y Carbones, según la Resolución 128 del 8 de marzo del 2017, se encuentran las siguientes:

- Desarrollar proyectos para la caracterización, el procesamiento y aprovechamiento de materiales geológicos (carbones y minerales), con énfasis en la promoción minero-ambiental.
- Realizar asesoría técnica en la caracterización, el 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 Servicio Geológico Colombiano, en el capítulo 7, numeral 7.2, se establece, para la Dirección de Laboratorios, realizar investigaciones especiales tales como la de beneficio de minerales y transformación de carbones, por lo que el laboratorio se concentra en la generación de estudios y desarrollo de esquemas técnico-científicos, ambientalmente sostenibles, para el beneficio de minerales como parte de la cadena de valor de la minería. Los siguientes son los temas en los cuales se orienta:

- 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, en la cual se establece como objetivo fundamental 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 Servicio Geológico Colombiano ha partido de las bases del Plan Nacional de Desarrollo 2014-2018, "Todos por un nuevo país", que busca continuar consolidando el sector minero-energético como uno de los motores de desarrollo mediante 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, en la medida en que hace aportes 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 que tengan potencial minero.

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

La óptica mediante la cual trabaja la Dirección de Laboratorios del Servicio Geológico Colombiano 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.

Asimismo, se ha contado con la participación de la Universidad Nacional de Colombia, sede Bogotá, mediante la suscripción del Convenio Especial de Colaboración 23 de 2017, y de manera específica, con la participación del Departamento de Geociencias y el Grupo de investigación "Caracterización tecnológica de minerales", reconocido por Colciencias y dirigido por el profesor Juan Carlos Molano, para la evaluación mineralógica, metalúrgica y ambiental de depósitos minerales en el país. Mediante el desarrollo de las actividades técnico-científicas previstas en el citado convenio se han logrado obtener resultados básicos para la comprensión de la metalogénesis de los depósitos minerales del área de estudio, con actividades fundamentales, como el muestreo en campo, preparación de muestras, análisis instrumentales e interpretación de resultados. Cabe destacar los resultados obtenidos mediante la implementación de técnicas tales como la espectrometría de infrarrojo, espectrometría Ramman, microsonda electrónica y microtermometría para el conocimiento de las inclusiones fluidas, que permiten dilucidar la paragénesis del depósito.

La presente guía se realiza con el fin de establecer las características mineralógicas de la zona minera de La Llanada y Andes Sotomayor (Nariño), con miras a deducir y comprobar los procesos y operaciones geometalúrgicos, para aprovechar de manera óptima el recurso aurífero sin usar mercurio, como un aporte fundamental a las buenas prácticas en minería que ayudarán a contar con un sector organizado, legítimo, incluyente y competitivo.

Panorámica del volcán Galeras, icono y referente geográfico del departamento de Nariño.  
Fotografía tomada por: Viviana Pérez / Servicio Geológico Colombiano

# 1. MARCO DE REFERENCIA





# 1.1. DESCRIPCIÓN DE LA SITUACIÓN ACTUAL

La riqueza y el potencial geológico – minero de la zona de La Llanada – Los Andes, históricamente ha llamado la atención de inversionistas, de los mineros locales y foráneos, y de la empresa minera. El Estado colombiano, a través de diferentes entidades gubernamentales como el Ministerio de Minas y Energía, ha hecho presencia en la zona con proyectos de asesoría y de apoyo directo a la comunidad de mineros, tales como: la construcción de plantas para oro de filón, la creación de empresas comercializadoras de oro, la donación de equipos de compresores para implementar la mecanización de la extracción del material de veta, la construcción de plantas de beneficio convencionales y la conformación de asociaciones y de cooperativas de mineros en la zona, entre otros. En los municipios de La Llanada y Los Andes, la explotación del oro actualmente se realiza a pequeña escala, y de forma comunitaria y sostenible.

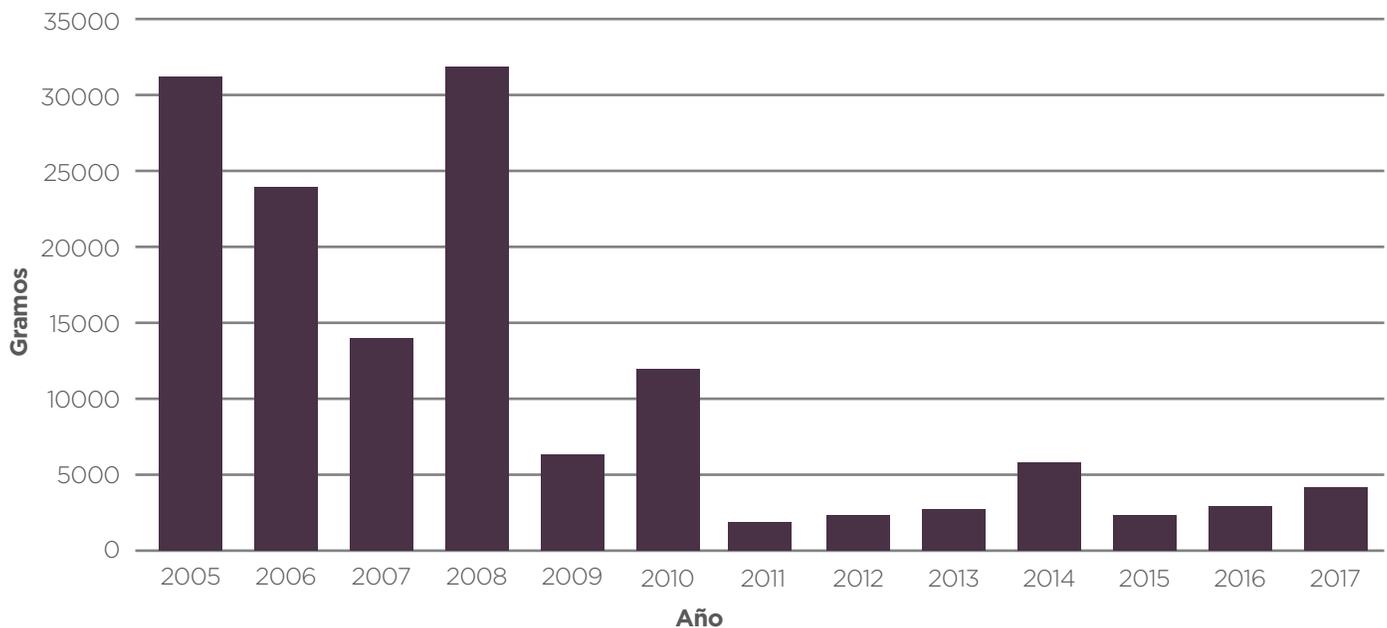
La minería en los tiempos modernos en el municipio de Los Andes comienza con el descubrimiento de la mina La Palmera por el Alemán Carlos Hiller en 1907. La mina La Redención fue hallada en 1930 por el señor Alejandro Rosales; en esa década se descubren otras minas como: La Risaralda, Carmelita, San Roque, Nueva Esparta, La Victoria, La María, La Camelia, El Colon; por lo general estas minas las encontraron personas del municipio de Los Andes que se asociaron con los mineros que venían desde Samaniego con mejores conocimientos técnicos para la exploración, explotación y beneficio del mineral. En la actualidad todas estas minas aún conservan sus nombres.

La época moderna se destaca por la entrada al departamento de Nariño de empresas extranjeras, que dieron lugar a la apertura de minas reconocidas, como La Concordia (Santa Cruz), El Canadá (La Llanada), El Tábano (Santa Cruz) San Rafael (Cumbitara); dados los volúmenes de producción, se llevaban los concentrados a fundición a la ciudad de Medellín. A partir del año 1945, la mayoría de las minas fueron abandonadas por la baja en los precios del oro.

Hoy día, tan solo en Los Andes – Sotomayor, hay 26 minas de oro legalizadas y la producción de oro en ese municipio ha sido variable durante los últimos doce años, tal como se muestra en la siguiente figura:

Figura 1.1: Producción de oro en andes-sotomayor.

Fuente: Tomado de Secretaría de asuntos agropecuarios y mineros Los Andes (Nariño), 2018.



En el municipio de La Llanada se sigue prácticamente un solo modelo hidrometalúrgico, el cual no incluye ni la amalgamación ni la cianuración para la extracción del oro. Esta extracción se hace solo por medios gravimétricos. Esto es así en la planta de La Cooperativa, localizada en la zona urbana y en los sectores de El Páramo (Los Hilos), El Cisne y La Palmera.

Es de anotar la aplicación del molino chileno en la región, el cual es un equipo versátil, además de ejercer la trituration secundaria y la molienda propiamente dicha. Este equipo se comporta como un concentrador del oro grueso presente en el material minado, pues el oro va quedando retenido en la pista por la que ruedan las masas trituradoras en el equipo.

El proceso de beneficio de oro, incluye:

- Proceso inicial de reducción del tamaño del material mediante trituradora de quijadas.
- Molienda con molino chileno.
- Concentración gravimétrica mediante canalones y mesa sacudidora.
- Los residuos o colas se llevan a desarenadores de piso. Al final del proceso los residuos o colas finales se disponen en los patios de relaves.

En el municipio de Los Andes-Sotomayor, en las plantas La Gualconda y de la Cooperativa de Sotomayor, se emplea la concentración gravimétrica y la cianuración, mas no la amalgamación. En la planta de la mina Nueva Esparta se aplica el proceso de carbón activado en la lixiviación. Las plantas localizadas en Loa Andes-Sotomayor tienen una capacidad de procesamiento entre 3 y 10 toneladas de material de mina por día.

Los mineros se encuentran organizados actualmente de la siguiente forma:

En el municipio de Los Andes, se han asociados en la Cooperativa de Mineros de los Andes que cuenta con 70 asociados, organización administrativa, infraestructura y equipos; la Asociación Agrominera localizada en corregimiento de Pangus, y que cuenta con 23 socios y en Asomircol (asociación por una minería responsable y comercio justo del suroccidente colombiano).

En el municipio de La Llanada los mineros se encuentran asociados a la cooperativa Coodmilla (cooperativa del distrito minero de La Llanada), que cuenta con 182 asociados, y de la cual hay que destacar que adelanta prácticas de minería tradicional y de pequeña escala, y en sus procesos de beneficio, no utiliza los procesos de amalgamación o de cianuración, por lo que ha obtenido, desde julio de 2015, la certificación fairmined en virtud de su procedimientos de beneficio limpios, social y ambientalmente responsables. Esta cooperativa también ha logrado varios reconocimientos de tipo empresarial a nivel nacional.

Tal como puede verse, los mineros de la región, en especial los asociados a Coodmilla, esencialmente utilizan métodos mecánicos y gravimétricos para la separación y beneficio de mineral aurífero. La ausencia de sustancias químicas en su proceso, reduce ostensiblemente el impacto sobre el medio ambiente. Los procesos actuales de beneficio, no obstante, requieren una mayor eficiencia tecnológica en la recuperación de oro, lo cual debería repercutir en mayores ingresos para el gremio, continuando con su actual propósito de causar la menor afectación posible al medio ambiente.



Fotografía 1: Molino chileno y canalones en planta de beneficio. Fuente: Propia.

Figura 1.2: Diagrama proceso de beneficio actual en La Llanada (Nariño).  
Fuente: Propia.

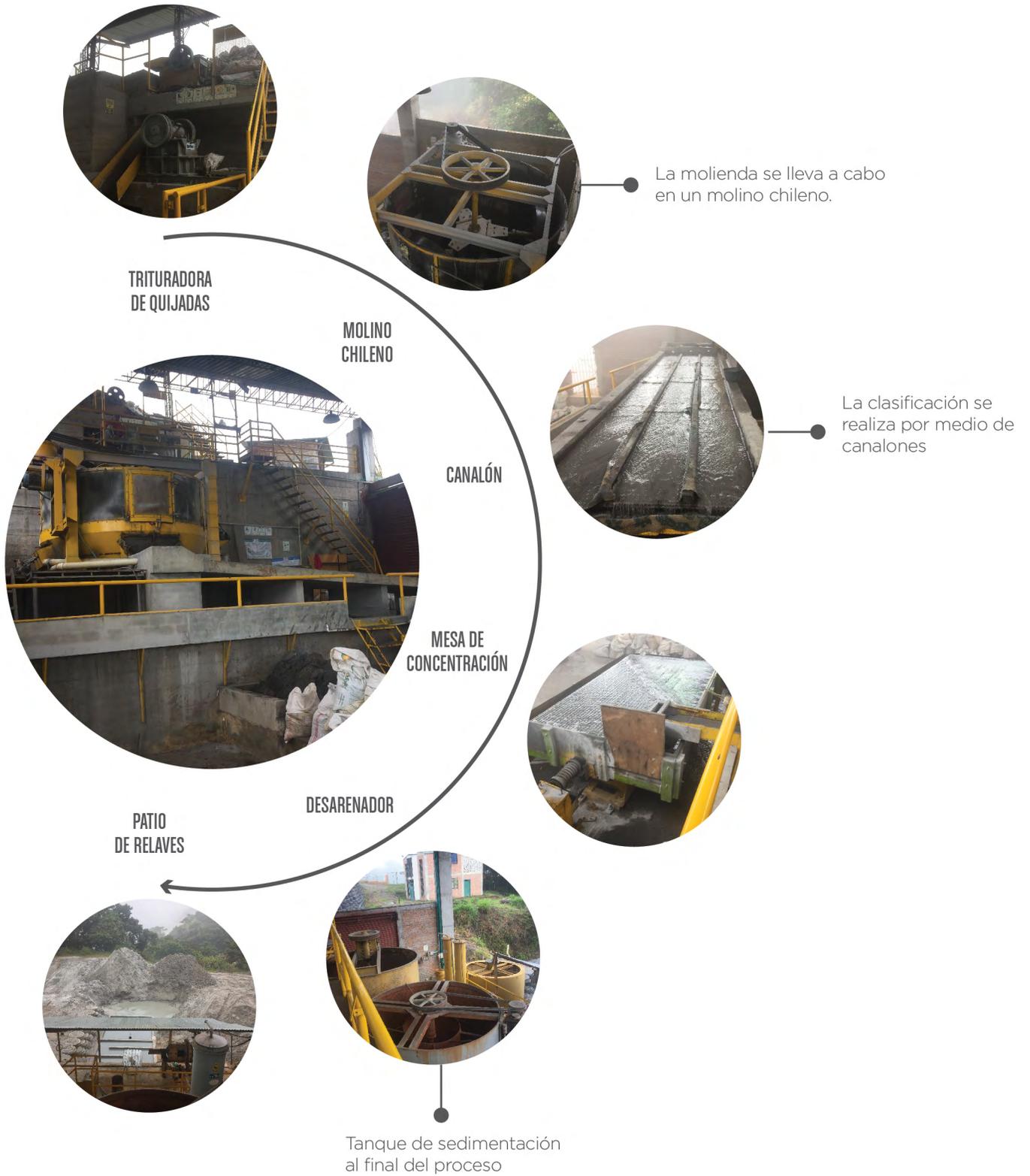
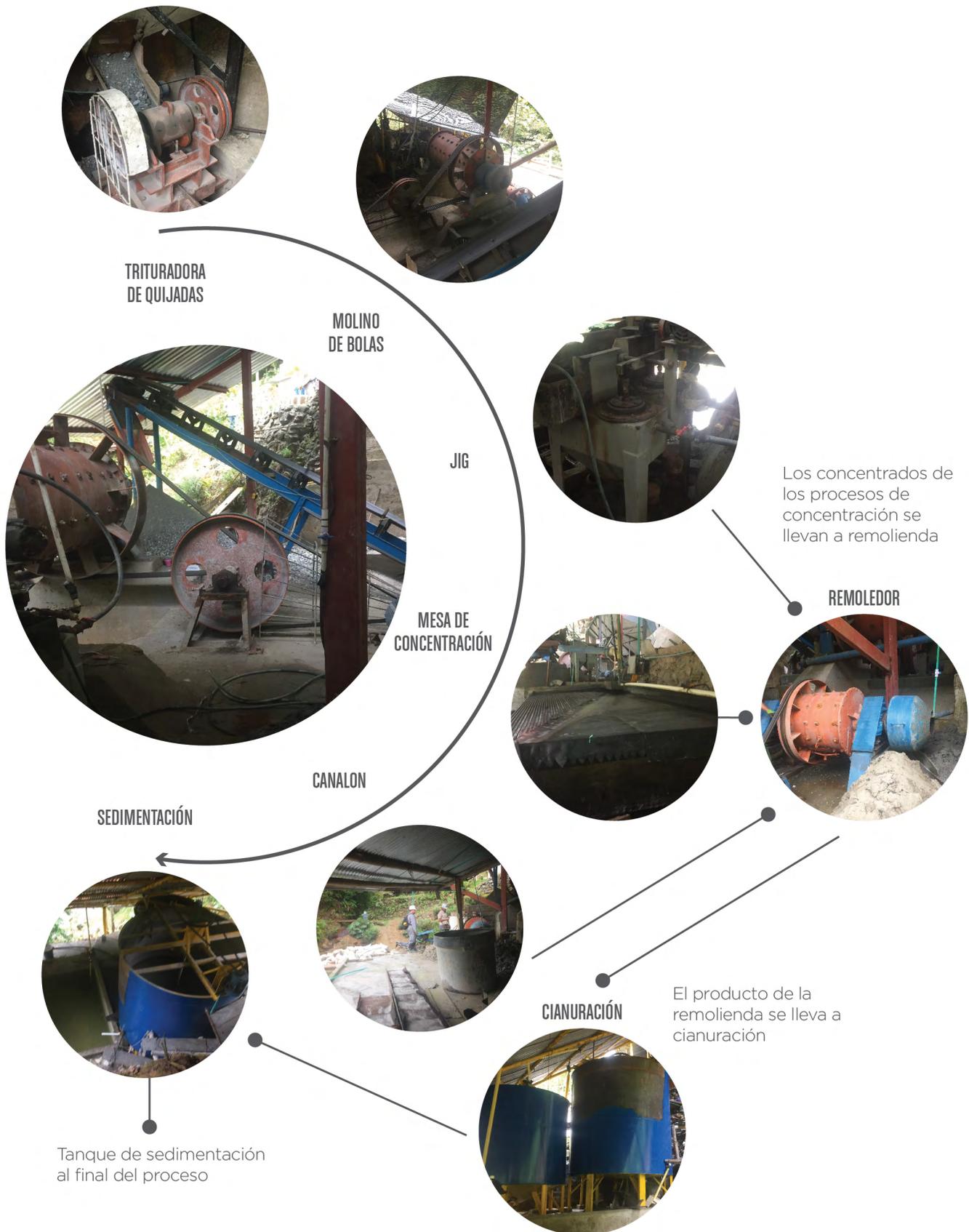


Figura 1.3: Diagrama proceso de beneficio actual en Los Andes Sotomayor (Nariño).  
Fuente: Propia.



## 1.2. DESCRIPCIÓN DE LA NECESIDAD



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

El Estado colombiano, atendiendo a un claro compromiso por la preservación de la salud humana y por 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 en la industria, ha venido adoptando un marco regulatorio cuyo propósito es cumplir con los mandatos y normas nacionales e internacionales orientados a la reducción y eliminación del uso del mercurio en la actividad industrial minera.

En el contexto expuesto, se expidió la Ley 1658 del 15 de julio de 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 cuyo alcance y propósito es la eliminación total del mercurio en el proceso de beneficio del oro, estableciendo un plazo máximo de cinco años, es decir, hasta el año 2018; esto se logrará mediante la implementación de tecnologías limpias para 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.

Como complemento a lo anterior, y bajo el liderazgo del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, en diciembre de 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; Transporte, y dos instituciones del sector de minas y energía: la 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 de 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, el sector minero, industrial, comercial, ambiental, el sector de la salud, del trabajo y la sociedad civil en general para cumplir con los compromisos nacionales e internacionales que han sido establecidos en este sentido. 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 de 2018, y en todos los procesos industriales y productivos con plazo a julio de 2023.

El Ministerio de Minas y Energía y sus entidades adscritas y vinculadas, entre ellas el Servicio Geológico Colombiano (SGC), han trabajado de manera coordinada en el diseño y 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.

En el marco del eje "Gestión del conocimiento-investigación aplicada" del "Plan estratégico sectorial para la eliminación del uso del mercurio en la actividad minera", cabe resaltar los siguientes objetivos específicos:

- Ampliar, masificar y promover el uso de tecnologías limpias para la pequeña minería.

- Apoyar proyectos de investigación que generen nuevas técnicas para la recuperación de oro sin uso de mercurio.
- Documentar experiencias exitosas en transferencia de tecnología que permitan la eliminación del uso de mercurio en los procesos de beneficio de oro, pues estos se enfocan en la promoción de nuevas alternativas para la producción más limpia del oro.
- Falta de conciencia sobre la problemática ambiental originada en el uso de mercurio, toda vez que realizan sus actividades mineras con limitada asistencia técnica y con poca planificación, lo que no permite mantener índices de productividad y de sostenibilidad adecuados. Esto de paso causa, 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. Esta problemática pone en riesgo la salud de la población, pues los vertimientos mezclados con sustancias contaminantes, como el mercurio, son descargados en las corrientes hídricas que surten a los acueductos regionales.

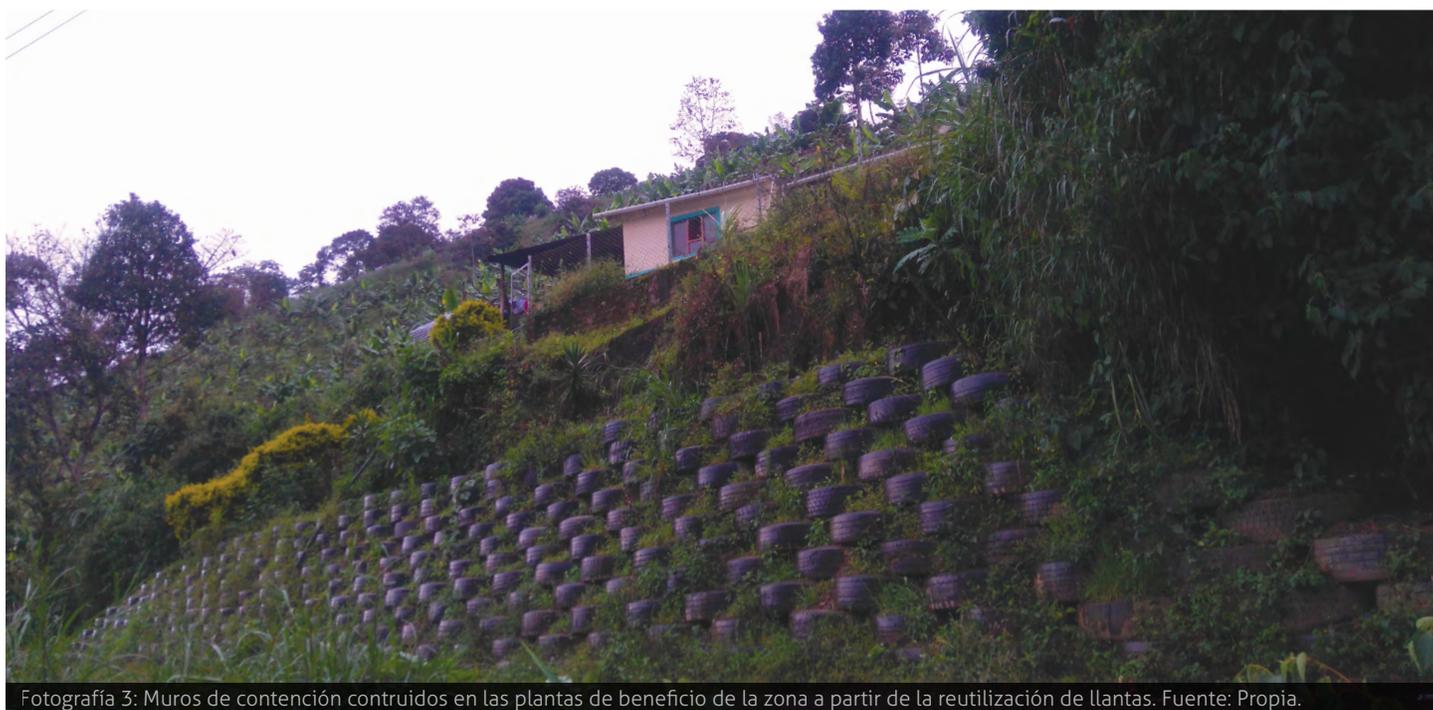
De igual forma, en el marco del eje “Educación y comunicación” del “Plan estratégico sectorial para la eliminación del uso del mercurio en la actividad minera” se busca que exista una concertación con las comunidades para producir el cambio partiendo de procesos de comprensión profunda relacionados con las temáticas técnicas. Para cumplir con ello, se destaca el siguiente objetivo específico, expresado en el Plan estratégico: “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 ya mencionados permiten formular y ejecutar proyectos que pueden aportar nueva información, valiosa y necesaria, para el entendimiento geometalúrgico y la optimización de los procesos de beneficio del oro sin utilizar mercurio. Esto es posible mediante la formulación e implementación de procesos verdes y ecoeficientes orientados a 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, es especial aquellas asociadas con el beneficio del oro en las zonas mineras existentes en el territorio nacional.

En el diagnóstico levantado en campo, en las unidades de beneficio aurífero de pequeña escala, que actualmente registra el Ministerio de Minas y Energía, se identificaron las principales fallencias en materia de eliminación de uso de mercurio en que incurren los mineros, entre las cuales se encuentran las siguientes:

- Desconocimiento de alternativas de tecnologías más limpias para recuperación del metal sin recurrir al mercurio.
- Desconocimiento científico, en particular acerca de las condiciones geoquímicas de los depósitos auríferos; las características geológicas, mineralógicas y metalogenéticas propias de cada una de las zonas y distritos auríferos del país, inclu-

**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, relacionados 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: Muros de contención contruidos en las plantas de beneficio de la zona a partir de la reutilización de llantas. Fuente: Propia.



Fotografía 4: Valla ubicada en la zona minera que incentiva las buenas prácticas mineras y el beneficio de oro sostenible. Fuente: Propia.

yendo su asociación mineral, su paragénesis y la reactividad de los diferentes minerales asociados al proceso de beneficio. Por ello, la falta de información impide generar una metodología de beneficio más eficiente y adecuada, lo cual actualmente puede generar menores ingresos a los mineros y causar un mayor impacto ambiental.

En este contexto, entre el Servicio Geológico Colombiano (SGC) y el Ministerio de Minas y Energía (MME) se suscribió el Convenio Interadministrativo GGC n.º 311 de 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 el procesamiento de minerales y su control ambiental que permitan mejorar la recuperación del oro sin el uso de mercurio".

Dadas las razones antes expuestas, el Ministerio de Minas y Energía ha reconocido la necesidad de fomentar alternativas tecnológicas de producción más limpia para los procesos de beneficio de oro que conduzcan a la eliminación del uso de mercurio en zonas mineras de producción activa. Para ello se requiere del conocimiento especializado de entidades y grupos de investigación reconocidos, y se estima que el Servicio Geológico Colombiano, junto con algunas universidades, son las instituciones idóneas para dar cumplimiento a los objetivos de este proyecto. Se propone, por tanto, la realización de dicho proyecto para generar conocimiento científico y tecnológico aplicado al mejoramiento productivo del beneficio de oro con tecnologías de producción más limpias, que prescindan del 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 valiosa información será compartida y socializada directamente con la comunidad minera para motivar su aplicación e implementación, lo que permitirá 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 Servicio Geológico Colombiano suscribieron el convenio interadministrativo GGC n.º 311 de 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 La Llanada y Andes Sotomayor (Nariño), con el fin de generar conocimiento geometalúrgico que permita la recuperación de oro sin el uso de mercurio, para procurar 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 La Llanada y Andes Sotomayor (Nariño) haciendo énfasis en zonas y estructuras mineralizadas y de extracción activa, para lo cual se recogerá información de dichas estructuras, se medirán datos estructurales y se tomarán 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, con base en la información de caracterización del depósito, proponer una ruta metalúrgica adecuada para el procesamiento y 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 sobre el medio ambiente.
5. Elaborar la guía metodológica para el mejoramiento productivo, económico y ambiental del beneficio del oro sin recurrir al uso de mercurio en la zona minera de La Llanada y Andes Sotomayor (Nariño).
6. Definir la viabilidad financiera y económica de la implementación de la propuesta de uso de tecnologías limpias para sustituir el mercurio en el proceso de beneficio de oro en la zona minera de La Llanada y Andes Sotomayor (Nariño).

## 1.4. ALCANCE

La *guía metodológica* propone procesos de producción más limpia, sin uso de mercurio, mediante 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, metalogenético, mineralógico, metalúrgico y físico-químico de los depósitos minerales que son aprovechados por las unidades de beneficio de la zona minera de La Llanada y Andes Sotomayor (Nariño) y la aplicación de este conocimiento en los procesos de beneficio del oro y la disminución del impacto sobre el medio ambiente. No obstante, se tendrán en cuenta los procesos metalúrgicos y operaciones unitarias utilizados actualmente por los mineros de la región, para finalmente proponer una ruta metalúrgica que permita un mejoramiento de los procesos productivos sin el uso de mercurio.

La guía comprenderá ocho 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.

Toma de muestras en la quebrada El Cedro, zona minera de La Llanada y Andes Sotomayor (Nariño)  
Fotografía tomada por: Jorge Iván Londoño / Servicio Geológico Colombiano

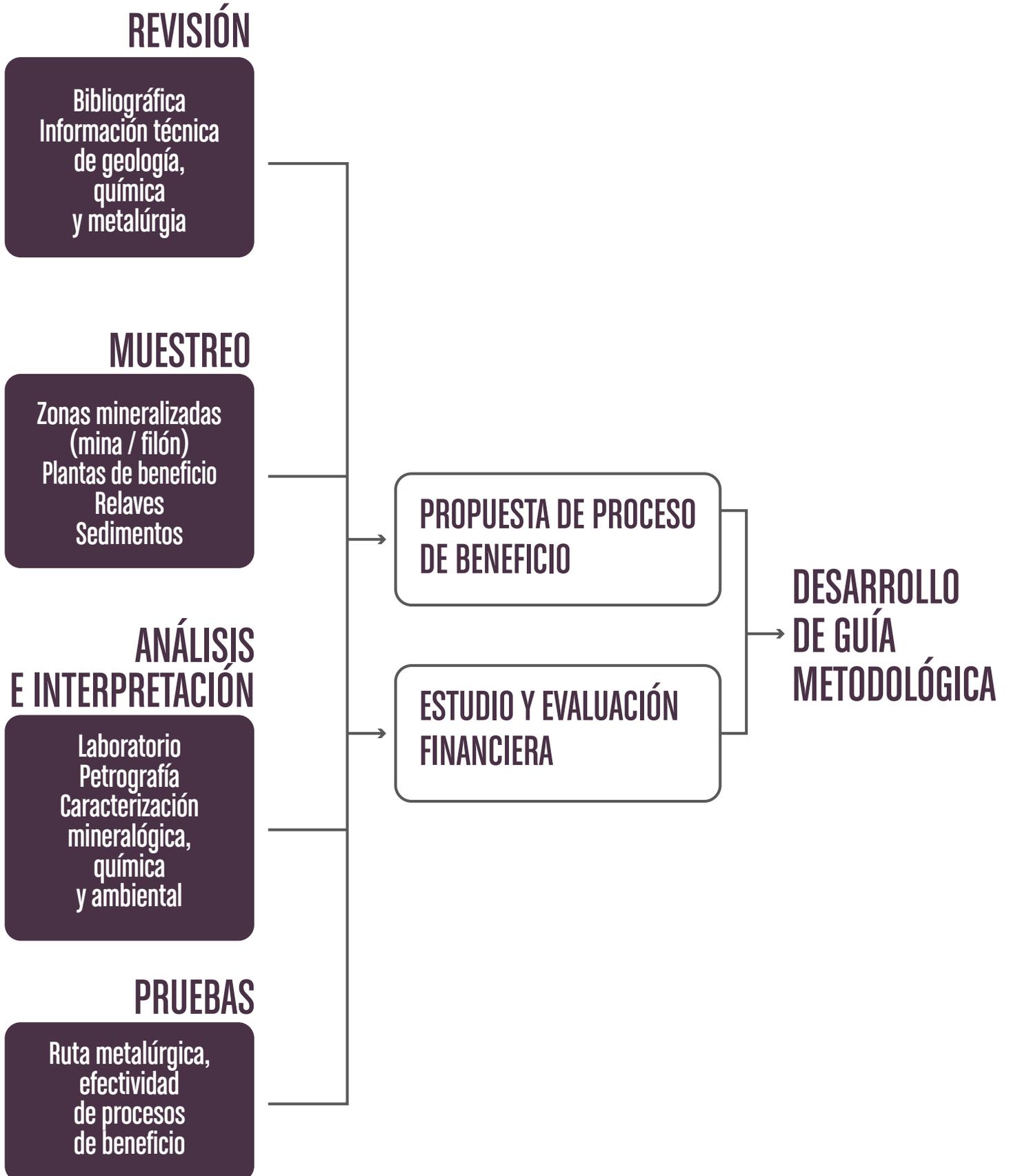
## 2. METODOLOGÍA DE TRABAJO





## 2. METODOLOGÍA DE TRABAJO

Figura 2.1: Diagrama metodología de trabajo  
Fuente: Propia.



## 2.1. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

El primer paso en la metodología de trabajo consiste en seleccionar la zona minera que se va 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 estudiada. Este proceso tiene como propósito adquirir bases de conocimiento para realizar el trabajo de campo y el respectivo muestreo.

## 2.2. MUESTREO

Una vez se adelantaron las diligencias institucionales correspondientes se realizaron varias jornadas de campo para adelantar el trabajo de reconocimiento geológico de la zona, revisión de los procesos de beneficio de oro y 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: este proceso tiene por objeto identificar los posibles elementos que están pasando al medio ambiente luego de la finalización del proceso de beneficio.

## 2.3. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN

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

Los procedimientos analíticos aplicados fueron los siguientes:

### 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 micrones (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 micrones 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 micrones. Posteriormente este concentrado se pulió y se brilló para someterlo a un análisis petrográfico y metalográfico.

### ANÁLISIS QUÍMICOS ELEMENTALES:

- Ensayo al fuego: análisis de oro y plata por fundición de 30 gramos 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 de elementos por fluorescencia de rayos X.

### 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 que se aplicaría.

### PROPUESTA RUTA METALÚRGICA

Se definió una ruta metalúrgica adecuada para el proceso de beneficio de oro optimizando todos los parámetros tecnológicos, que resultara beneficiosa en términos económicos para los mineros y que implicara la eliminación del mercurio en el proceso productivo.

Las nubes se abren paso por la Cordillera Occidental, en la cual se encuentran ubicados los municipios de La Llanada y Los Andes Sotomayor.  
Fotografía tomada por: Verónica Ruíz / Servicio Geológico Colombiano

### **3. CARACTERÍSTICAS DE LA ZONA DE ESTUDIO**

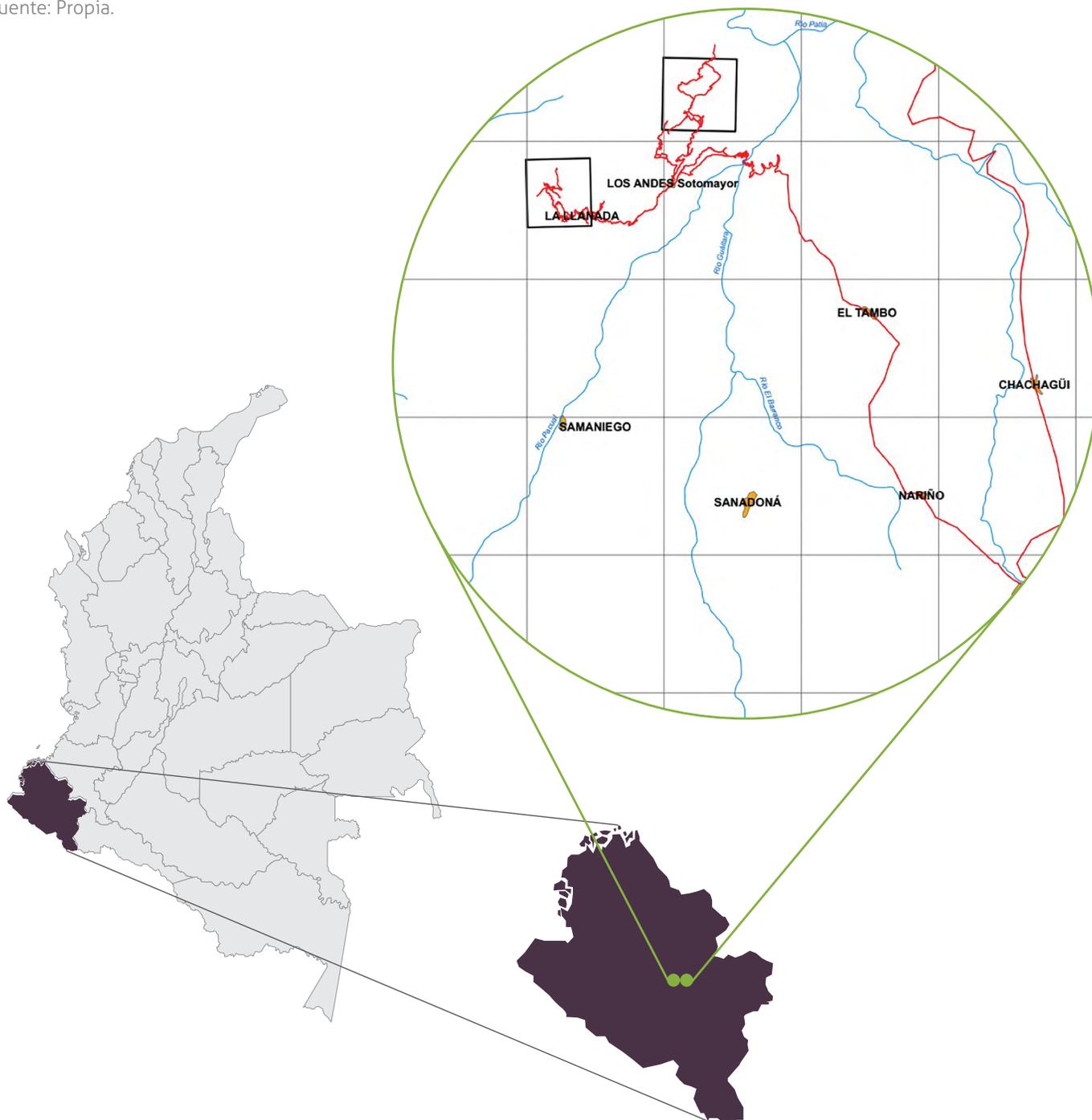
Conocer las generalidades de la zona de estudio nos permite tener una referencia sobre la localización geográfica y un acercamiento a los aspectos económicos y sociales que se desarrollan en los municipios estudiados.



### 3.1. LOCALIZACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO

La zona minera se localiza en el flanco oriental de la Cordillera Occidental, sobre la vertiente del río Pacual, afluente del río Guaitara, localizado hacia la parte central del departamento de Nariño, en jurisdicción de los municipios de La Llanada y Los Andes Sotomayor.

Figura 3.1: Ubicación Geográfica de los municipios de La Llanada y Andes Sotomayor (Nariño)  
Fuente: Propia.



## 3.1.1. MUNICIPIO DE LA LLANADA

### LOCALIZACIÓN

**Latitud norte:** 1° 28' 25"  
**Longitud oeste:** 77° 34' 48"

### EXTENSIÓN TOTAL

**265 km<sup>2</sup>**

### ALTITUD ZONA URBANA

**2300 msnm**

### TEMPERATURA PROMEDIO

**15 °C**

### LÍMITES

**Oriente:** con Linares (Nariño).  
**Norte:** con Andes Sotomayor (Nariño).  
**Occidente:** con Barbacoas (Nariño).  
**Sur:** con Samaniego (Nariño).

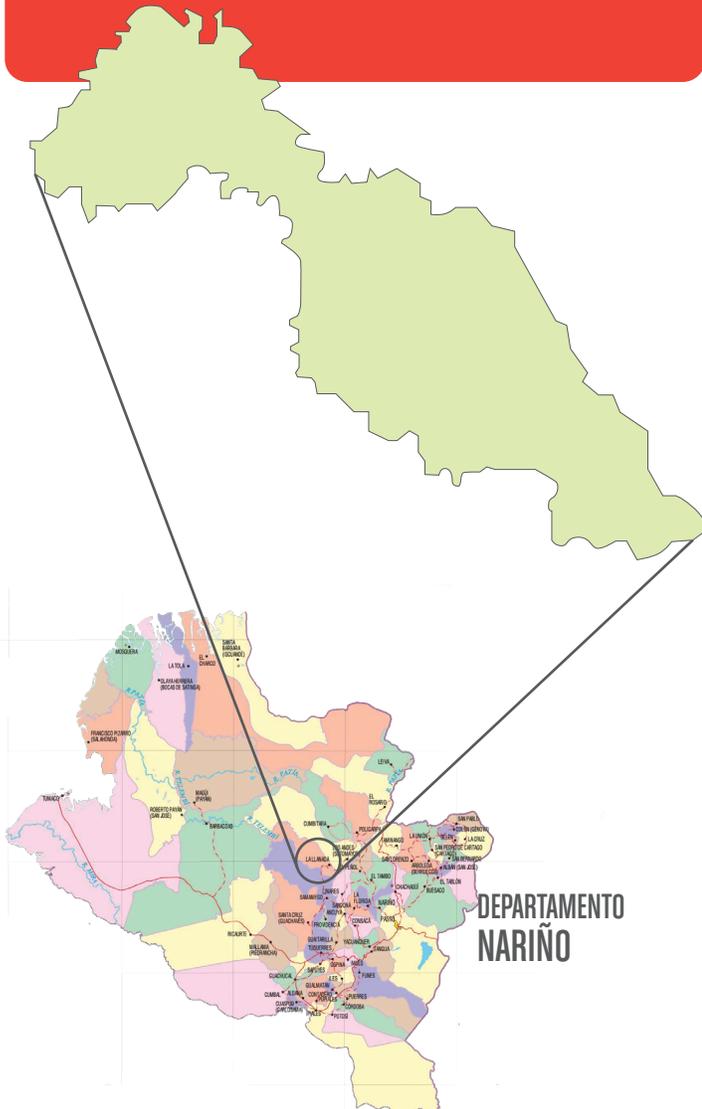
**Economía:** los principales sectores productivos en el municipio son, el agrícola, el minero y el sector comercial. Debido a su variedad climática, se presentan cultivos de tipo permanente, semipermanente y transitorio, destacándose los cultivos de café, yuca, plátano, caña panelera y maíz. En el sector minero se presenta una alta potencialidad en la minería aurífera, con explotaciones de pequeña minería de filón. Se estima que al menos la mitad de la población del municipio depende económicamente de las actividades de minería de oro. Las producciones promedio de oro, al año, se han estimado en 1.820 onzas ([www.lallanada-nariño.gov.co](http://www.lallanada-nariño.gov.co)). En el sector terciario se presentan establecimientos comerciales de venta de víveres y abarrotes en el sector urbano y rural.

**Ecología:** el relieve en el territorio de La Llanada es principalmente montañoso y quebrado. Se presentan zonas de media y alta montaña. En el sector cordillerano se presenta vegetación arbustiva de páramo y de subpáramo, y con nacimiento de numerosas quebradas. En este territorio se encuentran diferentes unidades fisiográficas con clima variable (desde cálido hasta frío). Hacia la parte baja del territorio se presentan bosques naturales poco intervenidos, con presencia de diferentes especies de fauna y de flora.

**Hidrografía:** el territorio se encuentra irrigado por un amplio sistema hidrográfico y una compleja red de drenaje que tributan sus aguas al océano Pacífico; se destacan las quebradas El Purgatorio, Canadá, El Cedro y Cantagua; así como los ríos Telembí y Sumbiambí; tributarios del río Patía.

**Habitantes según DANE:** en 2015 el municipio contaba con 16.892 habitantes en total; 845 ubicados en la cabecera municipal y 16.047, en las demás zonas del municipio.

Se estima que al menos la mitad de la población del municipio depende económicamente de forma directa o indirecta, de las actividades de minería de oro.



## 3.1.2. MUNICIPIO DE LOS ANDES SOTOMAYOR

### LOCALIZACIÓN

**Latitud norte:** 1° 29' 36"  
**Longitud oeste:** 77° 31' 17"

### EXTENSIÓN TOTAL

**809 km<sup>2</sup>**

### ALTITUD ZONA URBANA

**1588 msnm**

### TEMPERATURA PROMEDIO

**22 °C**

### LÍMITES

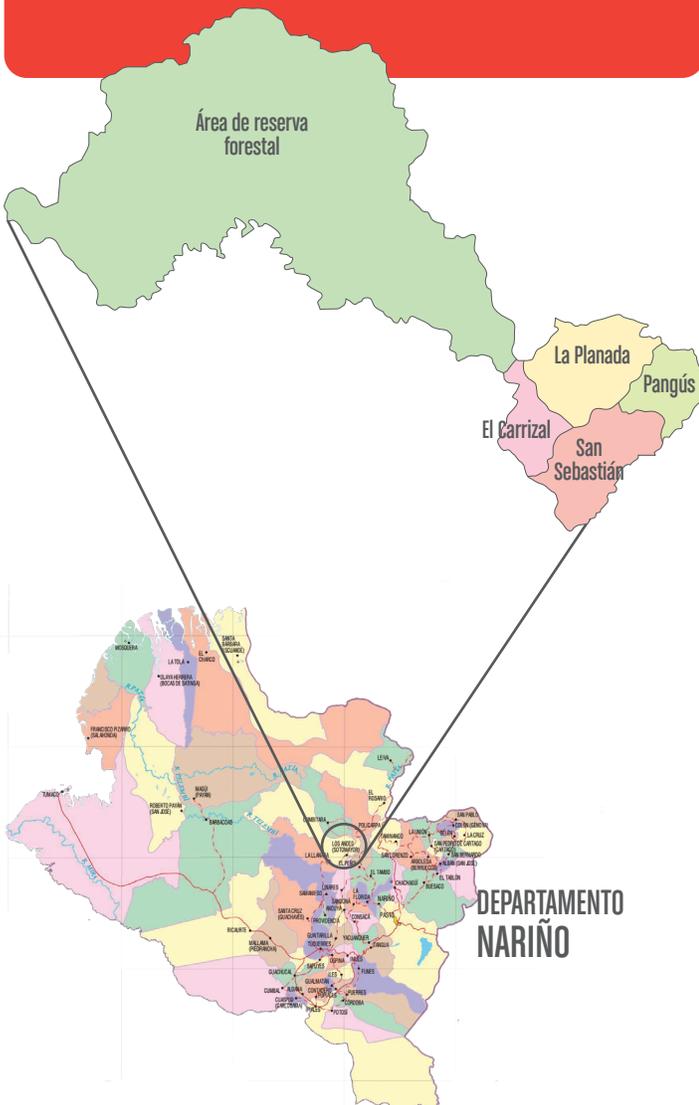
**Oriente:** con Linares y el Peñol (Nariño).  
**Norte:** con Cumbitara y Policarpa (Nariño).  
**Occidente:** con Barbacoas (Nariño).  
**Sur:** con La Llanada (Nariño).

**Economía:** las actividades económicas más representativas que se adelantan en el municipio de Los Andes son la agricultura, la minería de oro de filón y de aluvión, la ganadería y el comercio formal.

**Ecología:** en el municipio se pueden distinguir tres zonas geográficas con relieves diferenciados: la zona alta montaña, caracterizada por las altas pendientes y por ser zona de recarga hídrica y nacimientos de quebradas; la región central caracterizada por la presencia de montañas y de colinas, con valles profundos y estrechos, y la región occidental del municipio, conformada por la llanura del pacífico, caracterizada a su vez, por la presencia de bosques y por su alta pluviosidad. En casi todo el territorio del municipio predominan las altas pendientes mayores al 50%, características de zonas de peñascos y cañones profundos en el entorno de las cuencas, subcuencas y microcuencas de los ríos Patía, Guáitara y Pacual. En el municipio de Los Andes se presenta clima desde cálido hasta frío, por lo que hay gran variedad de especies vegetales y animales, que soportan alta presión por acciones antrópicas tales como la deforestación no controlada de especies vegetales maderables. Dentro de la lista de las especies animales que se presentan, se pueden destacar la avifauna de gavilanes, águilas, pavas, cóndores, etc., también hay presencia mamíferos tales como venados, tigrillos, dantas, conejos silvestres, zorros, entre otros. Las especies vegetales de la zona más reconocidas son: encino, arrayán, cedro, iraca, cedrillo, palma de cera, uña de gato, siete cueros, cuangare, sande, virola, chanul, anime, peinemono, chaquiro y caimito, etc.

**Hidrografía:** la región geográfica correspondiente al municipio se encuentra irrigada por una amplia red de drenaje; este sistema está irrigado por dos vertientes que tributan sus aguas al océano Pacífico: la primera vertiente de los ríos Cuembí y Sambiambí y la segunda vertiente de los ríos Guáitara-Patía-Pacual, que a su vez reciben las aguas de las quebradas Honda, El Limonar, Piscuyaco y Dosquebradas. Los caudales de estos afluentes han disminuido notablemente por acciones de tipo antrópico.

**Habitantes según DANE:** en 2015 la población total del municipio de Andes se estimaba en 19.414 habitantes, 7.662 ubicados en la cabecera municipal y el restante, 11.752, en las demás zonas del municipio.



### 3.1.3. VÍAS DE ACCESO

La principal vía de acceso es la carretera Pasto-el Tambo-Sotomayor, en dirección norte que bordea el volcán Galeras y se encuentra pavimentada hasta el Peñol. Una vía alterna es la carretera panamericana y en la población de Tablón de Gómez se toma el carretable que conduce a Sotomayor a través del cañon del río Guáitara. Desde Sotomayor se puede acceder a la cabecera municipal de La Llanada o tomar la vía Pasto-Samaniego- La Llanada.

### 3.1.4. UBICACIÓN GEOGRÁFICA DE LAS MINAS Y PLANTAS DE BENEFICIO

Las minas y plantas de beneficio que fueron visitadas se encuentran ubicadas en los municipios de La Llanada y los Andes (Sotomayor). En La Llanada se encuentran concentradas en la zona del Canada y en la Vereda La Palma, mientras que en el Municipio de Andes la actividad minera se concentra en las veredas de Sotomayor, el sector de La Reforma, y en las veredas Chamizal y Los Guaros.

En el municipio de La Llanada se visitaron numerosas bocaminas pertenecientes a las minas El Canada, mina El Páramo y mina El Cisne para el municipio de Andes (Sotomayor), las minas San Judas, mina La Golondrina y mina La Gualconda, adicionalmente se colectaron muestras de roca en diferentes sitios de la zona minera con el objeto de complementar la información geológica disponible.

Figura 3.2: Mapa de localización de minas visitadas.

Fuente: Propia.

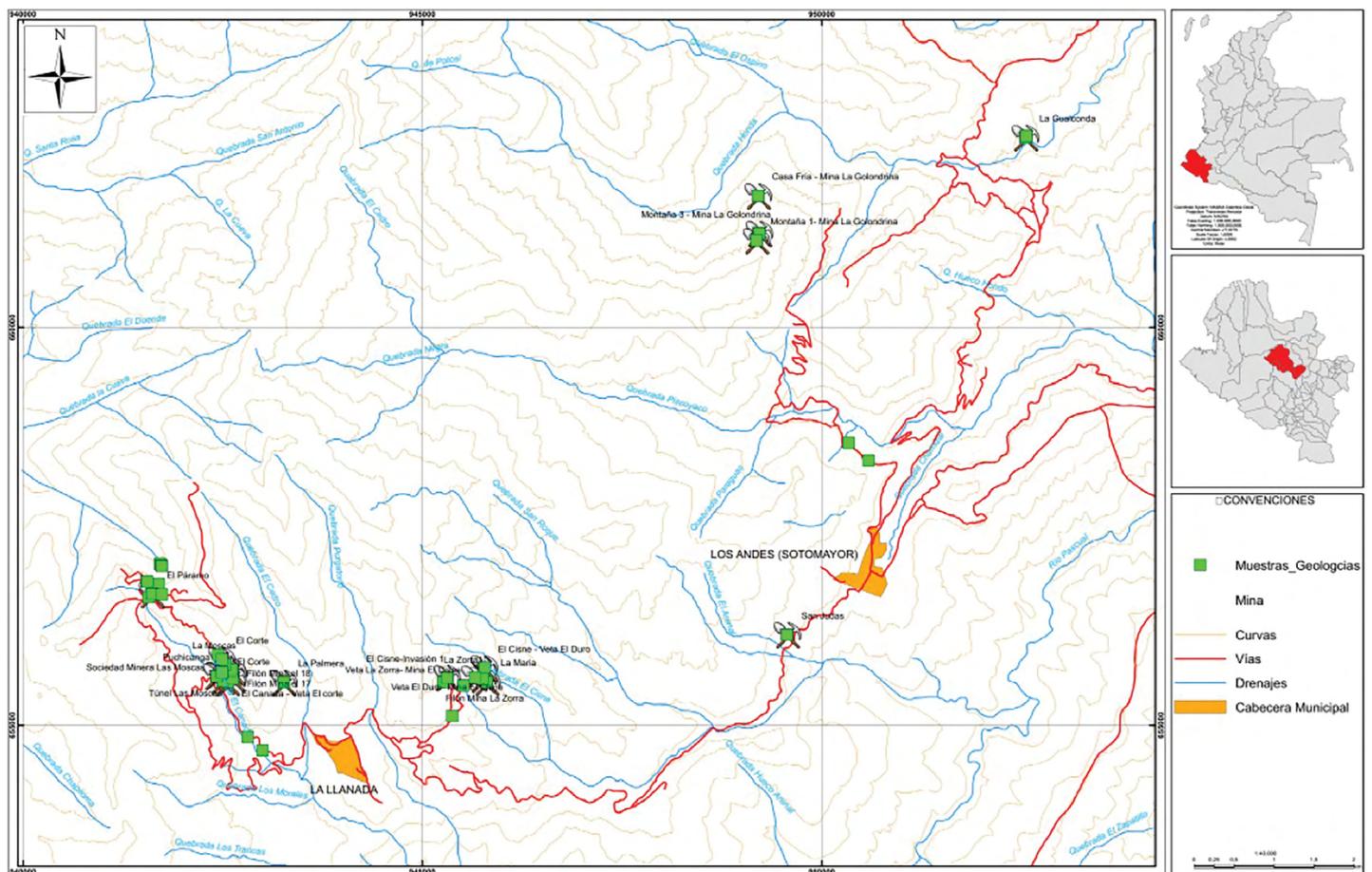
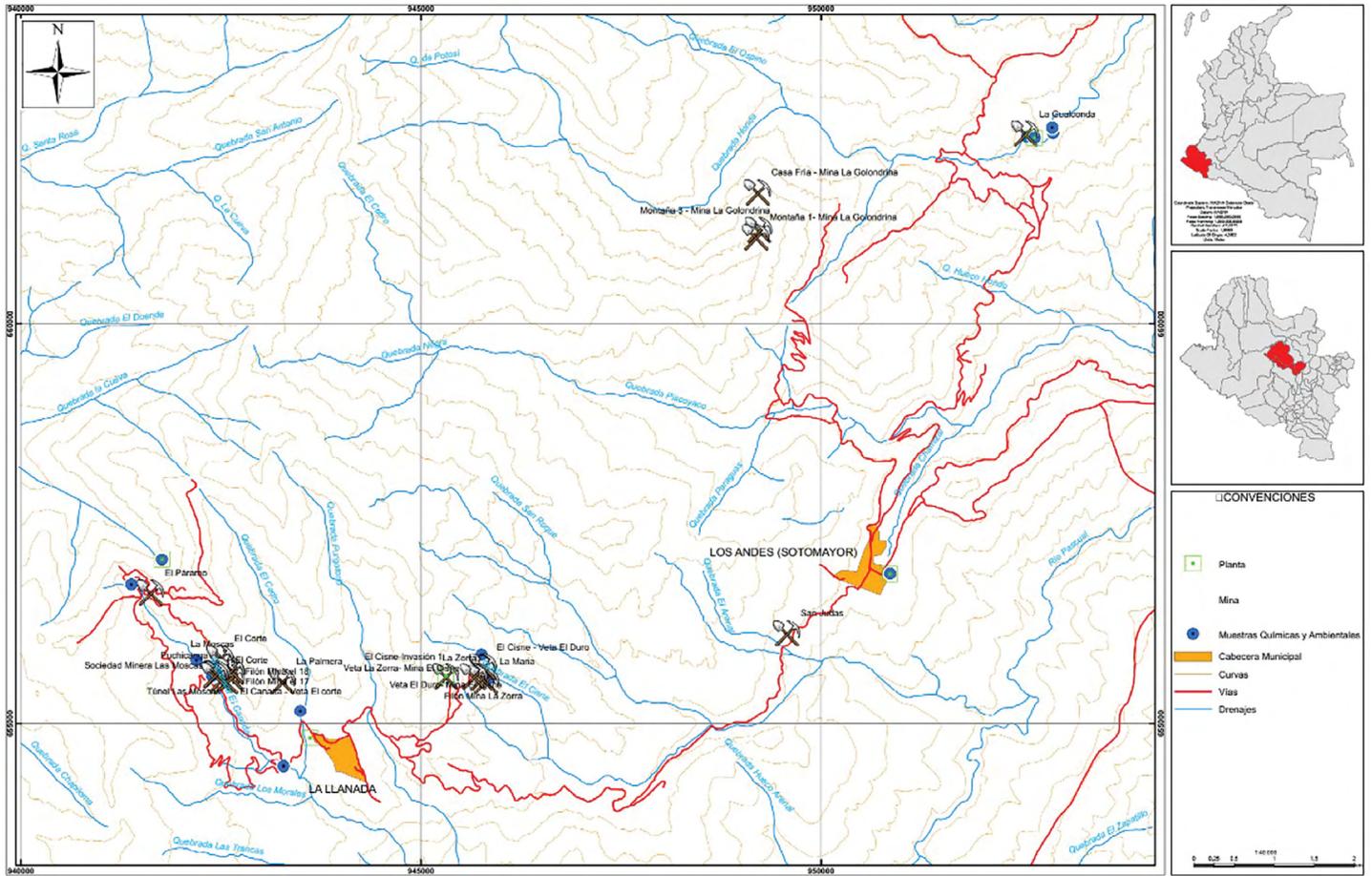


Figura 3.3: Mapa de localización de plantas de beneficio visitadas.  
Fuente: Propia.



Vista en microscopio ocurrencia de oro en la zona minera de La Llanada y Los Andes Sotomayor.  
Oro asociado a pirrotina.

pirrotina (Po) —————●

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 la formación de estos, 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, característico de la zona estudiada. El capítulo pretende describir características mineralógicas obtenidas a partir de análisis petrográficos, de metalografía, análisis por microsonda electrónica (EPMA), espectroscopía infrarroja, espectrometría Raman y microtermometría de inclusiones fluidas que brindan información importante acerca de los procesos que condujeron a la formación de los minerales encontrados y que a su vez facilitarán 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. Ellas son:

**Corteza.** Es la capa más externa de la Tierra, y en ella se encuentran concentrados los yacimientos minerales. Tiene una profundidad que oscila entre los 20 y 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, y está compuesta principalmente por rocas básicas y ultrabásicas. La corteza en general está formada esencialmente por rocas y minerales silicatados y elementos litófilos (con afinidad por el oxígeno).

**Manto.** Es la capa intermedia. Está comprendida entre los 70 y 2900 km de profundidad. En esta capa, que generalmente se subdivide en corteza inferior y corteza superior, por la dinámica de las corrientes de convección, se origina el movimiento de las placas tectónicas que se da en los límites del manto superior (astenosfera) y la litósfera.

**Núcleo.** Es la parte interna de la Tierra. Tiene una profundidad de 2900 a 6000 km. En la parte interna se cree que está formado por minerales metálicos siderófilos, como el níquel y el hierro.

La corteza se compone de placas o fragmentos móviles individuales, más o menos rígidos, que se desplazan e interactúan entre ellos, y que se conocen como placas tectónicas.

En la dinámica terrestre se crea y se destruye corteza continuamente. La creación o formación de corteza se produce en los límites divergentes de las placas tectónicas (dorsales oceánicas y rifts continentales). 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 YACIMIENTOS AURÍFEROS.

Un yacimiento mineral es la acumulación en superficie, o cerca de ella, de compuestos metálicos o no metálicos que, debido a su extensión, disposición o enriquecimiento, pueden recuperarse con beneficio económico. El oro es un metal precioso de color amarillo, brillo metálico, denso (19.3 g/cc) y blando (2.5-3 Mohs), muy apreciado por su belleza, utilidad y escasez; no se oxida ni pierde su lustre. Entre los metales conocidos, se lo considera el más dúctil y maleable.

Desde el punto de vista de la geoquímica, se considera que el oro es un elemento con escasa o nula movilidad química, que 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.

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 la plata (Ag), el arsénico (As), antimonio (Sb), mercurio (Hg), selenio (Se) y telurio (Te). 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 el territorio colombiano, o que tienen potencial en el país, dada la diversidad de ambientes de formación de yacimientos que se presentan:

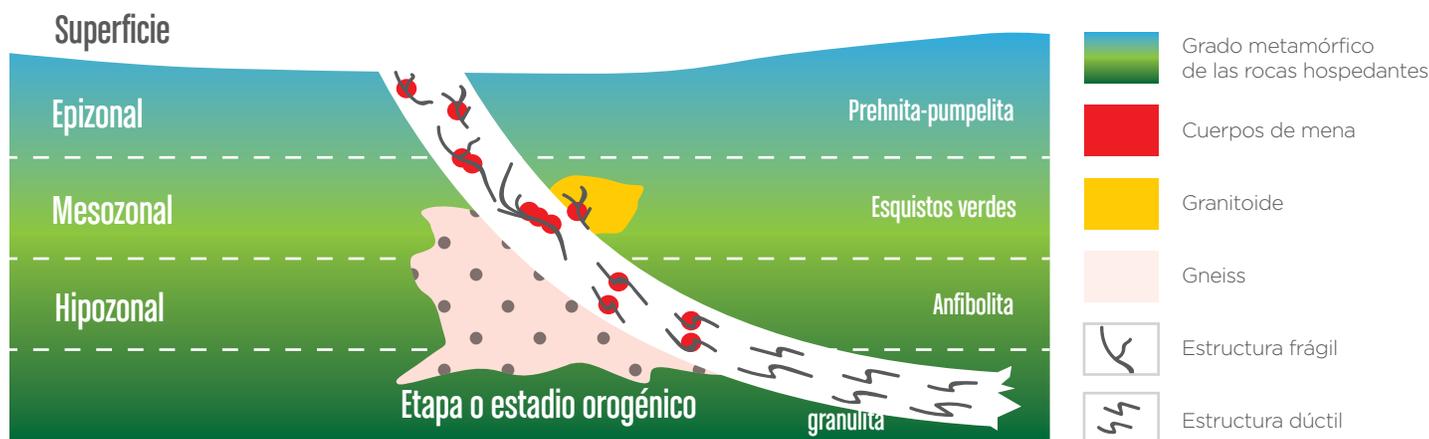
- **Depósitos epitermales.** En este tipo de depósitos la mineralización de metales preciosos y de sulfuros asociados se produce a partir de fluidos hidrotermales calientes cargados de metales que precipitan en las fracturas y fallas de las rocas

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 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 escala mundial como depósitos epitermales de alta sulfuración Yanacocha (Perú) y El Indio (Chile); como depósitos de baja sulfuración se destaca Guanajuato (México). En Colombia, el depósito de Angostura, en la provincia minera de Ventas-California, corresponde al tipo epitermal de alta sulfuración, y en general los depósitos epitermales relacionados con cuerpos intrusivos e hipoabisales del Cenozoico, son considerados 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 gramos por tonelada) y alto tonelaje, en los que ocurren eventos mineralizantes asociados a alteración hidrotermal (alteración potásica, alteración fílica y alteración 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 escala mundial pueden citarse como ejemplos el depósito de Bajo la Alumbrera (Argentina); La Coipa, cerro Casale y Marte/Lobo (norte de Chile) y Panguna (Papúa Nueva Guinea). De 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 mesooceánicas. En ellos, 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 orogénicos de oro.** Son depósitos auríferos formados en zonas de fractura o de cizalla, que se producen por el transporte de metales en fluidos de origen metamórfico. Las condiciones de formación corresponden a ambientes sometidos a grandes esfuerzos tectónicos, como lo que se dan en cadenas montañosas en crecimiento y deformación. El depósito orogénico consiste de numerosas venas de cuarzo en relleno de fracturas, con contenidos bajos de sulfuros, dispuestos generalmente en bandas, y con contenidos variables de Sb, Bi, Te y Hg. La arsenopirita es el sulfuro dominante, mientras que la pirita o la pirrotina se encuentran subordinados; el oro se encuentra asociado con estos sulfuros. Los filones pueden tener extensiones de varios kilómetros y se distribuyen según la disposición estructural de las rocas hospedantes. En Colombia pueden citarse como ejemplos, de depósito tipo oro orogénico, la zona minera de Amalfi (Antioquia), la mina El Vapor (Puerto Berrío, Antioquia) y la zona minera de Segovia (Antioquia), en la cordillera Central; de igual manera, en este trabajo, se reconoce que el yacimiento aurífero de la mina El Canadá, en La Llanada (Nariño), podría corresponder con un depósito mesozonal, tipo orogénico.
- **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. En Colombia los placeres auríferos recientes son

Figura 4.1: Depósitos orogénicos y los períodos geológicos.

Fuente: Modificado de Goldfarb et al., (2001).

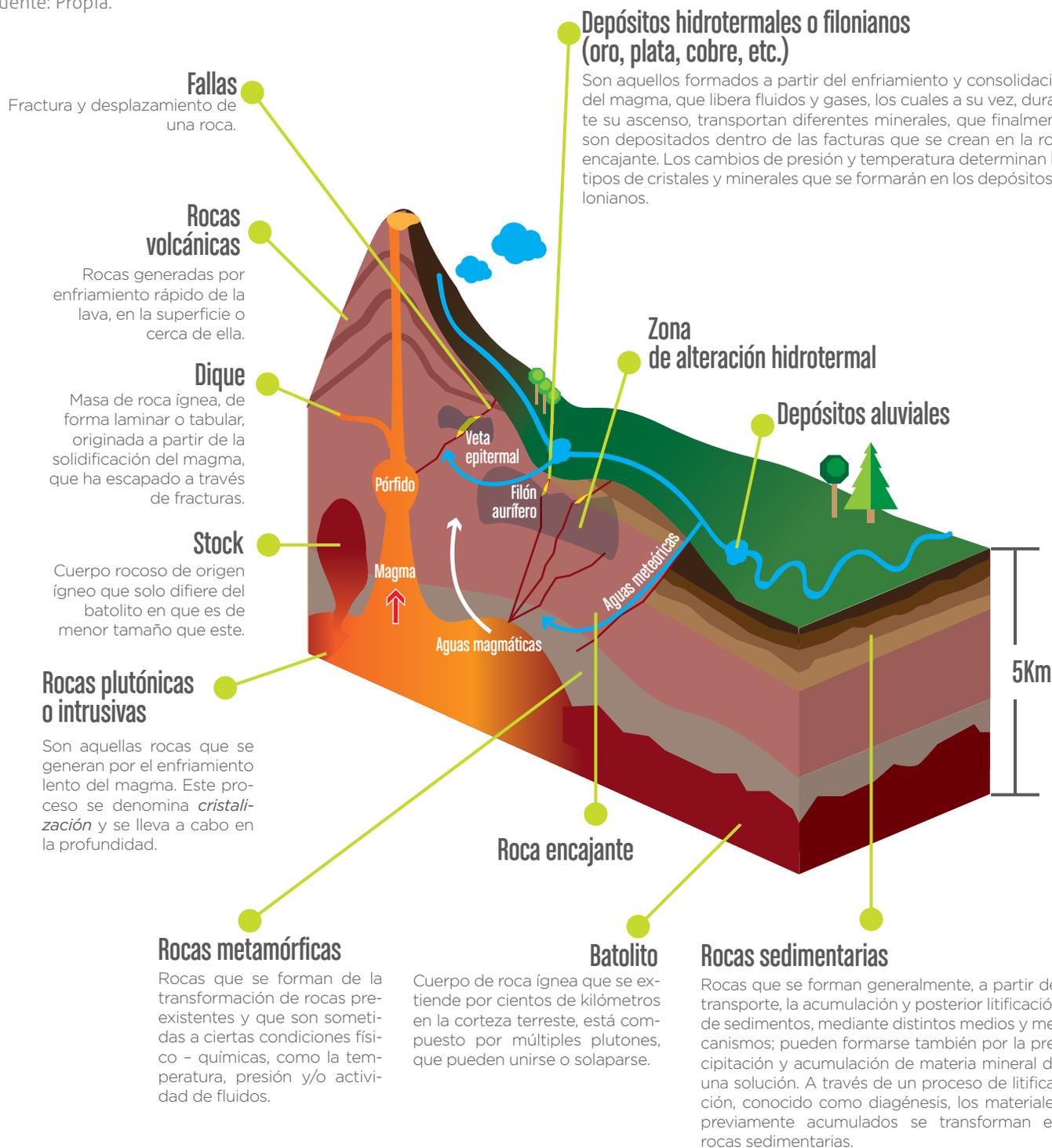


muy importantes en la producción de oro. Se destacan los distritos mineros del Bagre (Antioquia), bajo Cauca-Nechí; las cuencas de los ríos San Juan y Atrato (Chocó); río Naya (Valle del Cauca) y Ataco (Tolima), entre otros. Los paleoplaceres son depósitos de placer auríferos antiguos que fueron depositados en ambientes sedimentarios fluviales a 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 depósitos.** De acuerdo con la importancia o el potencial para Colombia, se puede destacar potencialidad en depósitos tipo skarn auríferos, en los que se presenta emplazamiento de plutones o de cuerpos intrusivos en rocas sedimentarias carbonatadas, donde se produce metamorfismo de contacto, metasomatismo y acumulación de depósitos de metales (sulfuros de cobre, plomo y zinc; magnetita, molibdenita y oro como subproducto). En Colombia se destaca como un área potencial Mina Vieja y El Sapo (Tolima), asociada con las calizas de la formación Payandé.

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 que han sido clasificados según la profundidad, las condiciones de presión y la temperatura como hipotermales (los más profundos), mesotermales (los intermedios) y epitermales (los más someros) (Lindgren, 1933).

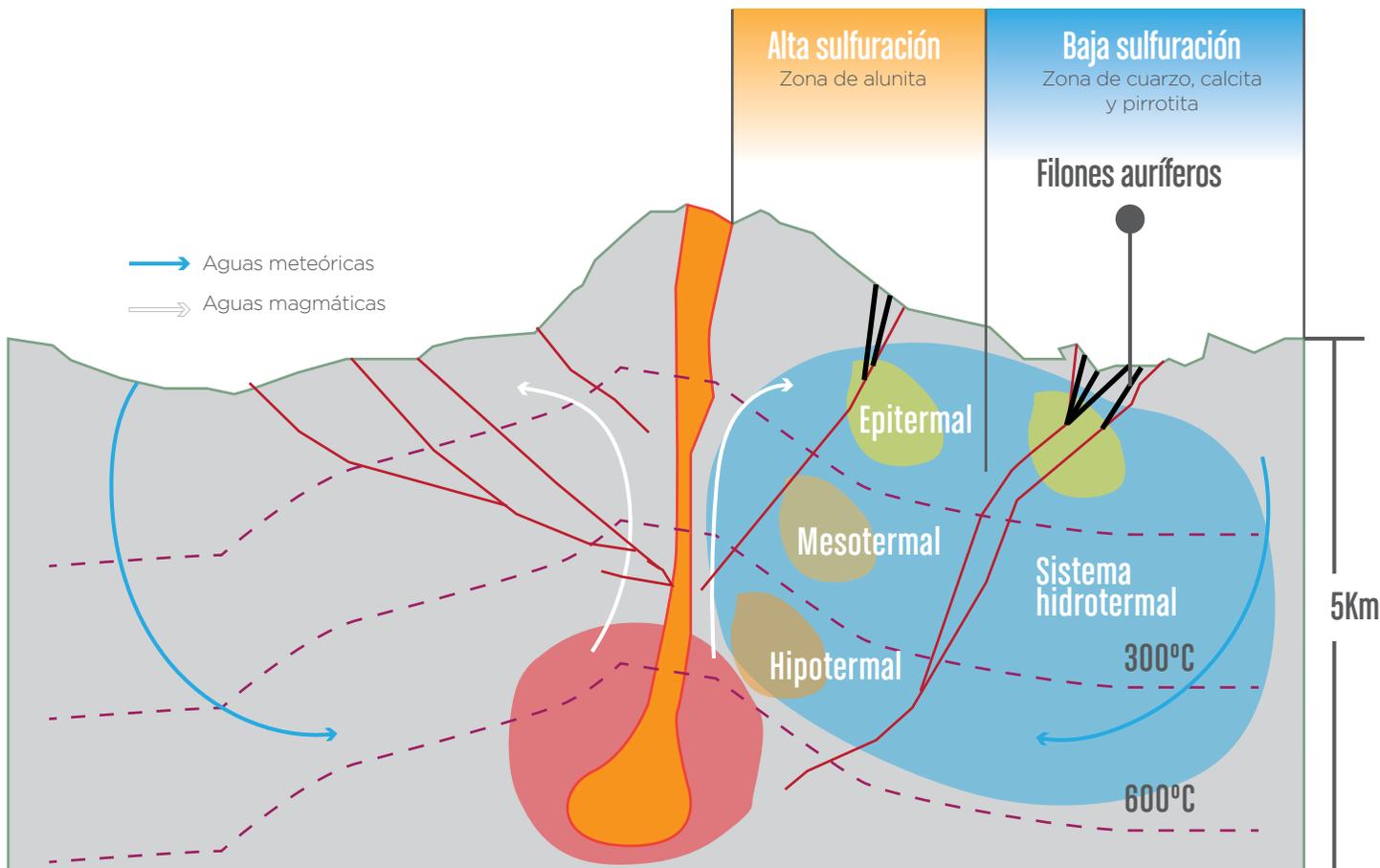
Los depósitos epitermales se han diferenciado según la afinidad geoquímica de los fluidos que intervienen en la mineralización, y se reconocen dos tipos principales: aquellos en los que el azufre se encuentra relativamente más oxidado ( $\text{SO}_2$ ), conocidos como de alta sulfuración, y aquellos en los cuales el azufre se encuentra más reducido ( $\text{HS}$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ ), 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 zona de minera).

Fuente: Propia.



## 4.1.2. IDENTIFICACIÓN DE MINERALES EN EL FRENTE DE MINA

Para la zona minera de La Llanada y Los Andes Sotomayor, se han definido dos tipos de unidades geometalúrgicas según los resultados de los análisis y pruebas realizadas; a continuación se presentan las imágenes de los frentes de minas para la identificación de los sulfuros. Las características específicas de cada UGM se detallan en la numeral 4.2.3.

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

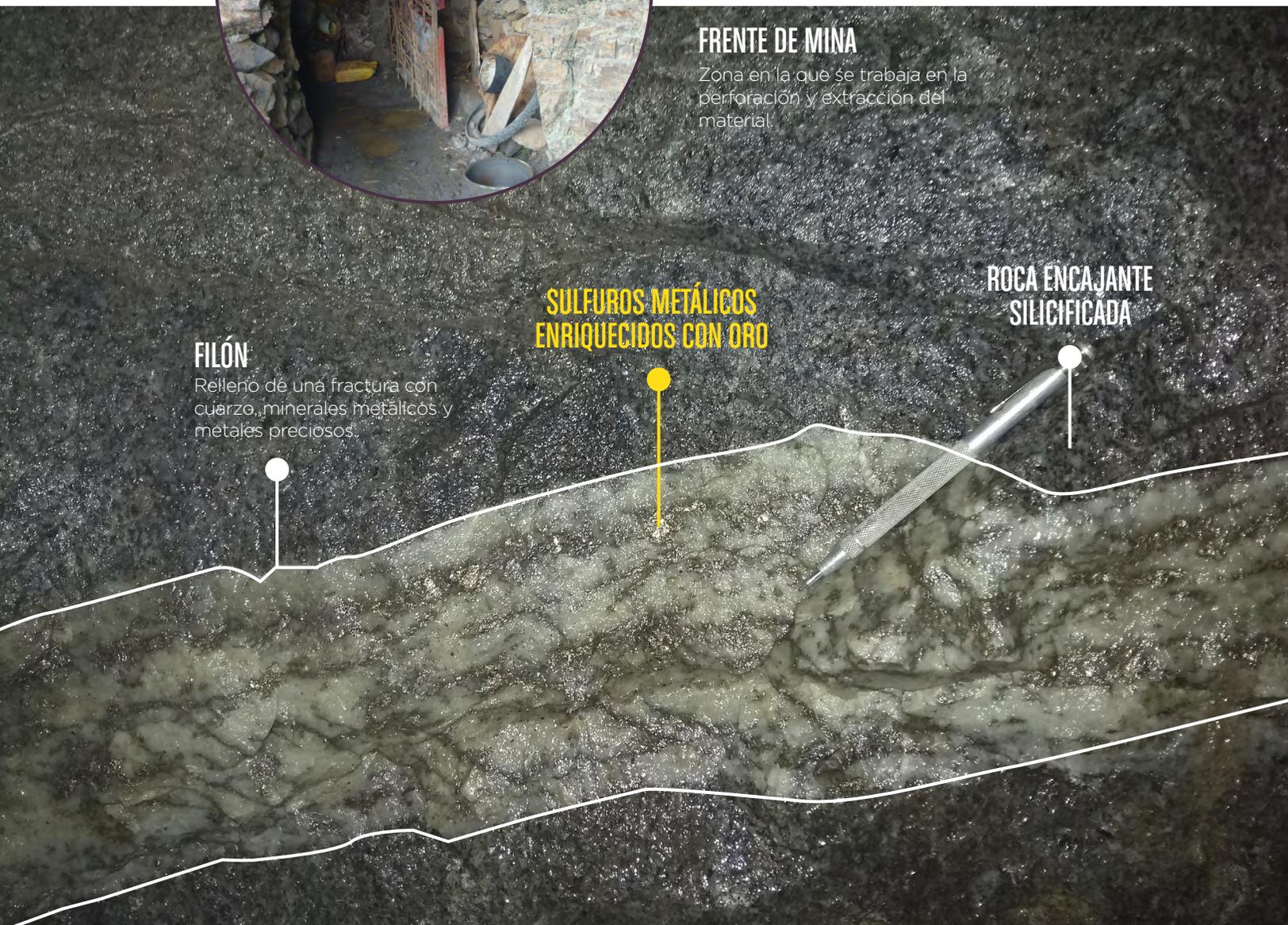


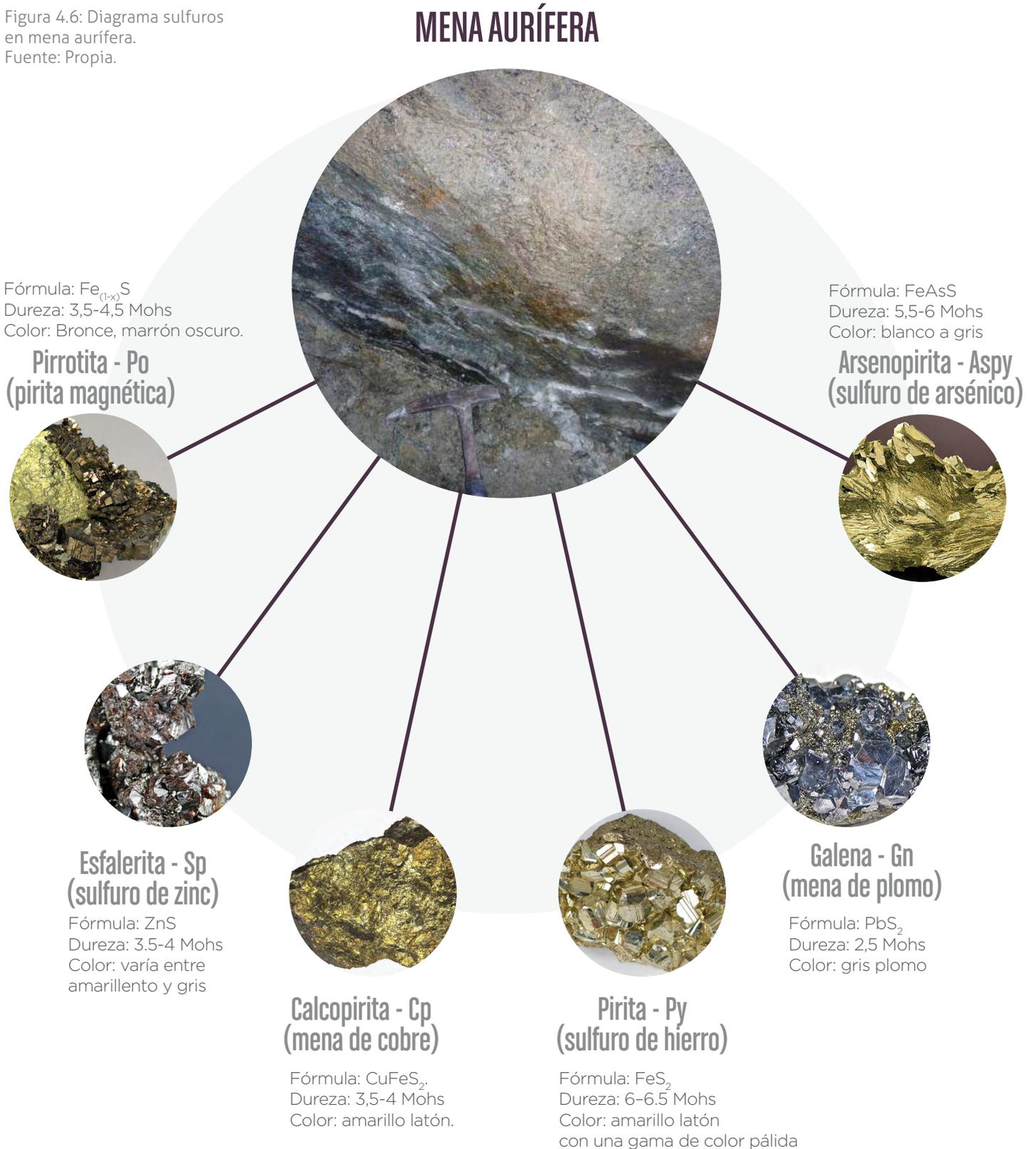


Figura 4.5: Diagrama frente de mina unidad geometalúrgica 2.  
Fuente: Propia.



## 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

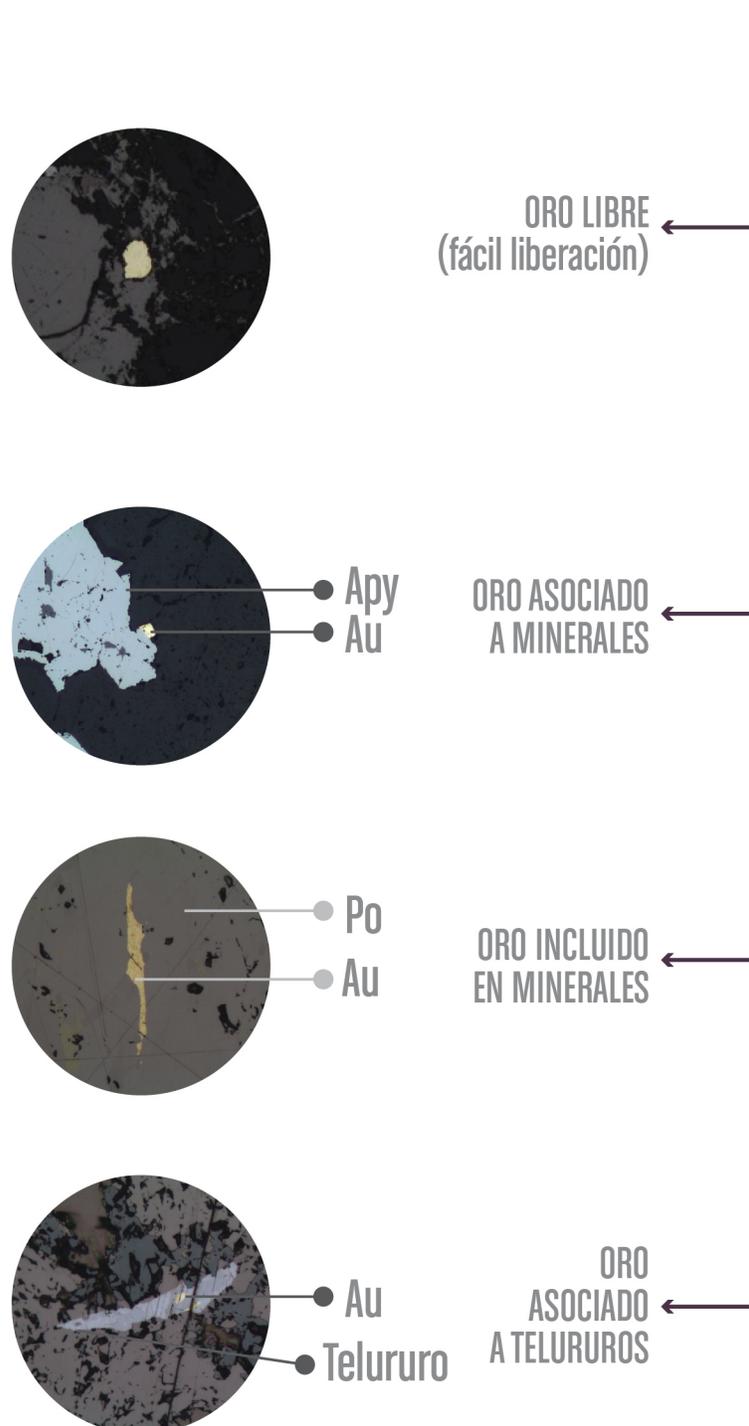
Figura 4.7: Tipos de ocurrencia de oro.  
Fuente: Propia.

Los tipos de ocurrencia de oro encontrados con mayor frecuencia en la zona minera de La Llanada y Los Andes Sotomayor es oro asociado a arsenopirita y asociado a pirrotina.

Es frecuente que el oro asociado a arsenopirita tenga un tamaño más grande que el asociado a pirrotina, lo cual conlleva cambios en los procesos de beneficio.

### OCURRENCIA DE ORO EN LA MENA

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



## 4.2. GEOLOGÍA Y MINERALOGÍA DE LA ZONA MINERA DE LA LLANADA Y LOS ANDES SOTOMAYOR

El marco geológico regional está relacionado con los procesos geológicos que dieron lugar a la formación de la Cordillera Occidental de Colombia. En la zona de estudio el basamento corresponde a uno de corteza oceánica basáltica y secuencias sedimentarias marinas foliadas, las cuales fueron conjuntamente adosadas al continente, deformadas, replegadas y levantadas, por los esfuerzos compresivos derivados del hundimiento del fondo oceánico (zona de subducción) en el océano Pacífico al oeste de Buenaventura.

Procesos de mineralización aurífera se han desarrollado en este ambiente tectónico donde se encuentran involucrados los procesos de deformación (metamorfismo dinámico) y la fusión parcial de rocas (magmatismo) emplazadas en zonas de debilidad cortical.

Las características geológicas del área de estudio y los procesos naturales que dieron lugar a la cordillera occidental, favorecen la formación de depósitos auríferos en esta región del departamento de Nariño.

### 4.2.1. GEOLOGÍA REGIONAL

El basamento de la cordillera occidental está representado por dos unidades litológicas básicas, las cuales se extienden desde el departamento de Nariño hacia el norte. Se trata de rocas volcánicas de composición basáltica y rocas sedimentarias marinas. Este conjunto de rocas conforma cuñas interdigitadas, separadas entre sí por fallas de rumbo en dirección noreste. En la actualidad, este conjunto se denomina Provincia Litosférica Occidental – PLOCO (Nivia, 2001).

En la zona de La Llanada y Sotomayor, predominan las rocas sedimentarias afectadas con metamorfismo dinámico y están compuestas esencialmente por metalimolitas, metarenitas, metagrawacas, metachert y algunos niveles de pizarras verdes y rojovioláceas, reconocidas históricamente como grupo Dagua.

Las rocas basálticas, menos comunes en el área están compuestas por diabasas, andesitas porfíricas, tobas aglomeráticas e intercalaciones de areniscas, calizas, y limolitas y chert, representan metamorfismo de fondo oceánico y cataclasis (Ingeominas, 1991). Fueron reconocidas por Nelson (1962) y Barrero (1979) como Grupo Diabásico

Toda la secuencia volcánica y sedimentaria se encuentra interrumpida y afectada por cuerpos intrusivos de composición tonalítica de edad paleogena que afloran a manera de stocks mediante contactos irregulares o fallados y alteran la litología circundante desarrollando aureolas de contacto.

Se considera que el origen de las rocas ígneas tonalíticas son consecuencia de la subducción de la corteza oceánica, sobre la cual ocurre la fusión parcial de rocas. Estos magmas ascienden a lo largo de fracturas tensionales, cortan las rocas del basamento y cristalizan como rocas ígneas intrusivas. Asociadas a estas zonas de fractura y presencia de cuerpos ígneos esta la mineralización aurífera.

Como resultado de la actividad volcánica de la cordillera Central durante el cuaternario, se encuentran modelando el terreno de forma discordantemente depósitos de cenizas, tobas y lavas volcánicas andesíticas indiferenciadas.

El límite oriental del basamento es el sistema de fallas Cauca-Almaguer y el sistema de fallas Cali-Patia. El primero, en contacto con rocas de la cordillera Central de afinidad continental y el segundo limita la cuenca sedimentaria Cauca-Patia.



Capas delgadas de Metalimolitas (grupo Dagua).



Lavas masivas de composición basáltica.

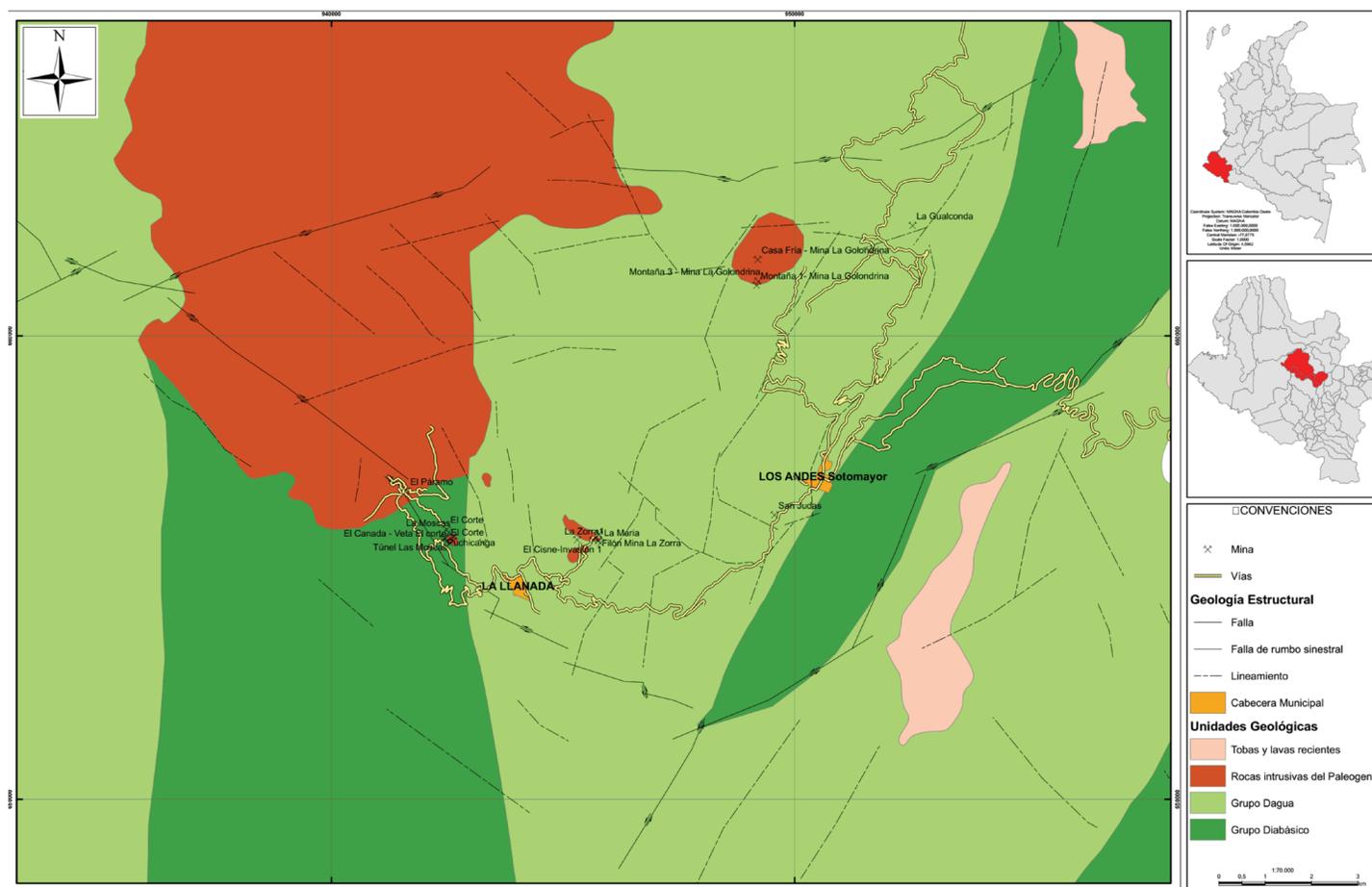
## 4.2.2. GEOLOGÍA LOCAL Y MINERALOGÍA DE LA MENA

En el área de estudio afloran principalmente rocas meta-sedimentarias correspondientes al grupo Dagua, los cuales son instruidos por rocas ígneas paleógenas de composición intermedia principalmente, tonalitas y cuarzdioritas con alto contenido de biotitas, que dan origen a rocas fuertemente silicificadas (Hornfelsas). Este conjunto de rocas se encuentra multifracturado con fallas de rumbo en dirección noreste y estas a su vez, intercectadas con fallas en dirección este-oeste principalmente en los sitios de intersección o en áreas de influencia magmática en donde se encuentran las principales mineralizaciones filonianas de oro.

### 4.2.2.1. GEOLOGÍA ESTRUCTURAL LOCAL

La disposición estructural del área está dominada por el sistema de fallas subparalelas, con dirección N-E y componente de rumbo sinistral correspondiente al sistema de fallas Cali-Patia, cuyo límite oriental corre a lo largo del río Guatara. De acuerdo con esta cinemática y el plegamiento de las estructuras sedimentarias N45E, se infiere para el área de estudio un sistema transpresivo de cizalla simple el cual genera fallas conjugadas, N20-60W de componente sinistral y otro en dirección E-W o N80E-S80E, para formar una cuña tectónica con zonas de apertura en dirección N70-80W, y otro con la tendencia general N10° - 35°W que facilitan el emplazamiento de filones auríferos y los diferentes cuerpos intrusivos aflorantes en el área.

Figura 4.8: Mapa de geología estructural.  
Fuente: Propia.



### 4.2.2.2. ALTERACIÓN HIDROTHERMAL

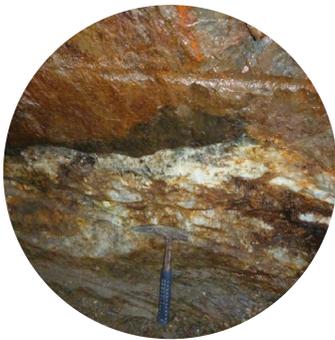
En términos generales, la alteración hidrotermal que han tenido las rocas que encajan la mineralización aurífera del área no tiene amplia dispersión. La alteración se limita justamente a las zonas de concentración y enriquecimiento aurífero a lo largo de los filones.

Por lo general, la roca encajante se encuentra poco afectada por procesos hidrotermales con excepción de los siguientes casos:

- La alteración hidrotermal más significativa es la sericitización en los bordes de los filones, acompañada de pirita o de pirrotina. En ciertos casos, está limitada entre 10 y 30 cms hacia la roca hospedante y en otros casos, está presente en zonas cizalla con sericitización alta. El área de influencia se ha exagerado a propósito, solo para llamar la atención del fenómeno que ocurre al interior de las minas alrededor de los filones auríferos.
- Se destaca además en algunas rocas encajantes, la carbonatización y presencia de clorita y epidota, correspondiente a alteración propilítica en rocas ígneas calcoalcalinas y en rocas volcánicas basálticas, como en la mina San Judas (Sotomayor).
- En algunos sitios como en El Canada se presenta biotitización en los fragmentos de roca incorporados a los filones, lo cual, puede indicar que el fluido mineralizante posiblemente era más caliente.
- Es importante indicar el proceso de silicificación que sufren las rocas encajantes en las zonas de contacto, con cuerpos intrusivos para conformar cornubianas (Hornfelsa) que se derivan del metamorfismo de contacto, muy común en las rocas donde están alojadas rocas ígneas intrusivas.

Figura 4.9: Diagrama de alteración hidrotermal en la zona minera.

Fuente: Propia.



Alteración filica incipiente incipiente en los bordes de los filones.



Alteración propilítica en roca ígnea junto a los filones.



Silicificación fuerte en zonas de contacto con intrusivos.

#### 4.2.2.3. METALOGÉNESIS Y MINERALIZACIÓN AURÍFERA

La mineralización aurífera de los municipios de La Llanada- Sotomayor se caracteriza por filones de cuarzo ricos en sulfuros, principalmente, arsenopirita y pirrotina, con cantidades menores de esfalerita, calcopirita y galena. Las vetas exhiben un fuerte control estructural producto de la interacción de sistemas de fallas de rumbo de dirección  $N_{15-30}E$  con fallas en dirección- NW-SE y E-W las cuales generaron zonas de apertura de dirección NW, N-S y E -W, donde encajaron las mineralizaciones. En la zona de La Llanada los filones buzcan hacia el norte, mientras que en la zona de golondrinas los filones buzcan hacia el sur. Los filones que tiene dirección general norte sur, regularmente, están encajados en zonas de cizallamiento posterior a la mineralización y particularmente alojados en las zonas de contacto entre rocas metasedimentarias y rocas ígneas.

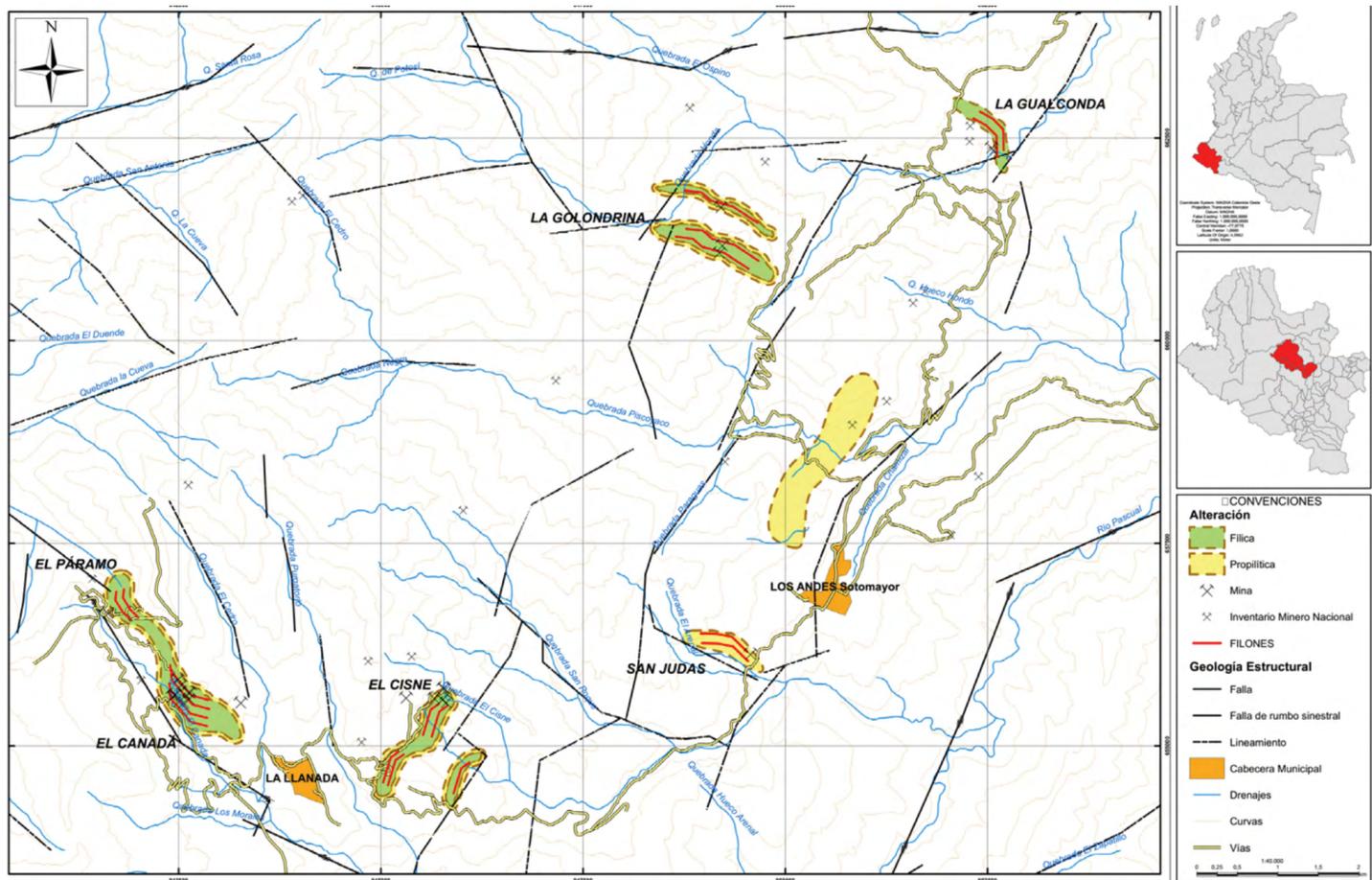
La morfología de los filones es típicamente bandeada. En las zonas de cizalla, es brechada y presentan morfología en rosario como en las minas La Gualconda y Nueva Esparta.

Para la zona de La Llanada los minerales de mena predominantes son pirrotina y arsenopirita, seguidos por pirita y bajas proporciones de calcopirita, esfalerita y galena. Como minerales accesorios ocurren telururos de bismuto, mientras que para Sotomayor el mineral más abundante es arsenopirita seguido por pirrotina y pirita, con presencia de sulfosales de plomo y antimonio

La abundancia de pirrotina se ha visto relacionada con la cercanía a cuerpos de afinidad ígnea (basaltos y tonalitas), algunos con alteración propilítica, mientras que la abundancia de arsenopirita ocurre cuando la mineralización esta hospedada en rocas metasedimentarias.

Para establecer las condiciones fisicoquímicas de la mineralización aurífera de La Llanada, se realizaron análisis

Figura 4.10: Mapa de alteraciones hidrotermales.  
Fuente: Propia.



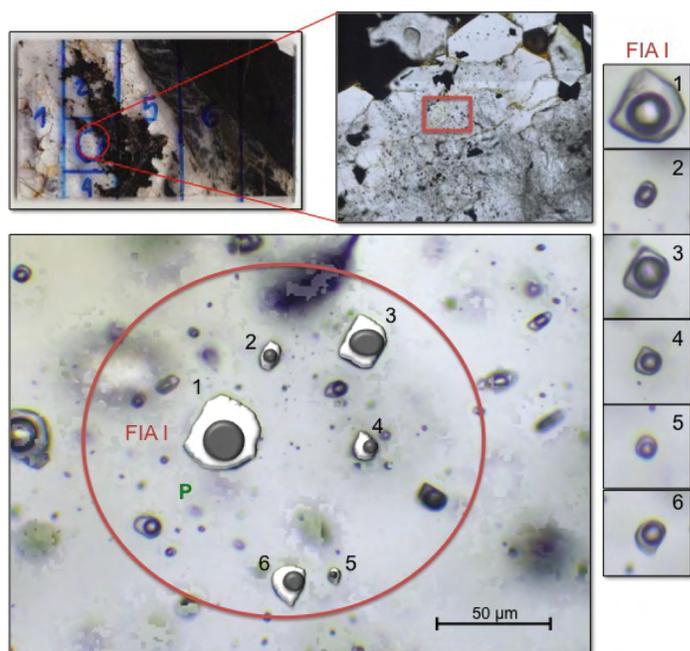
microtermométricos de inclusiones fluidas en laboratorios de geología de la Universidad Nacional (SGC –UNAL, 2017) de las minas El Corte, El Cisne y San Roque.

Figura 4.11: Imagen de inclusiones fluidas.  
Fuente: Propia.

Los resultados obtenidos indican que los fluidos mineralizantes son ricos en CO<sub>2</sub>, la salinidad del fluido es relativamente baja ya que está por debajo de 7 %wtNaCl, las temperaturas de formación del depósito oscilan entre 320°C a 380°C considerado como un rango de temperatura moderado a alto.

Estas características corresponden a fluidos metamórficos más que fuentes magmáticas con lo cual, se plantea una posible mineralización de tipo orogénico. El rol de las rocas magmáticas estaría relacionado, entonces, con los cambios fisicoquímicos que permiten la precipitación de sulfuros y oro de los fluidos metamórficos, especialmente con el aporte de hierro (de minerales ferromagnesianos) y los cambios de pH por aporte de carbonatos de la roca propilitizada.

Las inclusiones medidas son ricas en líquido donde se visualiza un borde oscuro que corresponde a un doble anillo que obedece a la presencia de CO<sub>2</sub>.

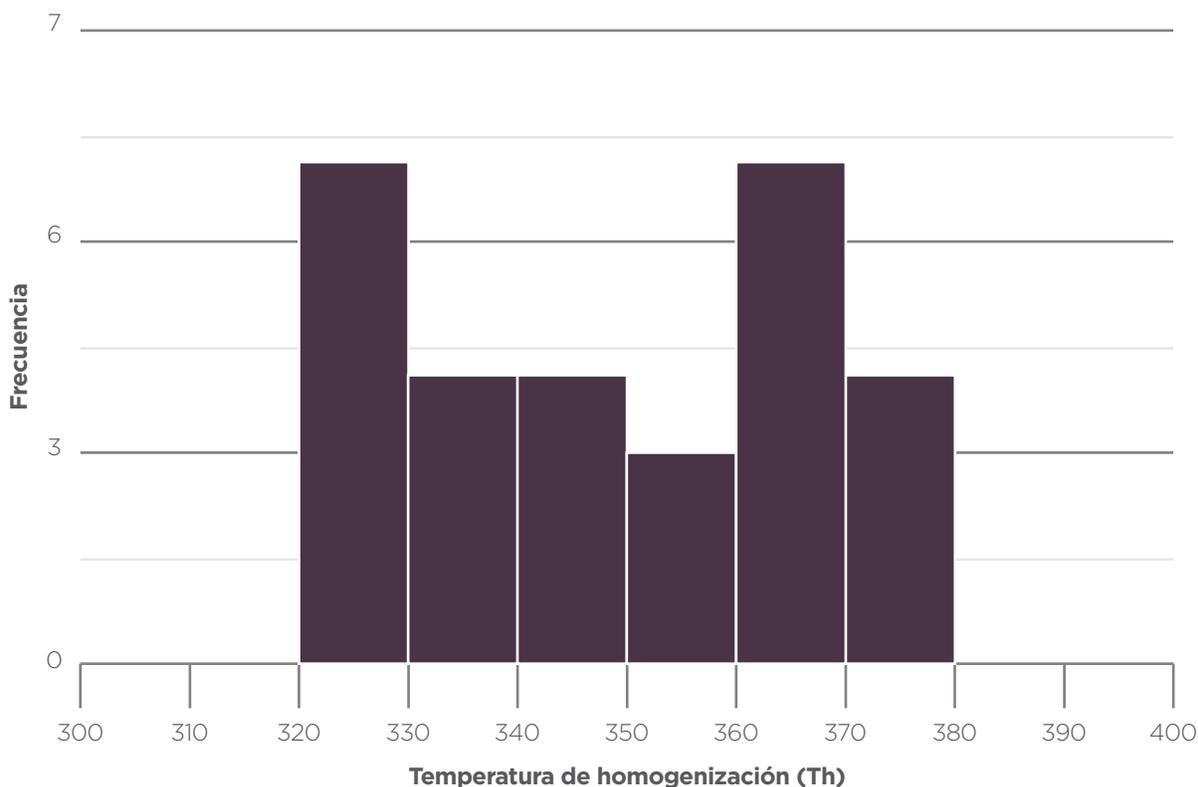


La salinidad se calculó a partir de la temperatura de fusión de clatratos. En general, los valores de salinidad muestran una concentración de sales relativamente baja por debajo de 7%wtNaCl, mostrando que el fluido mineralizante tiene una salinidad baja a moderada, por lo que se puede inferir que el oro no fue transportado en soluciones cloruradas. Las temperaturas de homogenización oscilan entre 320 °C a 380 °C e indican que el depósito se formó en un rango de temperatura moderado a alto. Teniendo en cuenta lo anterior, el contenido importante de CO<sub>2</sub> que se identifica en el espectro de Raman, además de la presencia de metano, fácilmente (pico de 2.918), ambos indicadores de la presencia de fluidos hidrotermales originados por metamorfismo de rocas oceánicas con contenido de materia orgánica, aportan indicios de que el depósito podría tratarse de un mesotermal tipo orogénico.

Considerando que el oro no se transporta como cloruro, entonces probablemente lo hace como arseniuro, típico de depósitos de fluidos metamórficos.

Figura 4.12: Salinidad del sistema calculada a partir de la temperatura de fusión de clatratos.

Fuente: Propia.



#### 4.2.2.4. SECUENCIA PARAGENÉTICA

La secuencia paragenética deducida de los análisis microscópicos de secciones delgadas del área estudiada permiten plantear tres eventos mineralizantes y uno postmineral. El primero de ellos es el de mayor temperatura y se caracteriza por la cristalización de cuarzo masivo a drusiforme y pirrotina diseminada. Este evento se asocia a oro libre y a pirrotina; también se encontraron trazas de telururos de bismuto en paragénesis con oro y calcopirita. La roca encajante de composición tonalítica rica en biotita presenta en la zona mineralizada biotita secundaria con plagioclasa, muscovita y recristalización de tremolita. Posteriormente se produce un evento de cizallamiento y recristalización de cuarzo y se inicia la precipitación de arsenopirita, un segundo evento de pirrotina en vetillas, pirita (parte de ella con textura ojo de pájaro), seguida de calcopirita, esfalerita y galena. Para este evento el oro se asocia a arsenopirita, calcopirita y esfalerita y se observa sericitización en la mena.

Para el tercer evento se precipita galena rellenando espacios en cuarzo y sulfuros y presencia de oro asociado a galena, siendo esta la última fase de enriquecimiento. En esta fase en la zona de Sotomayor precipitan sulfosales de plomo y antimonio reemplazando galena. Se observa también marcasita como sub producto de pirita, minerales de alteración propilítica (clorita, carbonato y epidota) y finalmente se observan vetillas de carbonato.

Figura 4.13: La temperatura de homogenización de las inclusiones está en un rango entre 320°C a 380°C.  
Fuente: Propia.

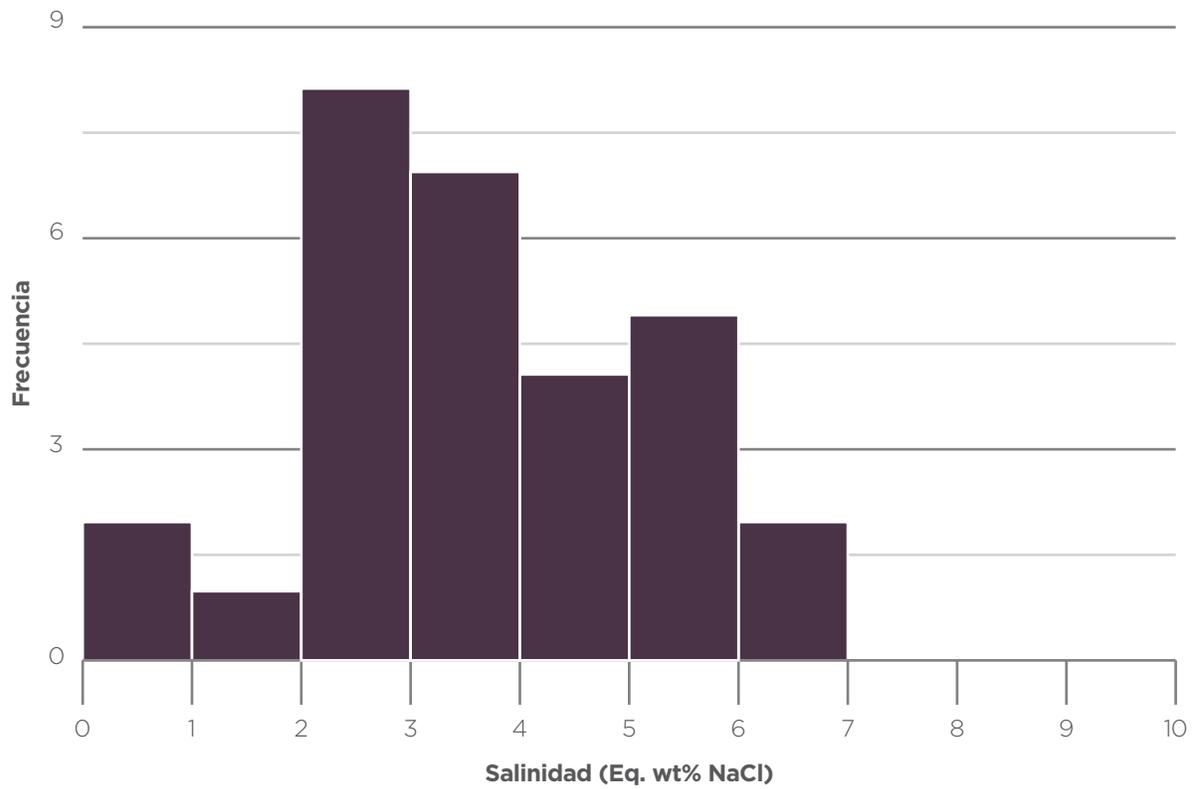
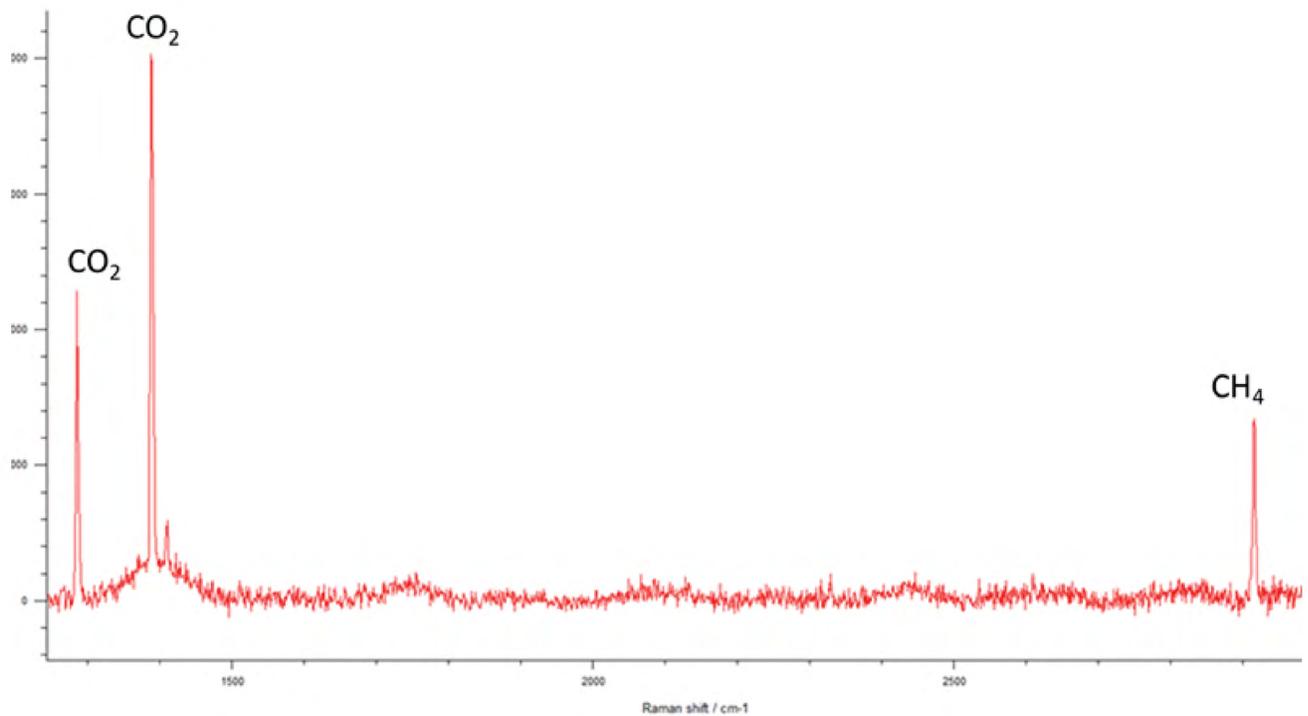
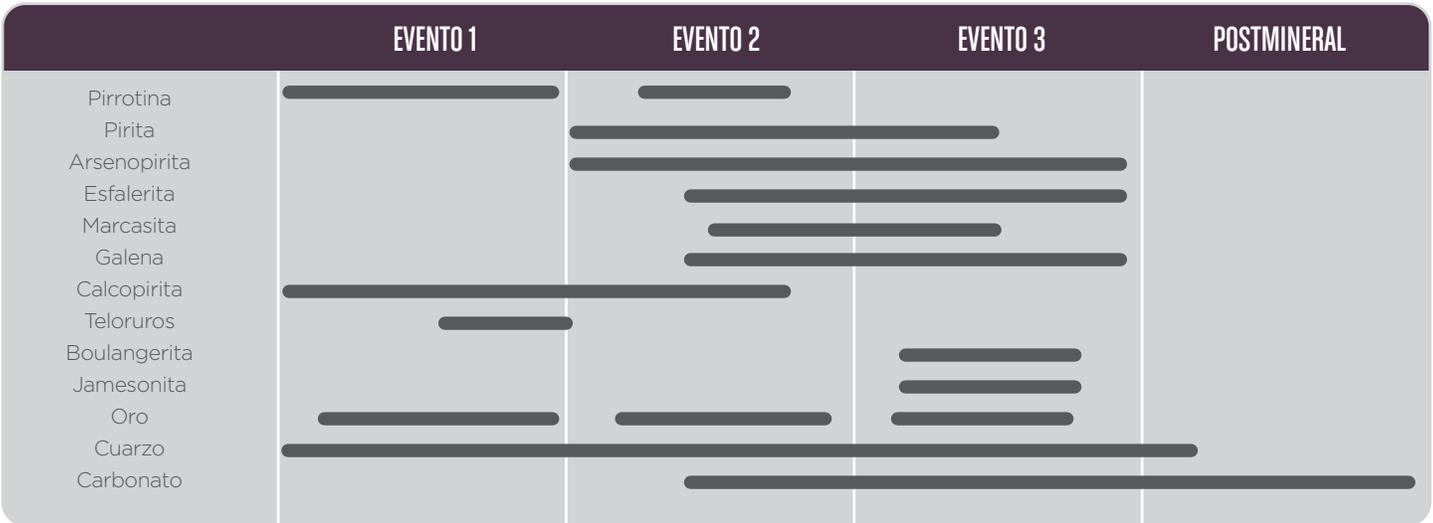


Figura 4.14: Espectro Raman de muestra tomada en la mina el Cisne, picos principales del CO<sub>2</sub> (Dióxido de Carbono) y del CH<sub>4</sub> (Metano).  
Fuente: Propia.



De acuerdo a la asociación mineralógica y a la presencia de biotita secundaria, se puede inferir que hubo un fluido primario muy caliente que además precipitó pirrotina y calcopirita al que le siguió posiblemente uno más frío y ácido relacionado con la alteración fílica, precipitando arsenopirita, pirita y parte de ella, a partir de pirrotina además de sulfuros asociados incluyendo las sulfosales de antimonio.

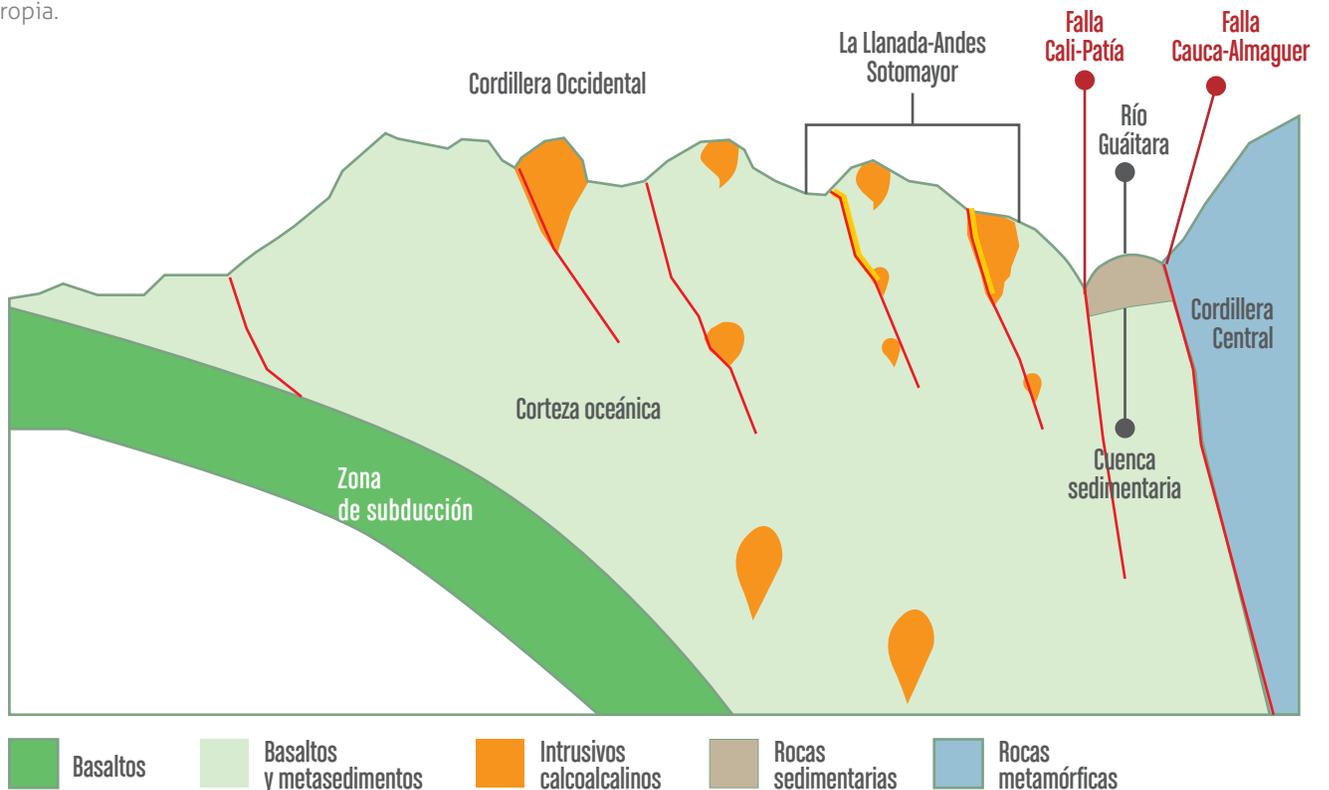
Figura 4.15: Secuencia paragenética de La Llanada -Sotomayor.  
Fuente: Propia.



**4.2.2.5. MODELO METALOGÉNICO**

Teniendo en cuenta la disposición y estructura de los filones en las rocas huéspedes de contactos netos con poca o nula alteración hidrotermal en la roca hospedante, el relleno de fracturas en condiciones de deformación dúctil-frágil, la roca huésped con características de foliación y deformación metamórfica, las características de las inclusiones fluidas y la abundancia de arsenopirita, permiten inferir que la mineralización aurífera que podría corresponder con un depósito mesotermal tipo orogénico.

Figura 4.16: Modelo geológico del área de interés.  
Fuente: Propia.



### 4.2.3. UNIDADES GEOMETALÚRGICAS (UGM)

Considerando que el conjunto de propiedades mineralógicas, texturales físicas y químicas de un yacimiento que repercuten sobre el tratamiento metalúrgico representan una unidad geometalúrgica, cada tendencia o grupo de minas descrito con anterioridad puede representar una unidad geometalúrgica (UGM), que puede definir una ruta metalúrgica específica.

La mineralización aurífera de toda el área se caracteriza por la presencia de filones delgados de cuarzo con altos contenidos de pirrotina y arsenopirita y cantidades menores de calcopirita, esfalerita y galena, con variables contenidos de telururos y carbonatos. El oro está asociado a arsenopirita y pirrotina y secundariamente a esfalerita calcopirita o galena. Como característica de la mineralización, la mayor parte del oro se encuentra por debajo de 100 micrómetros lo que representa un limitante para el proceso de beneficio.

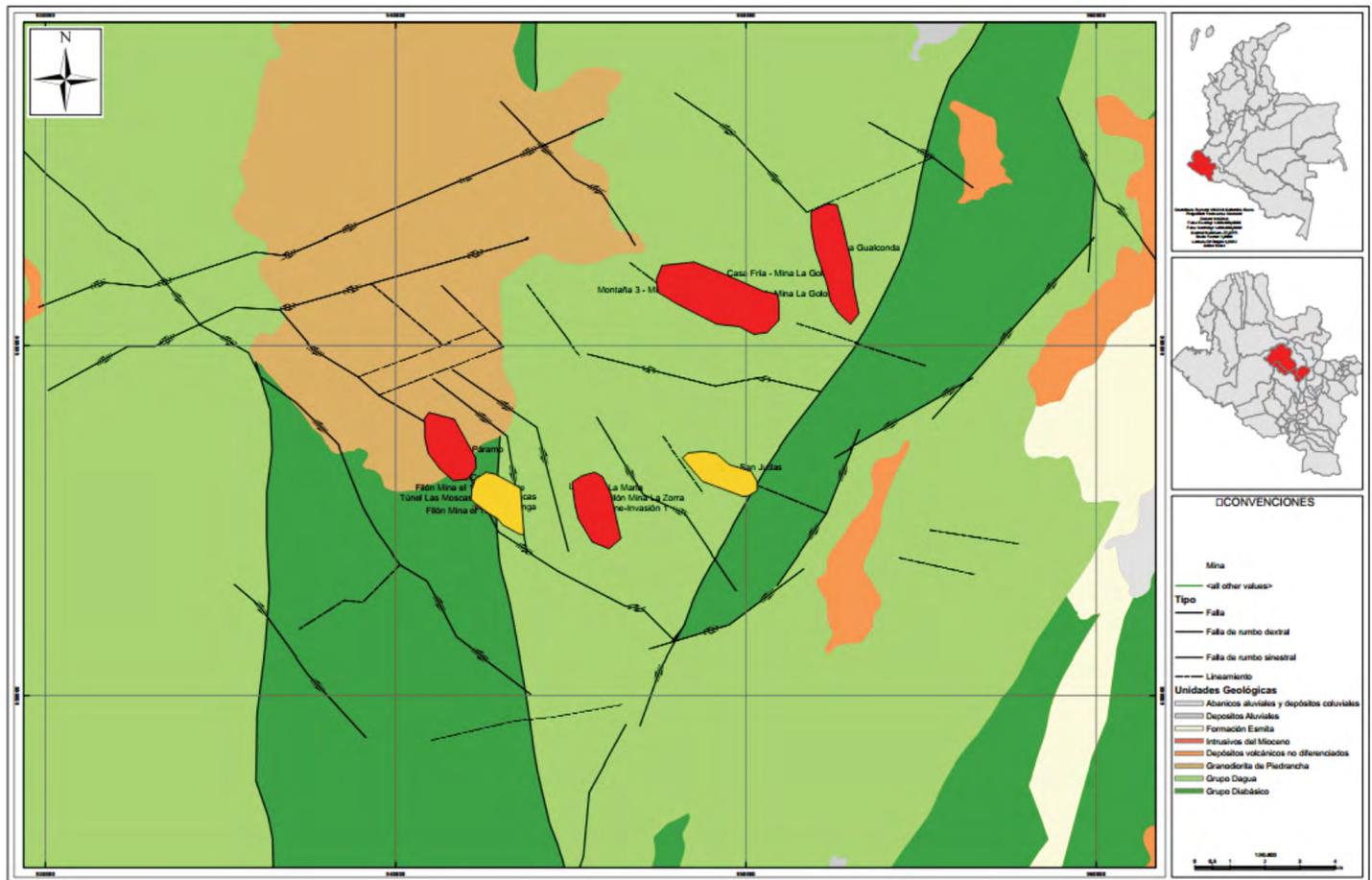
Se presentan 2 tipos de roca hospedante: rocas metasedimentarias parcialmente silicificadas y roca ígneas calco-alcalinas. Según el estilo de mineralización y la naturaleza de la roca encajante, se han podido diferenciar 2 unidades geometalúrgicas características.

La primera unidad geometalúrgica (UGM1) consiste de filones con altos contenidos de pirrotina cuya roca caja es ígnea y esta se encuentra con pirrotina diseminada. Dado que la pirrotina es reactiva en los procesos de beneficio, las minas con altos contenidos de este mineral pueden considerarse como una unidad geometalúrgica de media a alta refractariedad. A este grupo pertenecen las minas del Páramo y el sector de El Cisne en La Llanada y las minas de la Golondrina en Sotomayor.

Las minas que se encuentran en zonas de rocas metasedimentarias, regularmente contienen cantidades menores de pirrotina, por el contrario, se incrementa la cantidad de arsenopirita. Estas minas se consideran de baja refractariedad y conforman la segunda unidad geometalúrgica (UGM2). A este grupo pertenecen las minas de El Canada en La Llanada lo mismo que las minas de San Judas y Gualconda en Sotomayor.

Figura 4.17: Mapa de UGM 1 y UGM 2.

Fuente: Propia.



Como algunas minas de El Canada se encuentran encajadas en rocas ígneas, la proporción de pirrotina se incrementa y por tanto su refractariedad aumenta.

Para algunas minas de La Gualconda y Nueva Esparta que se encuentran mineralizadas en zonas de cizalla, la refractariedad se incrementa y los procesos de beneficio se dificultan. Se caracterizan por la presencia de amplias zonas de brecha, abundancia de minerales de arcilla y presencia de sulfatos de hierro como jarositas mineral oscuro de hábito untoso) derivados de la oxidación de sulfuros polimetálicos. Estas menas a pesar de ser rocas metasedimentarias, se consideran con refractariedad alta (UGM1). Algunas minas explotan la parte superficial del yacimiento donde los sulfuros metálicos se encuentran parcialmente oxidados y generan gran cantidad de drenaje ácido e incrementan la refractariedad.

## 4.2.4. OCURRENCIA DE ORO EN LA VETA

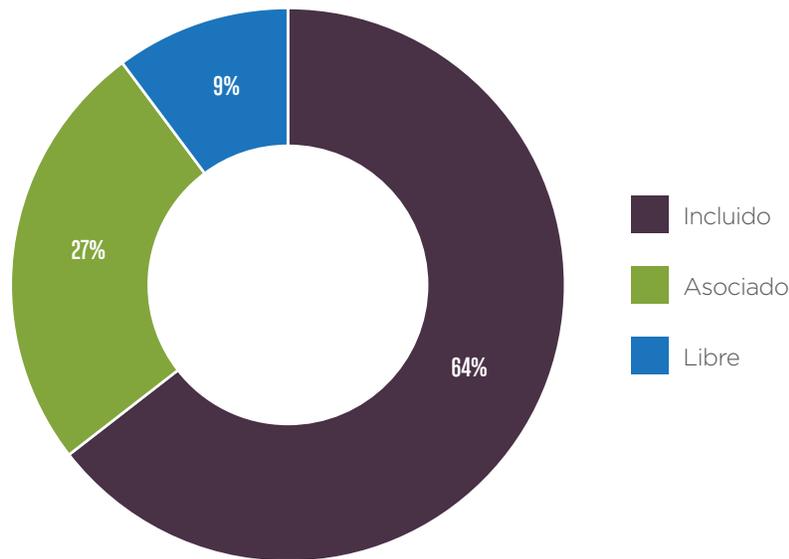
### 4.2.4.1. MUNICIPIO DE LA LLANADA

En el municipio de La Llanada, considerando el número de partículas, se establece que el oro se encuentra principalmente incluido en sulfuros hasta un 64 %, asociado a sulfuros el 27 % y el oro incluido en cuarzo y carbonatos, considerado libre, el 9 % restante.

La asociación mineralógica del oro con diferentes sulfuros, encuentra que este se halla principalmente asociado e incluido en arsenopirita en menor proporción asociado con calcopirita o sulfosales e incluido en ganga de cuarzo y carbonato, pirrotina esfalerita, galena y sulfosales.

Figura 4.18: Ocurrencia de las partículas de oro observadas en la zona de La Llanada.

Fuente: Propia.



Con respecto al tamaño de las partículas, predomina oro menor a 50 $\mu$ m, la mayoría incluido en arsenopirita y ganga. La distribución de oro por tamaño, considerando el peso equivalente, indica que el 49 % del oro se halla bajo 50 micrometros, mientras que el 28 % se encuentra menor a 100 micrometros y el 33 % restante alcanza hasta 300 micrometros. El oro mayor a 50 micrometros puede ser recuperable por métodos gravimétricos convencionales, mientras que el oro de tamaño menor a 50 micras requiere de técnicas no convencionales.

Figura 4.19: Tamaño de partícula de los grano de oro identificados en el sector de la Llanada.

Fuente: Propia.

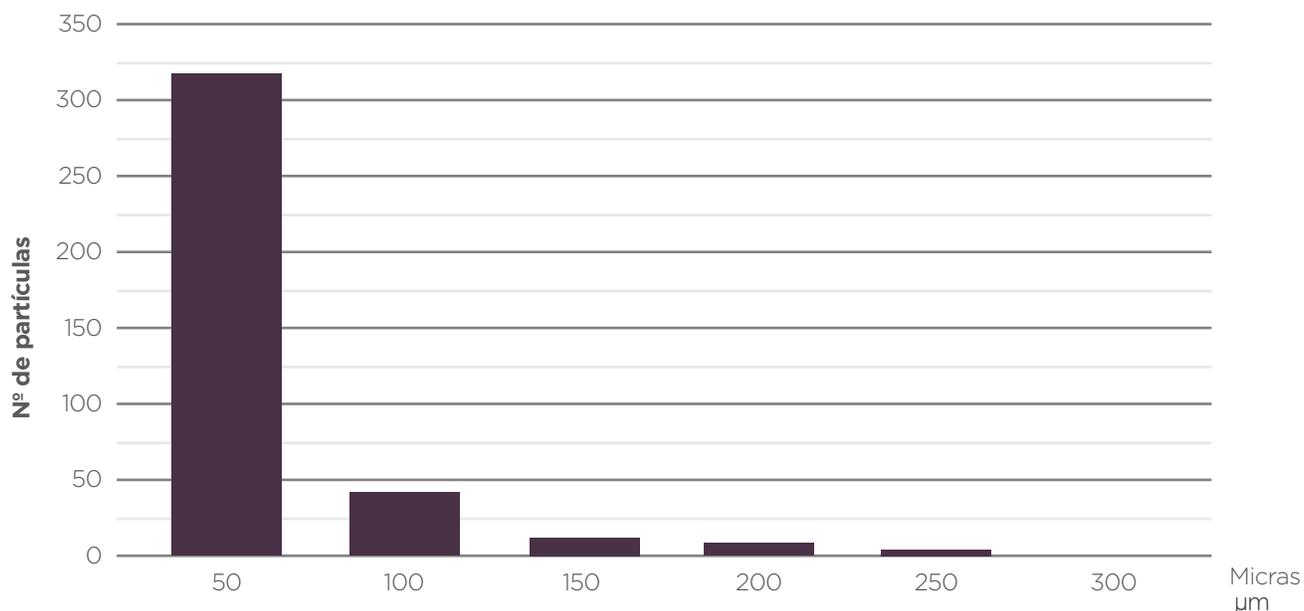
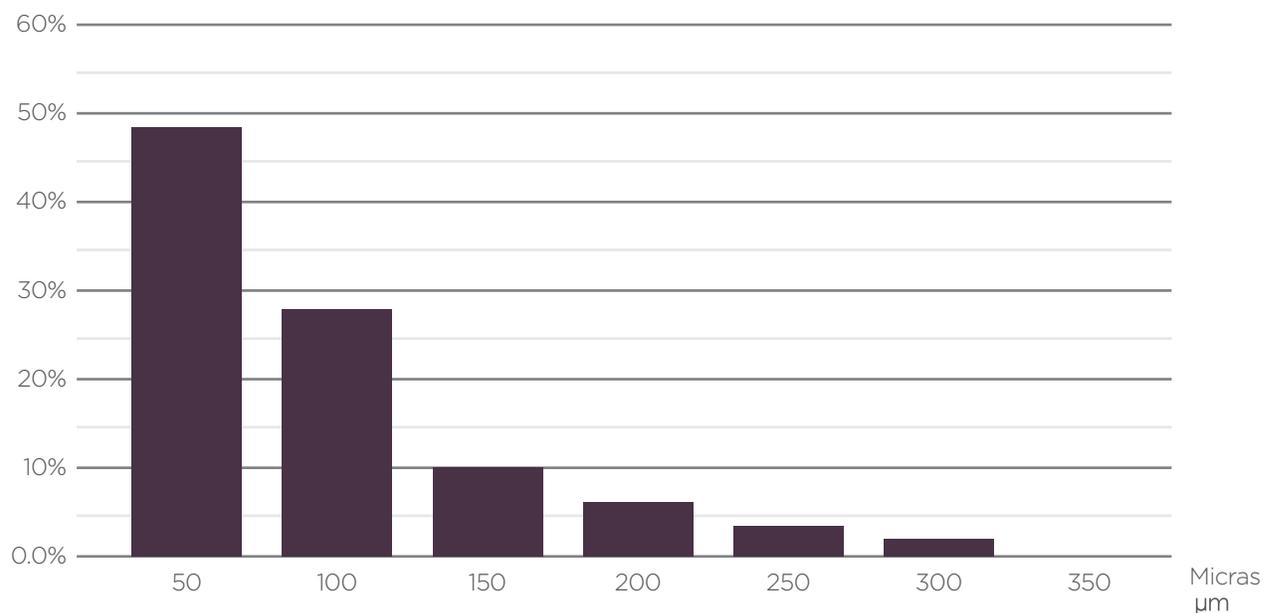


Figura 4.20: Distribución de oro en peso por rangos de tamaño zona de la Llanada.

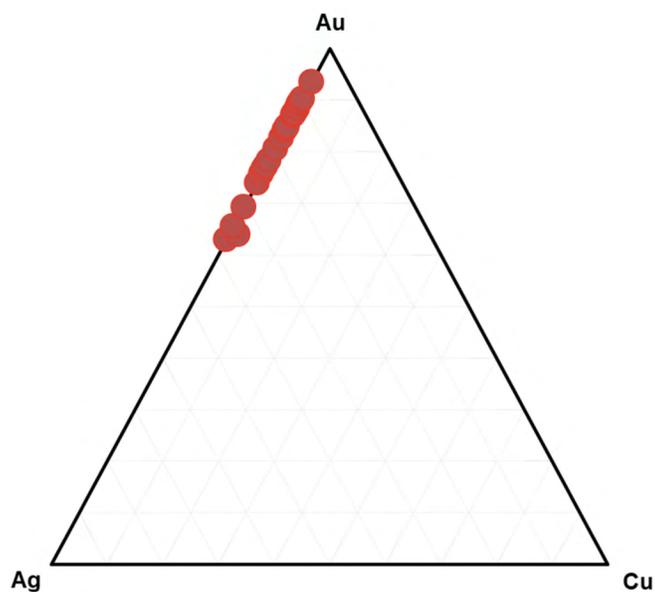
Fuente: Propia.



Con respecto a la composición química de las partículas de oro identificadas en las muestras tomadas de las minas visitadas, se establece la relación Au-Ag-Cu. Se encuentra que la fineza varía entre 691 y 902. El contenido de cobre para los granos analizados es prácticamente nulo (por debajo del 0.1%).

El oro proveniente de la mina El Páramo presenta el más alto contenido de Au, siempre con fineza mayor a 800. El oro de la mina El Canada presenta valores de fineza intermedia, mientras que el oro de la mina El Cisne tiene el mayor enriquecimiento de plata (30.2%).

Figura 4.21: Diagrama triangular Au-Ag-Cu, para las partículas de oro analizadas con microsonda electrónica, La Llanada.  
Fuente: Propia.



Con relación al contenido de otros elementos, en la partícula de oro se destacan los contenidos de bismuto y telurio lo cual denota la relación con telururos observados microscópicamente.

Los mapas composicionales realizados bajo microsonda electrónica a las partículas de oro, indican variaciones en la concentración de Au y Ag al interior del grano. Como ejemplo en la figura 4.22 se presenta un grano de oro libre donde se observa cómo en la parte central del grano se forma una franja donde se aumenta la concentración de plata (color rojo) y a su vez, en el grano de oro el color rosa se pone más rojizo, lo que confirma la disminución del contenido de oro en esa zona.

Figura 4.22: Mapas composicionales de un grano de oro libre.  
Fuente: Propia.

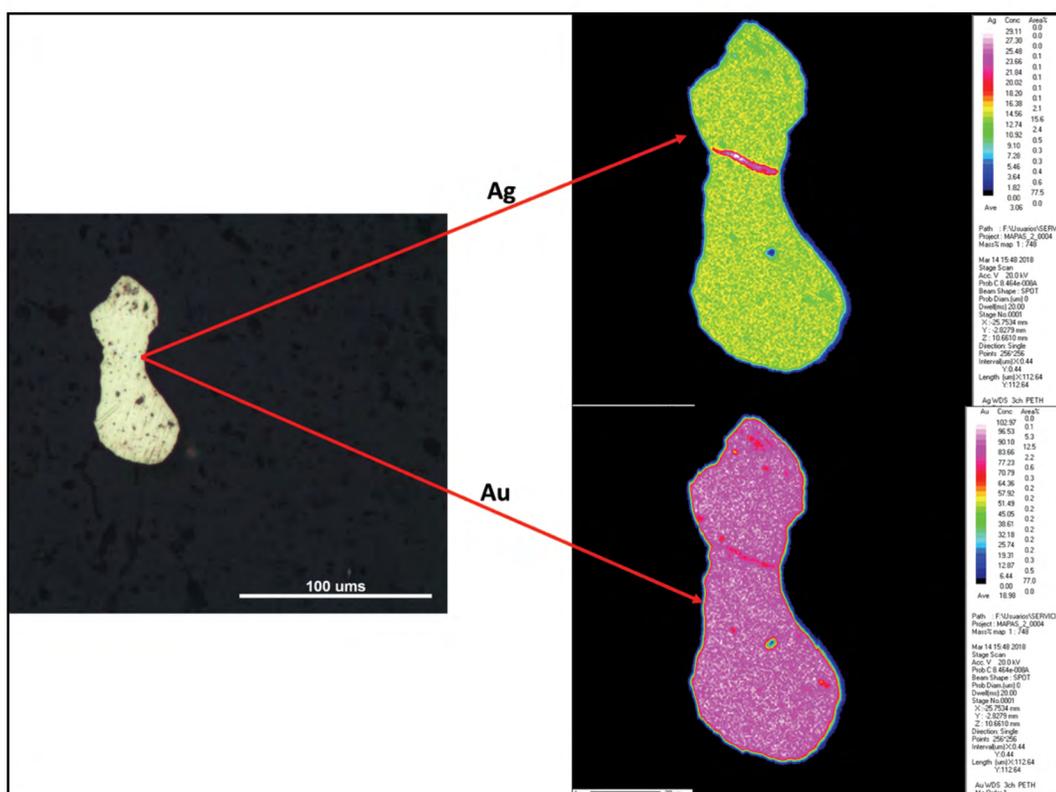
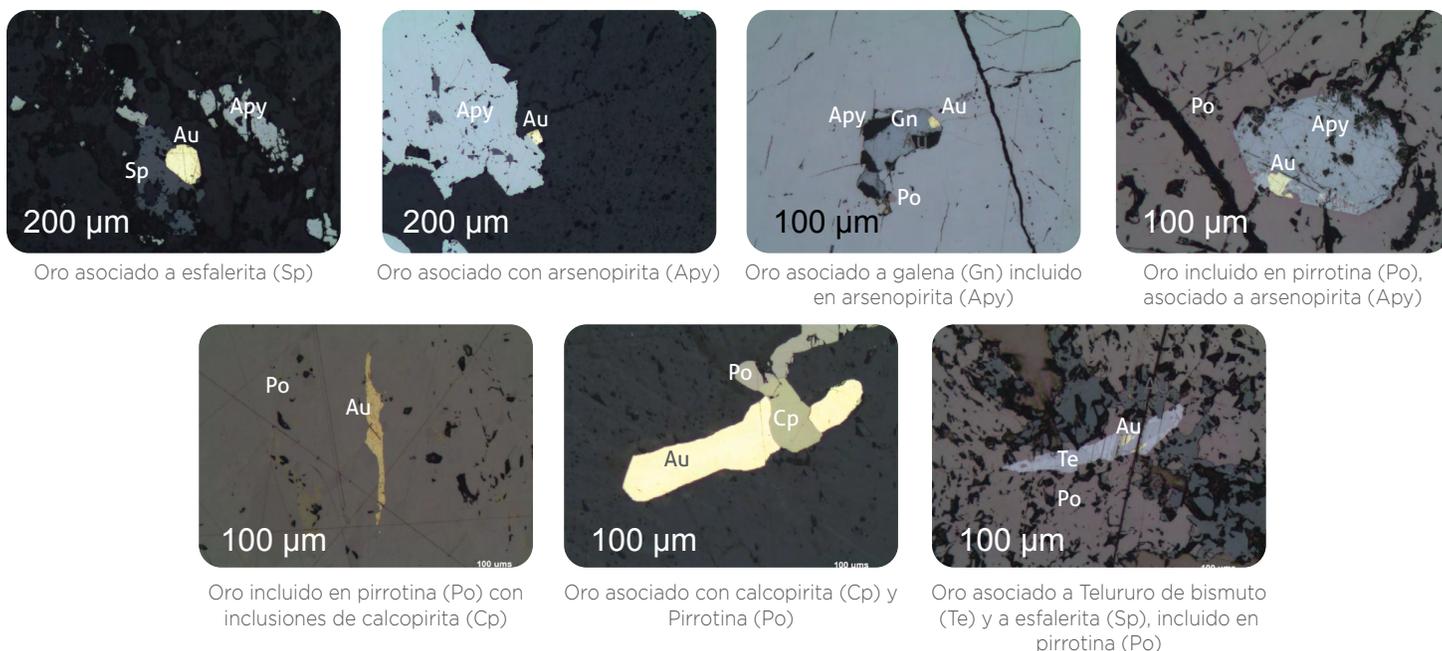


Figura 4.23: Imágenes de la ocurrencia de oro en La Llanada.

Fuente: Propia.



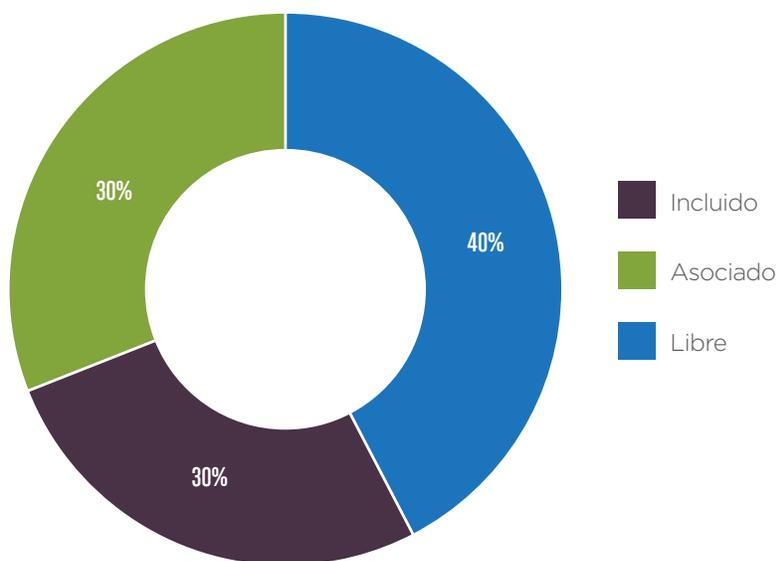
#### 4.2.4.2. MUNICIPIO DE LOS ANDES SOTOMAYOR

Las características de las partículas de oro halladas en las muestras de mena de la zona de Andes, muestran oro asociado o incluido en ganga, considerado libre el 40 %, incluido en sulfuros 30 % y asociado a sulfuros el 30 % restante.

Siempre se observaron partículas menores de 50 micrómetros, asociados o incluidos a arsenopirita esencialmente y en menor proporción, asociado a pirrotina e incluido en calcopirita.

Figura 4.24: Ocurrencia de las partículas de oro observadas en la zona de Los Andes Sotomayor.

Fuente: Propia.



Los granos de oro encontrados en las muestras tomadas en las minas Gualconda y San Judas son de tamaño menor a 30 μm (D<sub>2Eq</sub>) y predominan las partículas inferiores a 10 micrómetros. La distribución en peso de estas partículas indica que las partículas entre 20 y 30 micrómetros representan el 42 % de la distribución.

La frecuente ocurrencia de oro menor a 50 micrómetros indica que su recuperación por concentración gravimétrica como mesa wilfley, puede resultar poco eficiente.

Figura 4.25: Tamaño de partícula de los grano de oro identificados en el sector de Los Andes Sotomayor.  
Fuente: Propia.

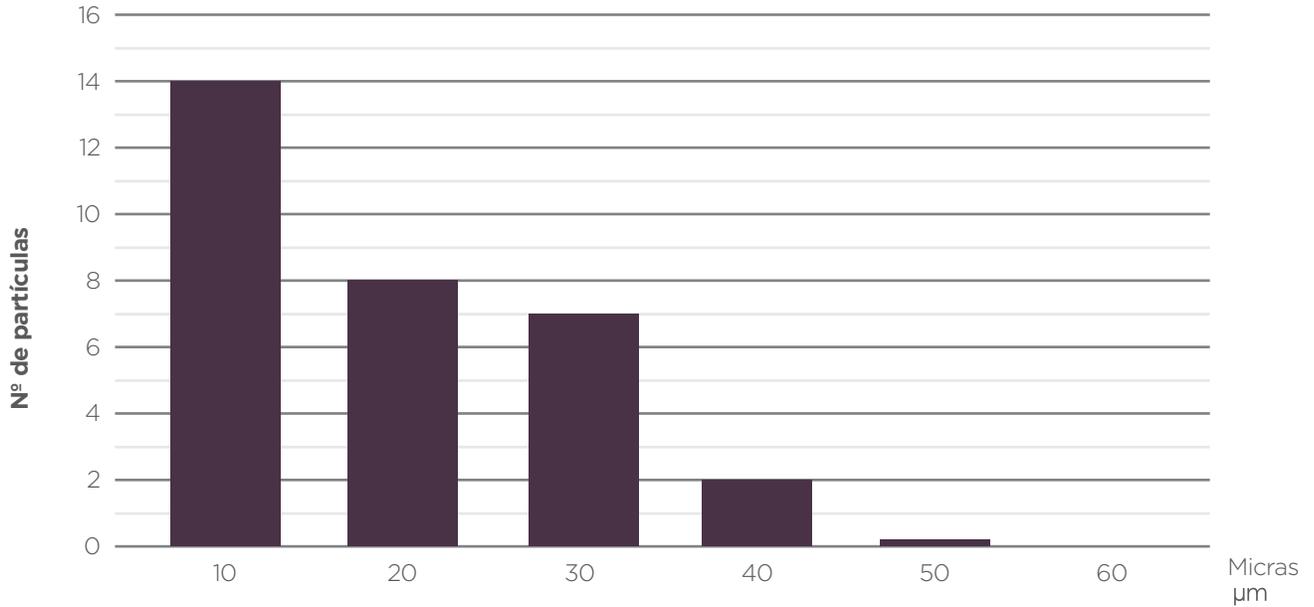
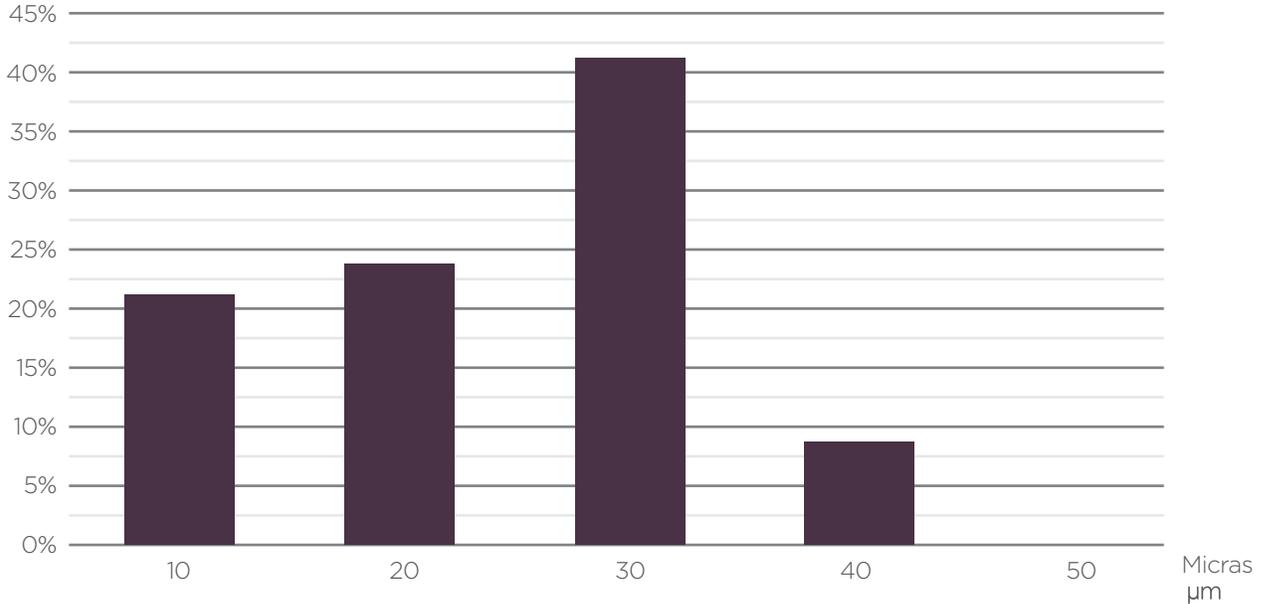


Figura 4.26: Distribución de oro en peso por rangos de tamaño zona de Los Andes Sotomayor.  
Fuente: Propia.

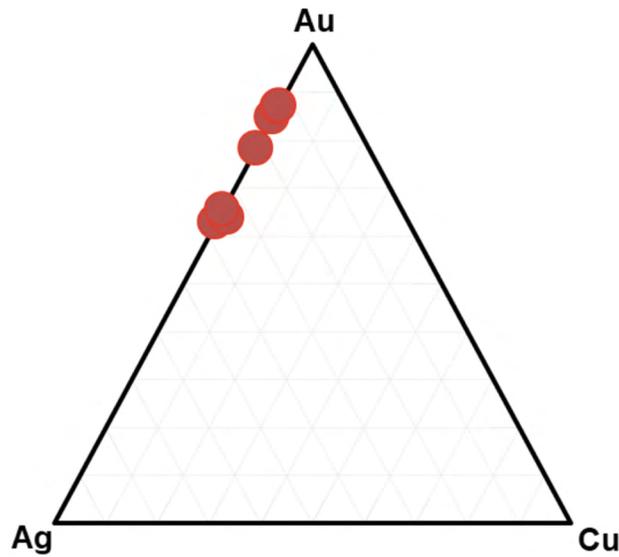


Los análisis composicionales realizados con microsonda electrónica para oro de la mina San Judas, indican que se trata de oro-electrum (con una fineza entre 628 y 654) y porcentajes de plata entre 33.6 % y 35% mientras que el oro de la mina La Gualconda tiene fineza mucho más alta de alrededor de 850 y porcentajes de plata entre 20 % y 12% (SGC-UNAL, 2017).

La relación Au-Ag-Cu. En el cuadro composicional indica también la ausencia de cobre y la variación en el contenido de plata entre el 12 % y el 35 %.

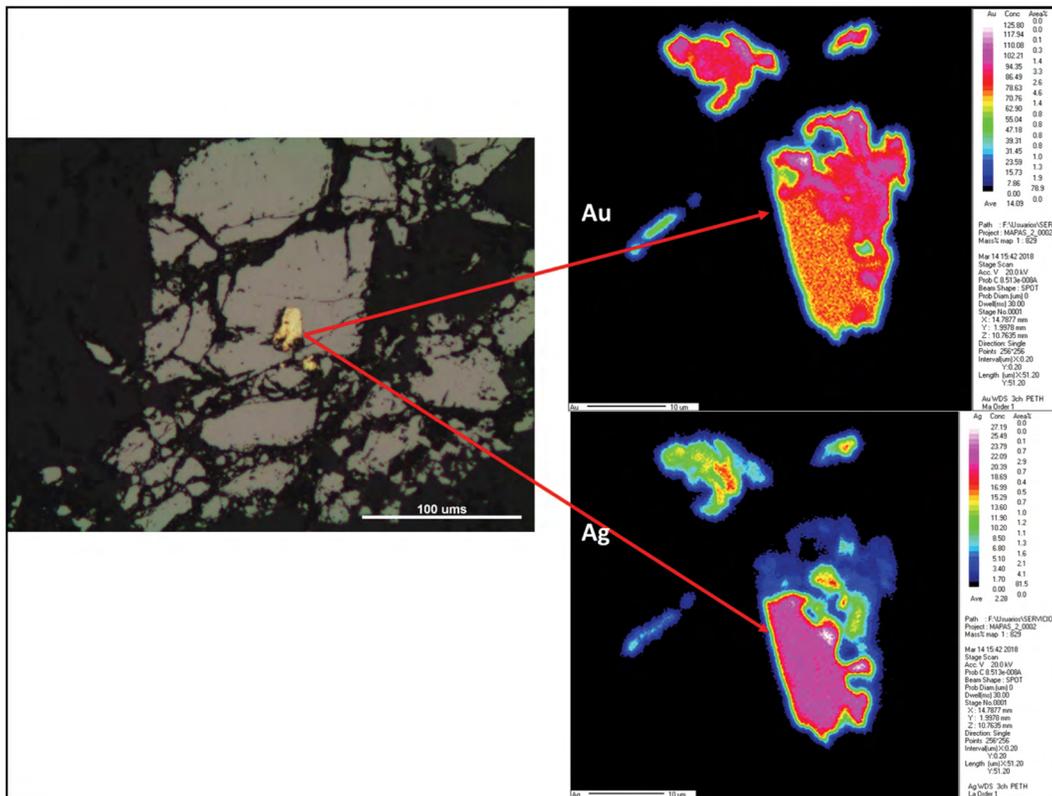
En el mapa composicional realizado con microsonda electrónica de un grano de oro asociado a arsenopirita (figura 4.28), se observa claramente la zonación de la partícula, siendo los valores de plata en el sector izquierdo (color rosa del mapa)

Figura 4.27: Diagrama triangular Au-Ag-Cu, para las partículas de oro analizadas con microsonda electrónica, Los Andes Sotomayor.  
Fuente: Propia.



composicional de plata y así mismo, en esta zona la composición de oro disminuye de casi el 100 % en el extremo superior derecho a 70 % en la parte izquierda del grano.

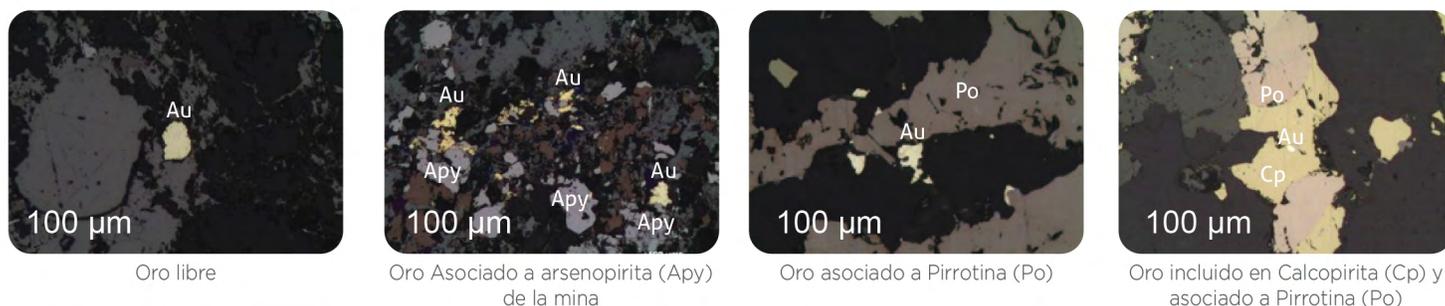
Figura 4.28: Mapas composicionales de un grano de oro asociado.  
Fuente: Propia.



Con respecto a la presencia de otros elementos en las partículas de oro, se destaca la presencia de mercurio lo mismo que concentraciones bajas de bismuto, antimonio y telurio (Figura 6). Estos últimos tienen relación con las sulfosales asociadas con oro. Solamente en una de las partículas de oro de la mina San Judas se encuentra Cu en proporción cercana al 1 %.

Figura 4.29: Imágenes de la ocurrencia de oro en Los Andes Sotomayor.

Fuente: Propia.



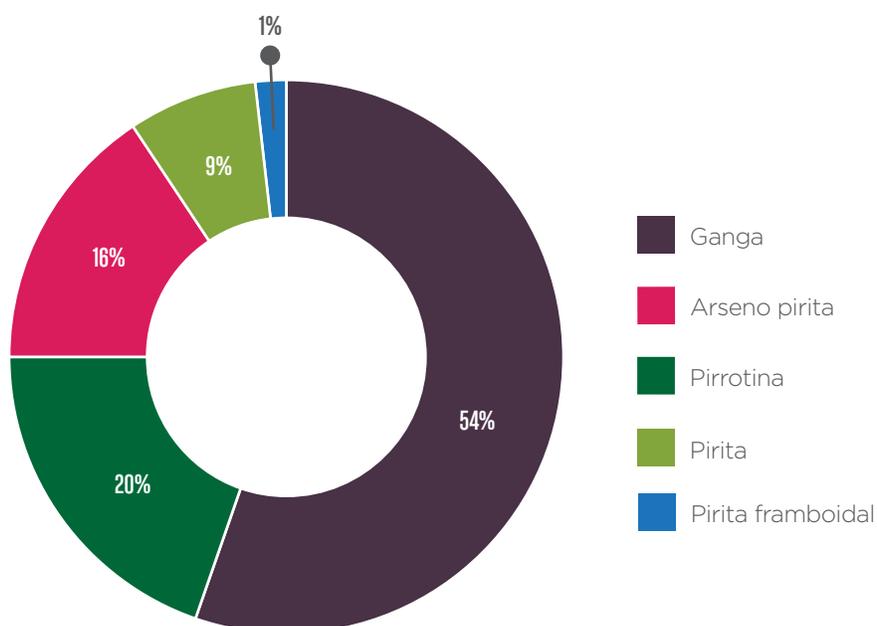
## 4.2.5. LIBERACIÓN DE SULFUROS

### 4.2.5.1. MUNICIPIO DE LA LLANADA

La distribución mineralógica de cabeza, procesó un contenido de pirrotina del 20 %, arsenopirita 16 %, pirita 9 % y el restante 54 % correspondiente a ganga de cuarzo y carbonato. Se destaca la presencia de pirita framboidal derivada de la descomposición de la pirrotina.

Figura 4.30: Composición mineralógica material de cabeza en la zona de La Llanada.

Fuente: Propia.



La distribución de sulfuros de acuerdo a su asociación muestra que se encuentran esencialmente libres tanto pirrotina como calcopirita en porcentajes del 18 % y 15 % respectivamente. La pirita es el sulfuro que permanece aún asociado o incluido en ganga.

El grado de liberación establecido para el material de cabeza, indica un incremento de partículas en el rango de 300 a 400 micrómetros entre el 40 % y 70 %. De tal manera que en malla 300, el 80 % de los sulfuros puede ser liberado y por debajo de 50 micrómetros el 96 %.

### 4.2.5.2. MUNICIPIO DE LOS ANDES SOTOMAYOR

El grado de liberación para la mina La Gualconda, establece un 90 % de partículas liberadas a 600 micrómetros. La liberación se hace constante de tal manera que a 150 micrómetros se obtiene un 96 % de liberación. En términos prácticos, en cuanto la mena, no presenta dificultades en la liberación de sulfuros.

Figura 4.31: Grado de liberación material de cabeza en la zona de La Llanada.

Fuente: Propia.

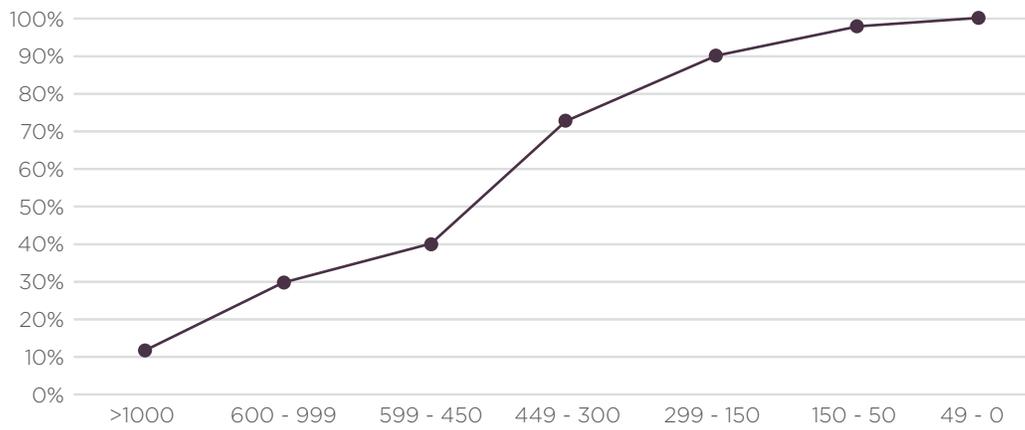


Figura 4.32: Composición mineralógica material de cabeza en la zona de Los Andes Sotomayor.

Fuente: Propia.

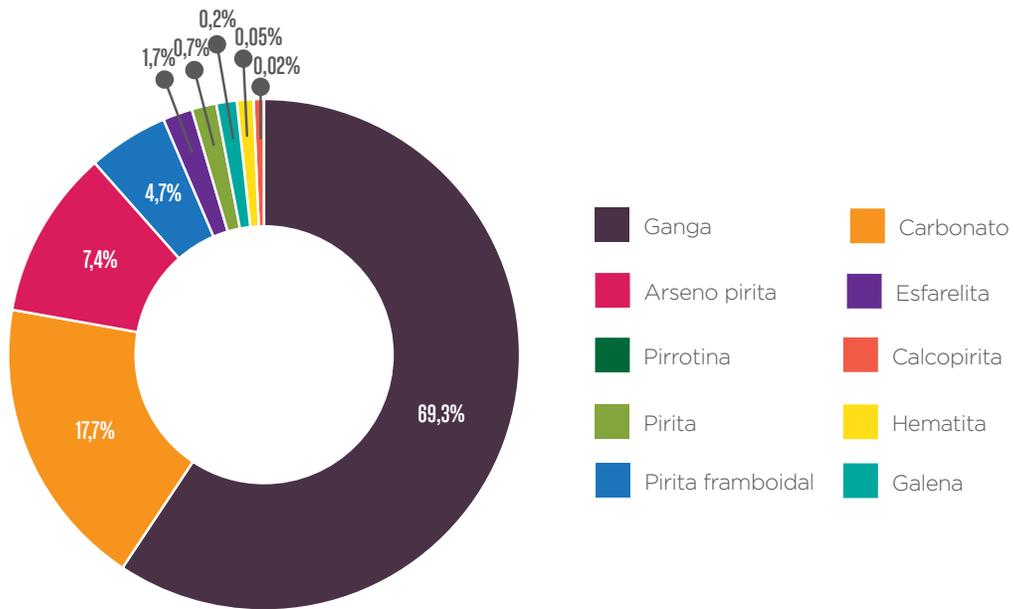
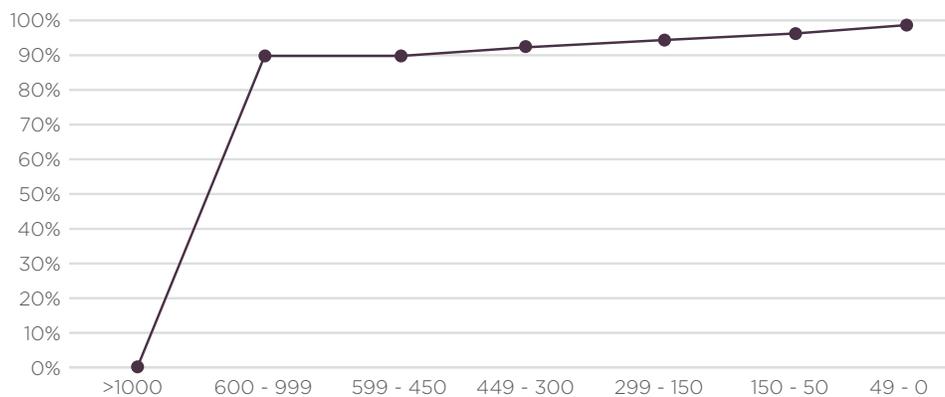


Figura 4.33: Grado de liberación material de cabeza en la zona de Los Andes Sotomayor.

Fuente: Propia.





### 4.3. CONSIDERACIONES GENERALES EN GEOLOGÍA Y MINERALOGÍA

- La mineralización aurífera sigue un patrón estructural que permite que los filones se orienten en dirección N20-40W, E-W y N10-20E, siguiendo los sistemas de fallas establecidos de acuerdo al ambiente tectónico dominante.
- Se atribuye una fuente de mineralización relacionada con fluidos metamórficos, lo cual implica baja reactividad de las rocas encajantes y ocurrencia relacionada solo en estructuras falladas.
- La silicificación de las rocas encajantes provee sostenimiento a las galerías, pero incrementa los costos de voladura, mientras que en las zonas donde se presenta alteración por sericitización, se pueden afectar los procesos de beneficio con el aporte de minerales de arcilla. Algunas menas proveen carbonatos como producto de alteración de la roca encajante. Este mineral contribuye a la neutralización de drenajes ácidos.
- La mineralización aurífera de los municipios de La Llanada- Sotomayor se caracteriza por filones de cuarzo ricos en sulfuros principalmente arsenopirita y pirrotina, con cantidades menores de esfalerita, calcopirita y galena.
- La abundancia de pirrotina se ha visto relacionada con la cercanía a cuerpos de afinidad ígnea (basaltos y tonalitas), algunos con alteración propilítica, mientras que la abundancia de arsenopirita ocurre cuando la mineralización está hospedada en rocas metasedimentarias.
- Los resultados obtenidos indican que los fluidos mineralizantes son ricos en CO<sub>2</sub>. La salinidad del fluido es relativamente baja ya que está por debajo de 7 % wtNaCl, las temperaturas de formación del depósito oscilan entre 320°C a 380°C considerado un rango de temperatura moderado a alto.
- Los fluidos con estas características corresponden a fluidos metamórficos, más que fuentes magmáticas, con lo cual, se plantea un posible depósito orogénico.
- La alteración hidrotermal poco representativa está limitada a la sericitización en los bordes de los filones, acompañada de pirita o de pirrotina, mientras que eventualmente se presenta alteración propilítica alrededor de los filones cuando están hospedados en rocas ígneas intrusivas y lavas basálticas. Por otro lado, la silicificación de rocas metasedimentarias por contacto con rocas ígneas en común en algunas minas.
- La secuencia paragenética se resume en tres eventos mineralizantes: el primero permite cristalización de cuarzo y pirrotina, un segundo evento permite la precipitación de arsenopirita, pirrotina y pirita seguida de calcopirita, esfalerita y galena, y para el tercer evento se precipita galena y sulfosales de plomo y antimonio. También cada evento viene acompañado con precipitación de oro.



#### 4.4. CONSIDERACIONES EN GEOLOGÍA Y MINERALOGÍA PARA AL BENEFICIO METALÚRGICO

- Se han diferenciado dos unidades geometalúrgicas La primera (UGM1) de media a alta refractariedad que implica altos contenidos de pirrotina, Dado que la pirrotina es reactiva en los procesos de beneficio, con la generación natural pirita framboidal y pirita secundaria con respectiva producción de drenaje ácido.
- La otra unidad geometalúrgica (UGM2) tiene altos contenidos de arsenopirita y pirita encajadas en rocas sedimentarias, consideradas de baja refractariedad, casi siempre asociada a zonas brechas y cizalla, lo cual implica alguna dificultad para el desarrollo minero y presencia de cantidades variables de arcillas.
- Un contenido superior al 50 % de partículas de oro es inferior a 50 micrómetros, por tanto se plantea la necesidad de concentrar la menas por métodos no convencionales, para incrementar la recuperación del oro por gravimetría.
- La distribución de tamaño de oro en veta intacta indica un contenido dominante menor a 100 micrómetros incluidos principalmente en arsenopirita y pirrotina mientras que la ley del oro oscila entre ley 600 y ley 900.
- En cabezas de beneficio la distribución de oro se encuentra de tamaño mayor a 100 micrómetros solo el 33 % el cual puede ser recuperado por medios convencionales.
- La identificación de mercurio en cantidades traza en los granos de oro indica que existe un background de contenidos de mercurio de origen natural y no debe considerarse como contaminación antrópica en la región.

Se han identificado dos unidades geometalúrgicas, la primera (UGM1) de media a alta refractariedad que implica altos contenidos de pirrotina. La cual es reactiva en los procesos de beneficio.

La otra unidad geometalúrgica (UGM 2) tiene altos contenidos de arsenopirita y pirita encajadas en rocas sedimentarias, consideradas de baja refractariedad.

Construcción exclusiva con tanques para cianuración con carbón activado.  
Fotografía tomada por: Benedicto Galindo / Servicio Geológico Colombiano

## 5. ASPECTOS METALÚRGICOS

En este capítulo se muestran los diferentes aspectos metalúrgicos que se deben tener en cuenta, partiendo del 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 METALURGICO

## 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 recubrimientos.

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

Figura 5.1: Diagrama de proceso 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



Molino Chileno



Molino de bolas

### CONCENTRACIÓN GRAVIMÉTRICA

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



Mesa Wilfley



Canalones

### FLOTACIÓN

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



Celdas de flotación



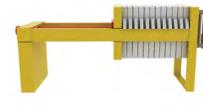
Reactivos

### CIANURACIÓN

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



Tanques agitadores



Separación de sólidos y líquidos



Merrill Crowe

### FUNDICIÓN



Crisol

### TRATAMIENTO RESIDUOS SÓLIDOS EN AGUAS

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

## 5.1.2. PROCESO DE CONMINUCIÓN (TRITURACIÓN Y MOLIENDA)

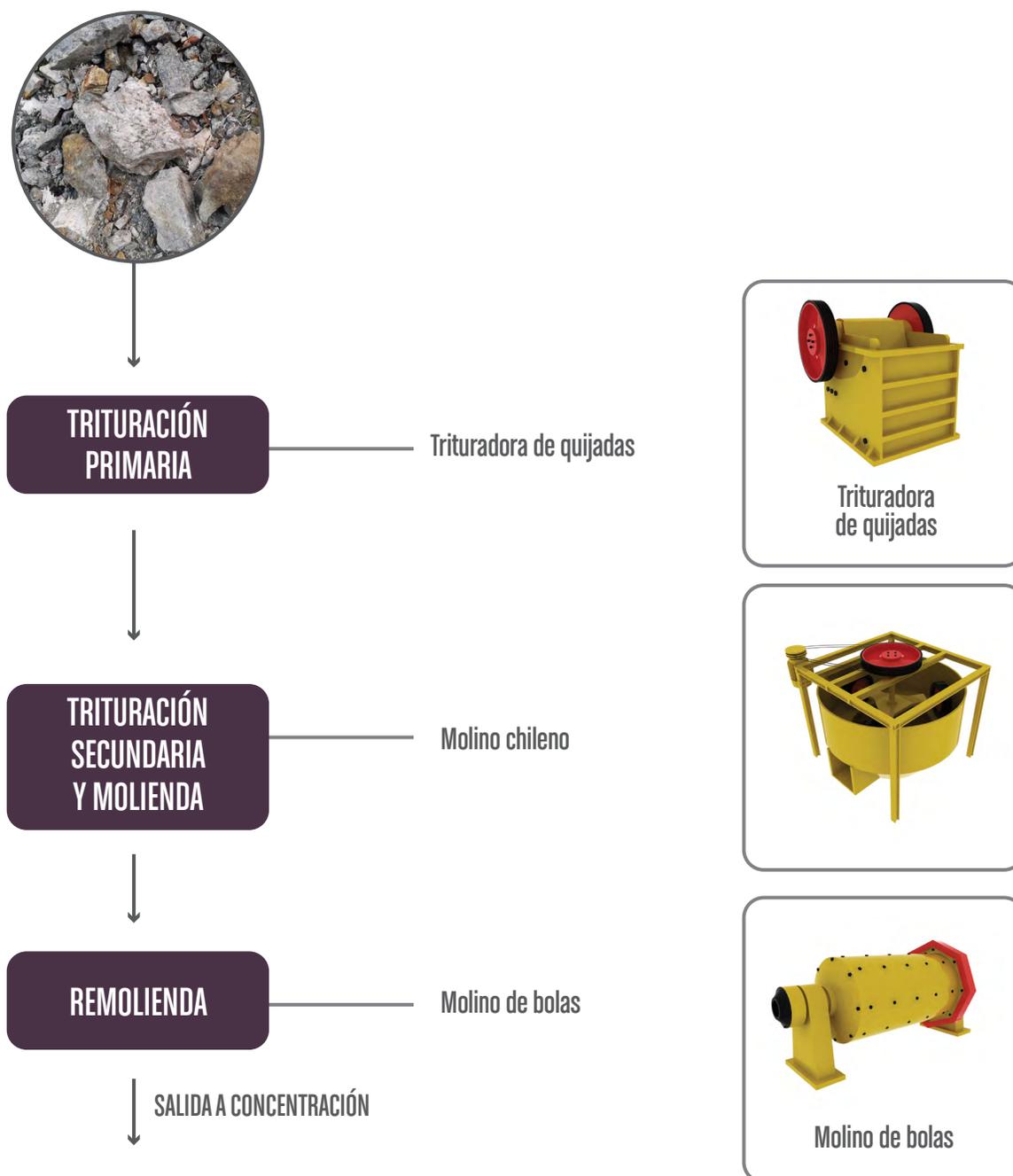
La conminución o reducción de tamaño de un material, es una etapa importante y normalmente la primera en el procesamiento de minerales. Los objetivos de la conminución pueden ser:

- Producir partículas de tamaño y forma adecuados para su utilización directa
- Liberar los materiales valiosos de la ganga, de modo que ellos 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 entregar a la molienda, en diferentes etapas, un tamaño de partícula 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 (GRUESA)

Para la trituración gruesa se emplean las trituradoras de quijadas y giratorias (cónicas). Los tamaños de alimentación pueden variar, según el tamaño de la planta de beneficio. Así, para plantas que procesan más de 1000 t/h pueden tener 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

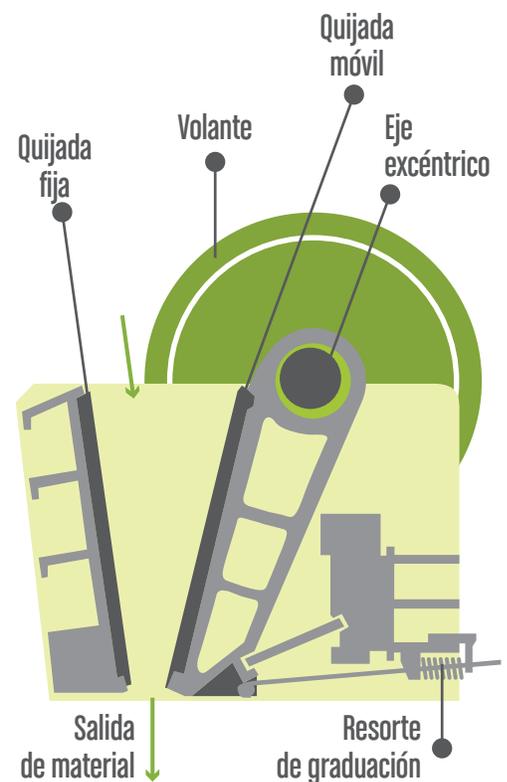
En la trituradora de quijadas, el material se tritura mediante compresión, en combinación con la penetración, y por la flexión entre las quijadas fija y móvil. La quijada móvil se aproxima (durante la marcha de trabajo) o se aleja (durante la marcha en vacío) de la quijada fija, al rotar el árbol excéntrico. 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.

VARIABLES DE ENTRADA	VARIABLES DE OPERACIÓN
· Ángulo de pellizco	· Ancho de abertura de la boca
· Diámetro mineral inicial	· Longitud de la boca
· Diámetro mineral final	· Altura de la pared delantera
· Índice de Bond (kWh/t)	· Capacidad (t/h)
· Coeficiente de variación de peso	· Velocidad (rpm)
· Densidad mineral	· Velocidad crítica (rpm)
· Eficiencia	· Velocidad óptima (rpm)
· Múltiplo de variación de longitud de boca.	· Potencia requerida (HP)



El molino chileno es una máquina versátil que permite triturar, moler y concentrar el oro grueso. Para el caso de las asociaciones, es muy útil debido a que cada minero puede trabajar su material sin que exista mezcla con materiales de diferentes minas.

Fotografía 6: Modelo de un molino chileno.  
Fuente: Propia.



### 5.1.2.2. TRITURACIÓN SECUNDARIA (FINA)

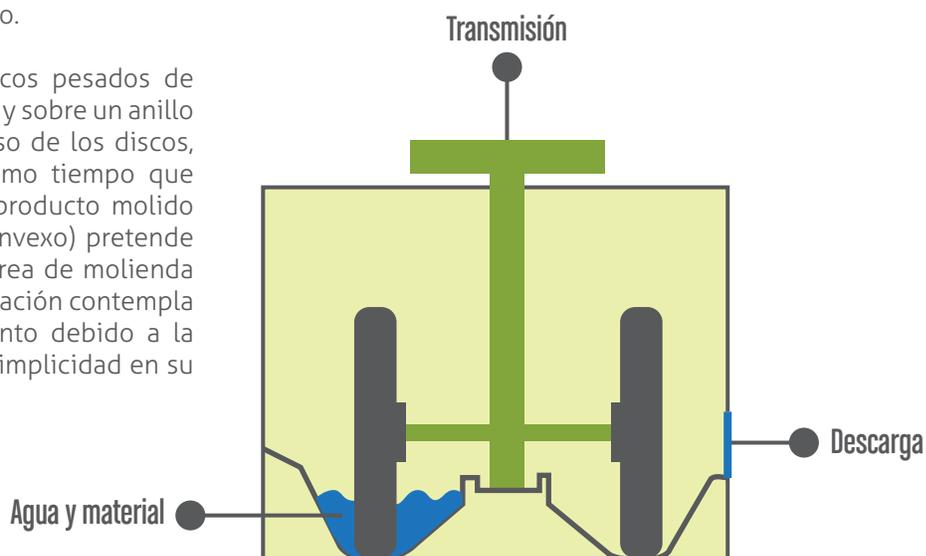
Después de la trituración gruesa, el material se somete con frecuencia a una trituración siguiente, en las máquinas de trituración media y fina, en las cuales el proceso se realiza con el tamaño de salida de la trituración primaria hasta tamaños tan pequeños como de 10 mm. Para la trituración media y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

#### MOLINO CHILENO

El molino chileno es la versión moderna del antiguo molino de arrastre. Es una herramienta versátil pues cumple la función de triturador secundario y molienda. Por ser de fácil limpieza, no retiene material dentro como sí pasa con el molino de bolas; además, cumple funciones de concentrador de partículas gruesas y pesadas como el oro.

El molino consiste esencialmente en discos pesados de acero que giran alrededor de un eje vertical y sobre un anillo con una superficie cóncava. Debido al peso de los discos, estos muelen el material cargado al mismo tiempo que crean corrientes las cuales desplazan el producto molido hacia la salida. Este diseño (cóncavo y convexo) pretende mantener el mineral siempre dentro del área de molienda evitando la dispersión o derrame. Esta operación contempla bajos costos de operación y mantenimiento debido a la amplia vida útil de sus componentes y la simplicidad en su funcionamiento.

Figura 5.4: Diagrama de funcionamiento un molino chileno.  
Fuente: Propia.



MODELO	CAPACIDAD (t/h)	DIÁMETRO DEL MOLINO (m)	POTENCIA DEL MOTOR (HP)	PESO APROX. DE DISCOS DE MOLIENDA (kg)
1	12-30	1,5	6	500
2	30-60	1,8	12	1000
3	70-120	2,5	18	1750

### 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 en la molienda fina. La molienda gruesa se conoce en la práctica como *convencional*.

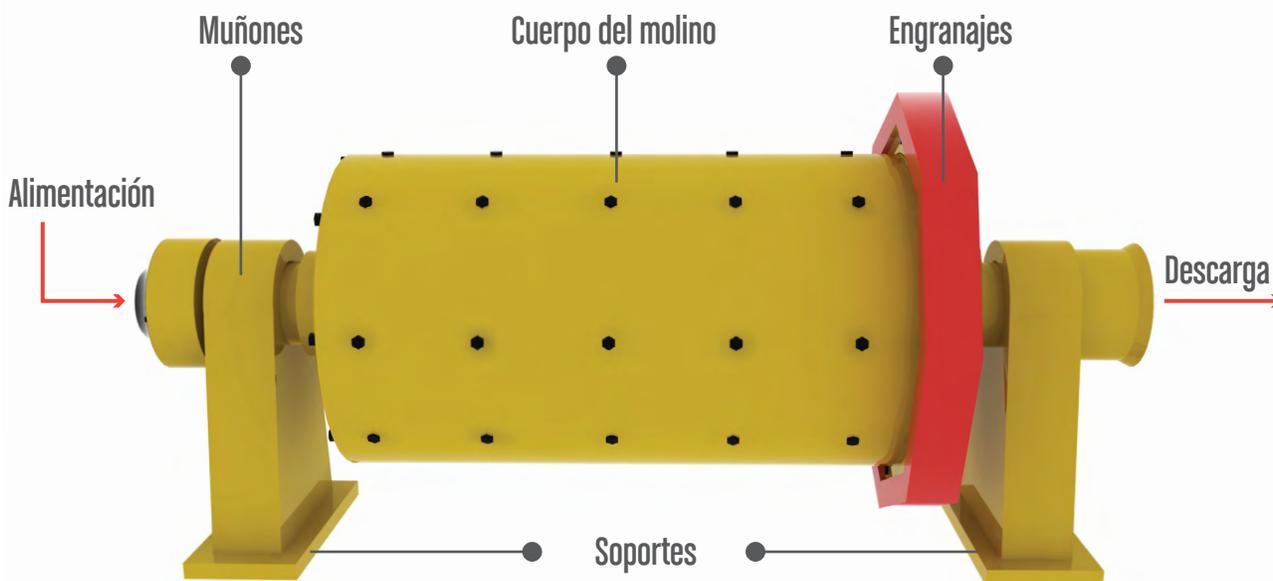
#### OBJETIVOS DE LA OPERACIÓN

Según el destino que se dé al producto, si la molienda antecede a un proceso de concentración en un circuito de beneficio mineral, puede haber dos objetivos:

- 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 antes 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 molidores (bolas de acero, barras y cilindros de acero o guijarros, etc.). Durante la rotación del tambor, los medios molidores 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 y muelen el material por impacto, aplastamiento y fricción.

Las bolas (cuerpo molidor) están completamente sueltas, móviles y son relativamente grandes o pesadas, comparadas con las partículas de material que se molerá. Los medios molidores (bolas) son arrastrados y levantados 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 así las partículas por impactos y fricciones continuas y repetidas. Esto se logra cuando el molino gira por debajo de su velocidad crítica.

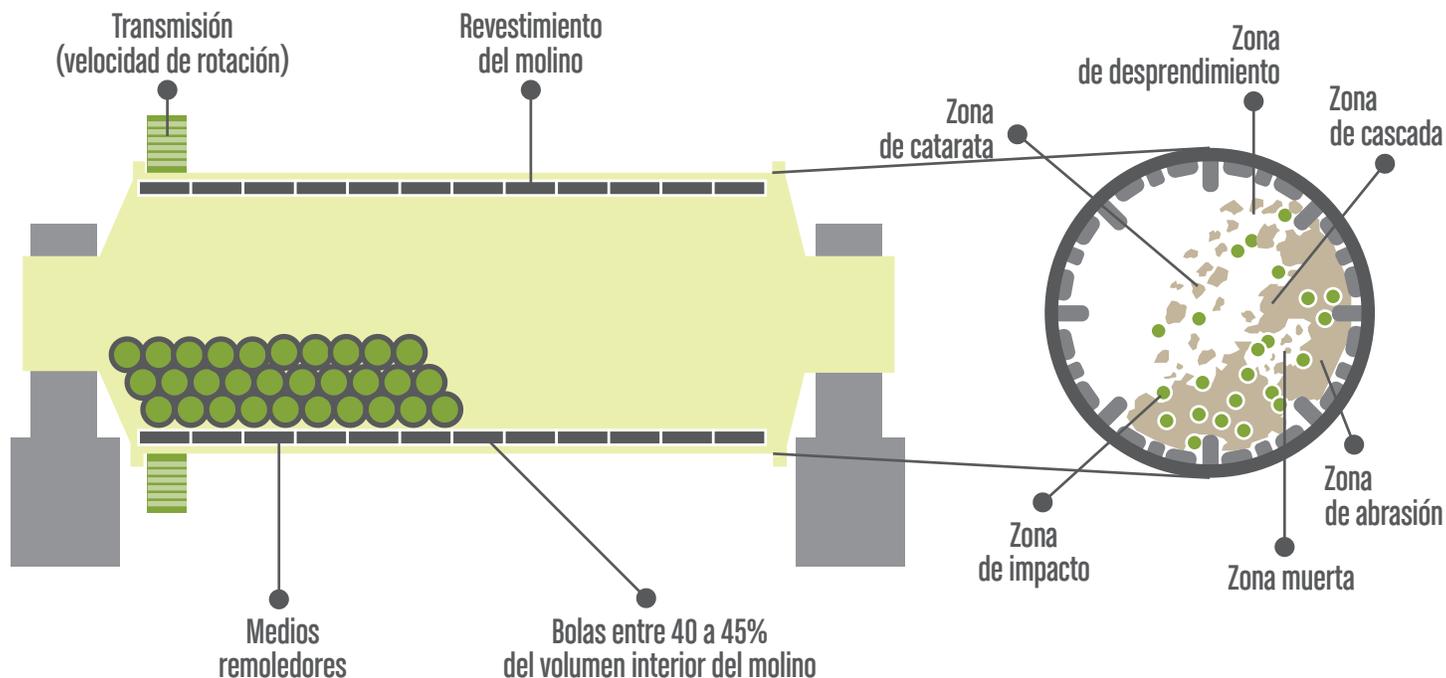
**La velocidad crítica es la velocidad en la cual la fuerza centrífuga, por efecto de giro del molino hace que los cuerpos molidores se mantengan adheridos a la pared del molino y no caigan antes de dar un giro completo.**

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

$V_c$  = Velocidad crítica del molino, rpm  
 $D_m$  = Diámetro interior del molino, m

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

Fuente: Propia.



MODELO	DIÁMETRO x LARGO (mm)	MOLINO (R.P.M.)	MOTOR (H.P)	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

Se requiere un molino de bolas remolador para reducir el tamaño de los rechazos de los procesos gravimétricos en aras de obtener una mejor recuperación en los procesos posteriores como la flotación y cianuración.

#### 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

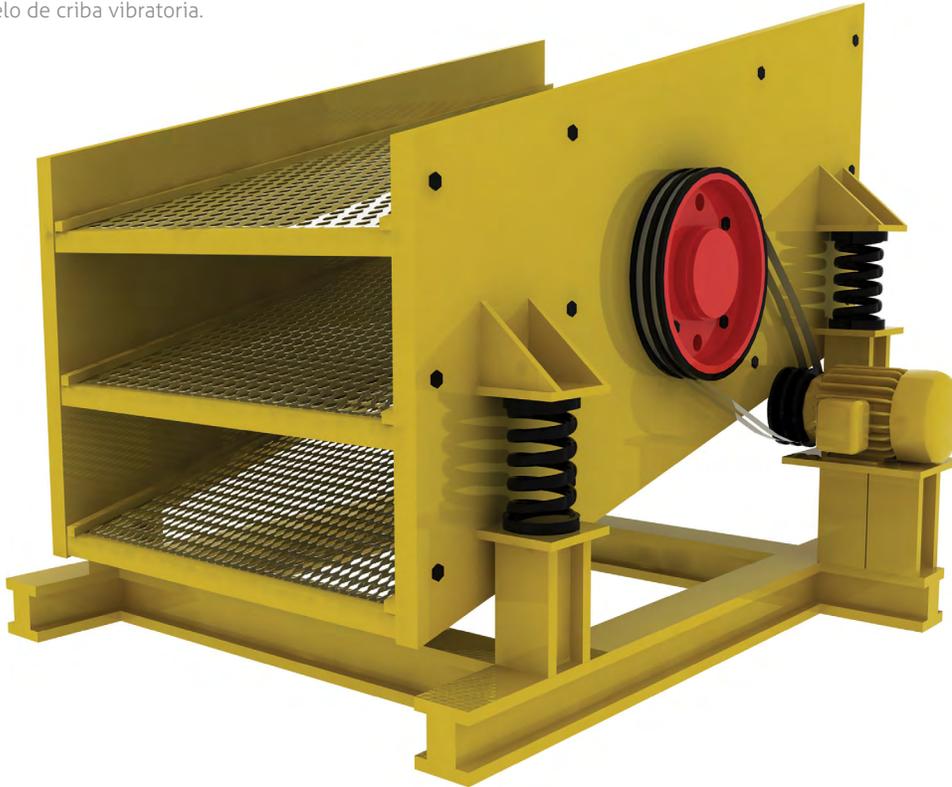
#### VARIABLES DE OPERACIÓN

- 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. La clasificación granulométrica 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 pasan a través del tamiz (corriente B, llamada de bajo tamaño) y partículas que quedan 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, independientes 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 de pasar a través de la abertura del tamiz.

Las partículas sobre la superficie de trabajo se estorban unas a 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 tres factores:

- De las dimensiones de las partículas y del 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: los clasificadores hidráulicos de corriente horizontal accionados mecánicamente y los hidrociclones.

Fotografía 9: Modelo de hidrociclón.  
Fuente: Propia.



### HIDROCIKLÓN

El hidrociclón es un equipo que se emplea, entre otras cosas, para clasificar partículas de relativamente bajo tamaño (entre 300 y 5 micrones, aproximadamente).

La palabra *hidrociclón* está compuesta por el prefijo *hidro*, que se refiere a operación por vía húmeda (generalmente agua), y *ciclón*, que alude 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.

Partamos del hecho de que la pulpa entra con una alta velocidad tangencial, la que crea 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; esta fuerza 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 originado por un semivacío que se produce en el centro del hidrociclón.

La diferencia de presión entre el vórtice y su centro origina una fuerza que trata 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 lo 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 evacuar el material fino, mientras que por la descarga saldrán las partículas más gruesas de la distribución granulométrica que ingreso al equipo.

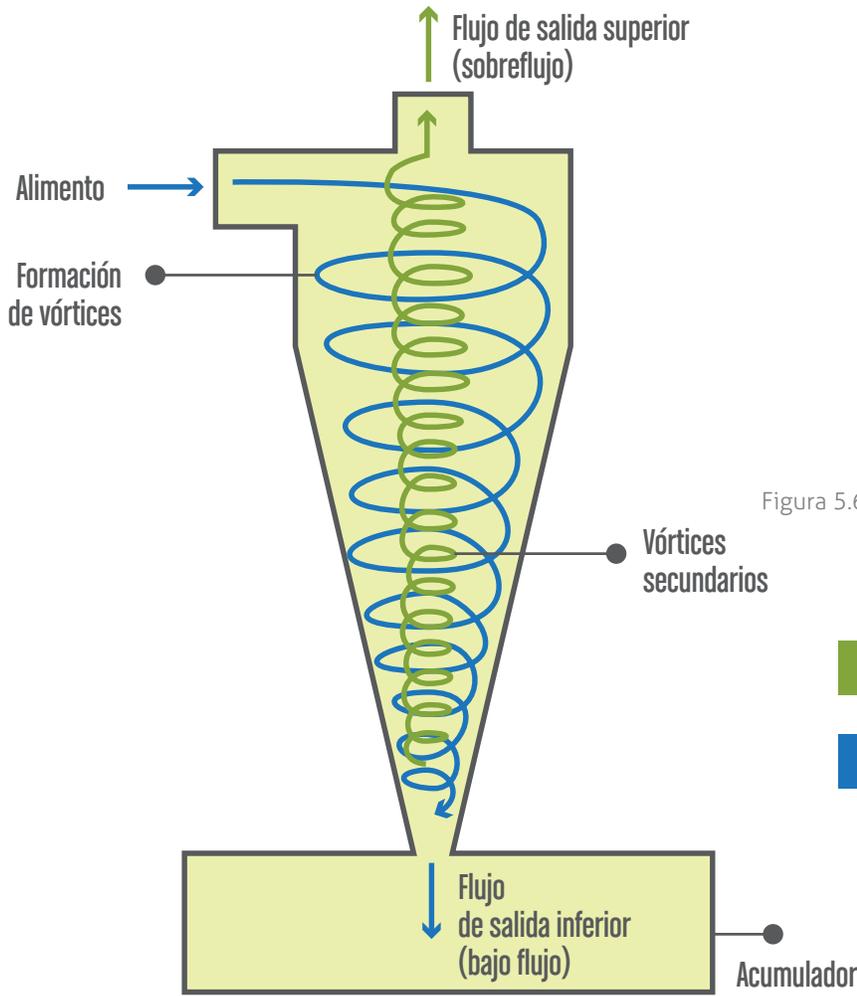


Figura 5.6: Diagrama de funcionamiento de un hidrociclón. Fuente: Propia.

- Trayectoria típica de partículas pequeñas y livianas
- Trayectoria típica de partículas grandes más pesadas

**VARIABLES DE OPERACIÓN**

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

**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)

PULGADAS	DIÁMETRO (mm)	ALTURA (mm)	PESO (Kg)	VOLUMEN (m <sup>3</sup> )	CAUDAL (m <sup>3</sup> /h)	PRESIÓN MÁX: (Kg/cm <sup>2</sup> )
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 en lo posible la pérdida de mineral.

El concepto de tenor es importante en el desarrollo de los objetivos que se pretenden alcanzar en la concentración de minerales. Podemos definir el tenor de un mineral como la relación que existe entre la cantidad másica o volumétrica de mineral de interés, o útil (oro), respecto de 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/m<sup>3</sup>).

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

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 la colas debe ser nulo o cercano a cero. Como en todos los procesos no hay escenarios perfectos, este debe minimizarse en la medida de lo 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 de 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 que no hay que alimentar las máquinas de concentración con distribuciones granulométricas muy amplias, es decir, en las que 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.

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

$\rho_h$  = Densidad del mineral pesado.

$\rho_f$  = Densidad del medio fluido.

$\rho_l$  = 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  
Difícil  
Muy difícil  
No posible

## CANALONES

Los canalones son medios concentradores sencillos que constan de canales rectangulares ligeramente inclinados, de fondo plano, cubiertos por bayetas (láminas de tejodos que retienen las partículas pesadas).

Por estos canales pasa una corriente con un flujo de pulpa (25-30 % sólidos) descendiente. Las partículas de minerales más gruesas son atrapadas en el fondo de la bayeta y las partículas más finas siguen su curso descendiente sin ser recolectadas por el canalón, posteriormente el material retenido es recolectado en tanques para su tratamiento.

Para este tipo de minería estos canalones son generalmente construidos en concreto, aunque también se encuentran fabricados en aceros convencionales o aceros inoxidable.

Fotografía 10: Modelo de canalones.  
Fuente: Propia.



Las partículas en el fondo de la película de agua se ven afectadas por los siguientes factores:

- Pendiente del canalón.
- Espesor de la película de agua (caudal).
- Los coeficientes de fricción entre las partículas y la superficie.
- La gravedad específica de las partículas.
- La forma de las partículas.
- La rugosidad de la cubierta.

### VARIABLES DE DISEÑO DE LOS CANALONES

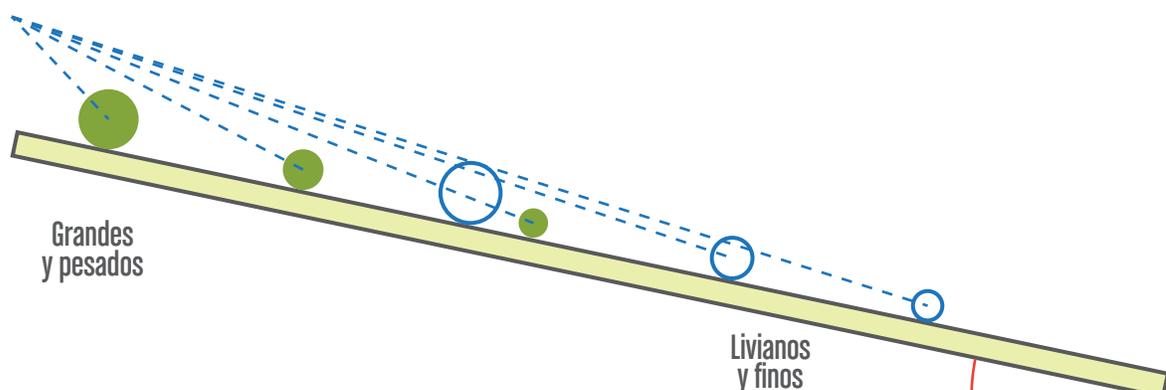
**Ancho:** es una de las dos variables más importantes. Existen dos problemas en la escogencia del ancho ideal. En el primero, es deseable tener un ancho angosto para tener películas de fluido profundas y permitir la evacuación de partículas grandes, pero genera la pérdida de oro fino. La segunda es que un ancho mayor genera películas poco profundas, lo cual mejora la recuperación del oro, pero la capacidad de arrastre es baja.

Lo anterior indica que es necesaria una clasificación previa al proceso y que los anchos más comunes y efectivos son de 42" a 40".

**Longitud:** la longitud del canalón depende de la cantidad de finos presentes en la alimentación. La mayoría de partículas gruesas se recupera en los primeros metros, mientras que los finos requieren de mayor longitud.

**Inclinación:** las pendientes de los canalones se expresan en porcentajes, las pendientes más usadas son entre 4 y 5%.

Figura 5.7: Diagrama de principio funcionamiento de los canalones.  
Fuente: Propia.



## MESAS DE CONCENTRACIÓN (MESA WILFLEY)

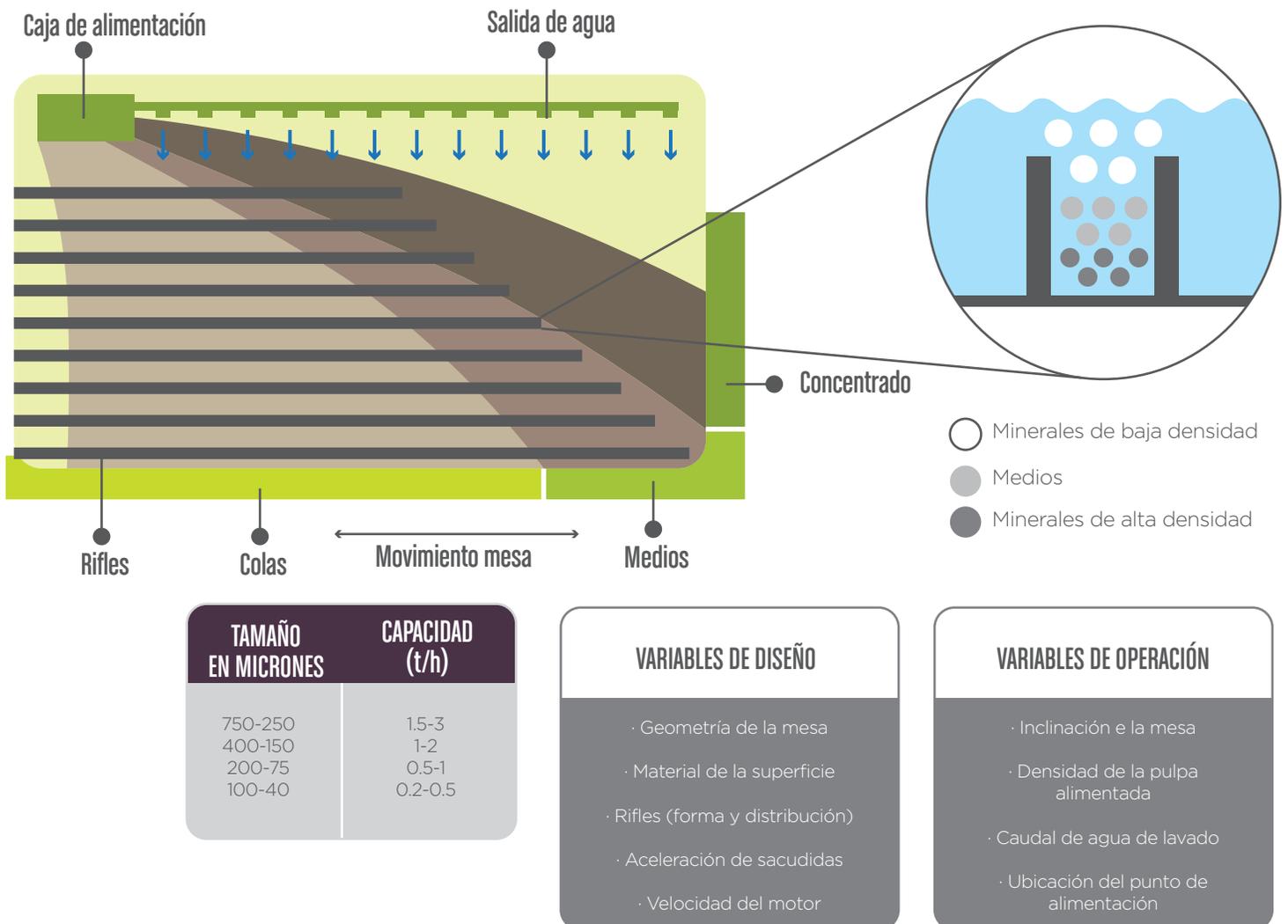
Este concentrador consiste en una mesa ligeramente inclinada, sobre la cual la alimentación con un porcentaje de casi un 25% en peso de sólidos se introduce en la caja de alimentación y se distribuye por medio del agua de lavado que se introduce a lo largo de la superficie por el lado de la alimentación. La mesa vibra longitudinalmente por medio del mecanismo, lo que produce un desplazamiento lento hacia la izquierda y un retorno rápido hacia la derecha. Esto hace 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, medios (mezcla de concentrado y ganga) y colas (ganga liberada).

Fotografía 11: Modelo de mesa de concentración.  
Fuente: Propia.

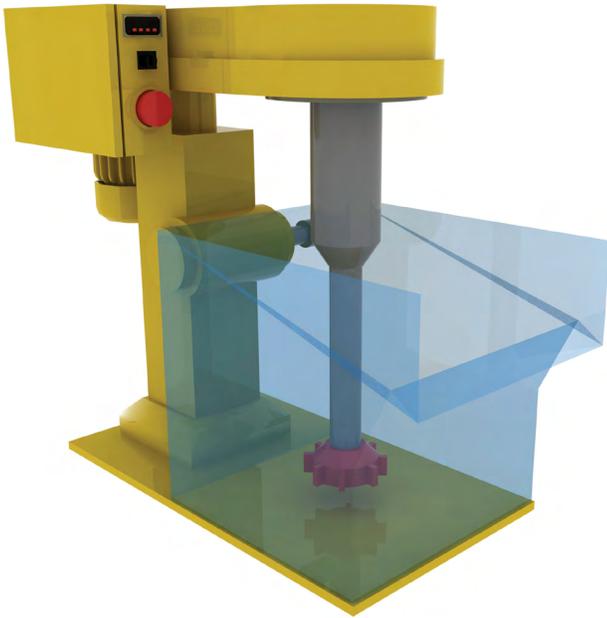


Figura 5.8: Diagrama de funcionamiento de una mesa de concentración gravimétrica.  
Fuente: Propia.



## 5.1.6. CONCENTRACIÓN DE MINERALES AURÍFEROS POR FLOTACIÓN

Fotografía 12: Modelo de celda de flotación para laboratorio.  
Fuente: Propia.



Fotografía 13: Modelo de celda de flotación industrial.  
Fuente: Propia.

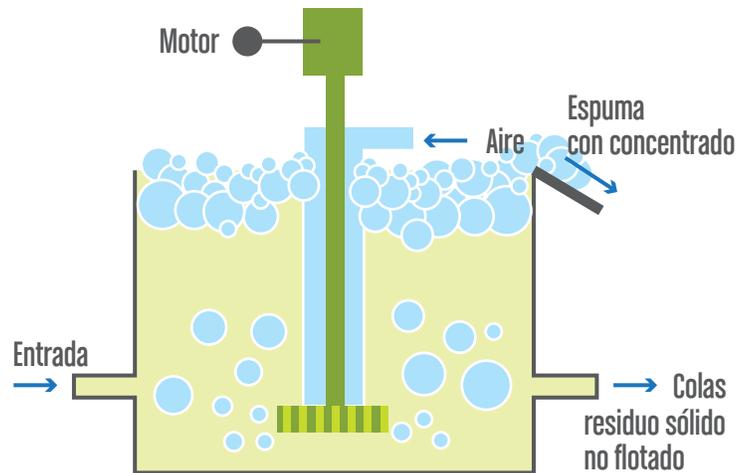


La flotación espumante se basa en la capacidad que tiene la superficie de un sólido de ser humectada o no por el agua.

Cuando dicho sólido se deja humectar, se dice que es hidrofílico (adsorbe agua en su superficie), mientras que si no se deja mojar, es hidrofóbico. Al introducir estos últimos en agua, sus superficies no formarán enlaces con los grupos polares; por ende, en presencia de una burbuja que asciende, este se adhiere y la acompaña a flotar en la superficie.

Para retirar este mineral es necesario agregar un reactivo químico (tensoactivo) que 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, de forma 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 reactivo se denomina agente colector, y es de enorme importancia en la operación.

Figura 5.9: 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 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

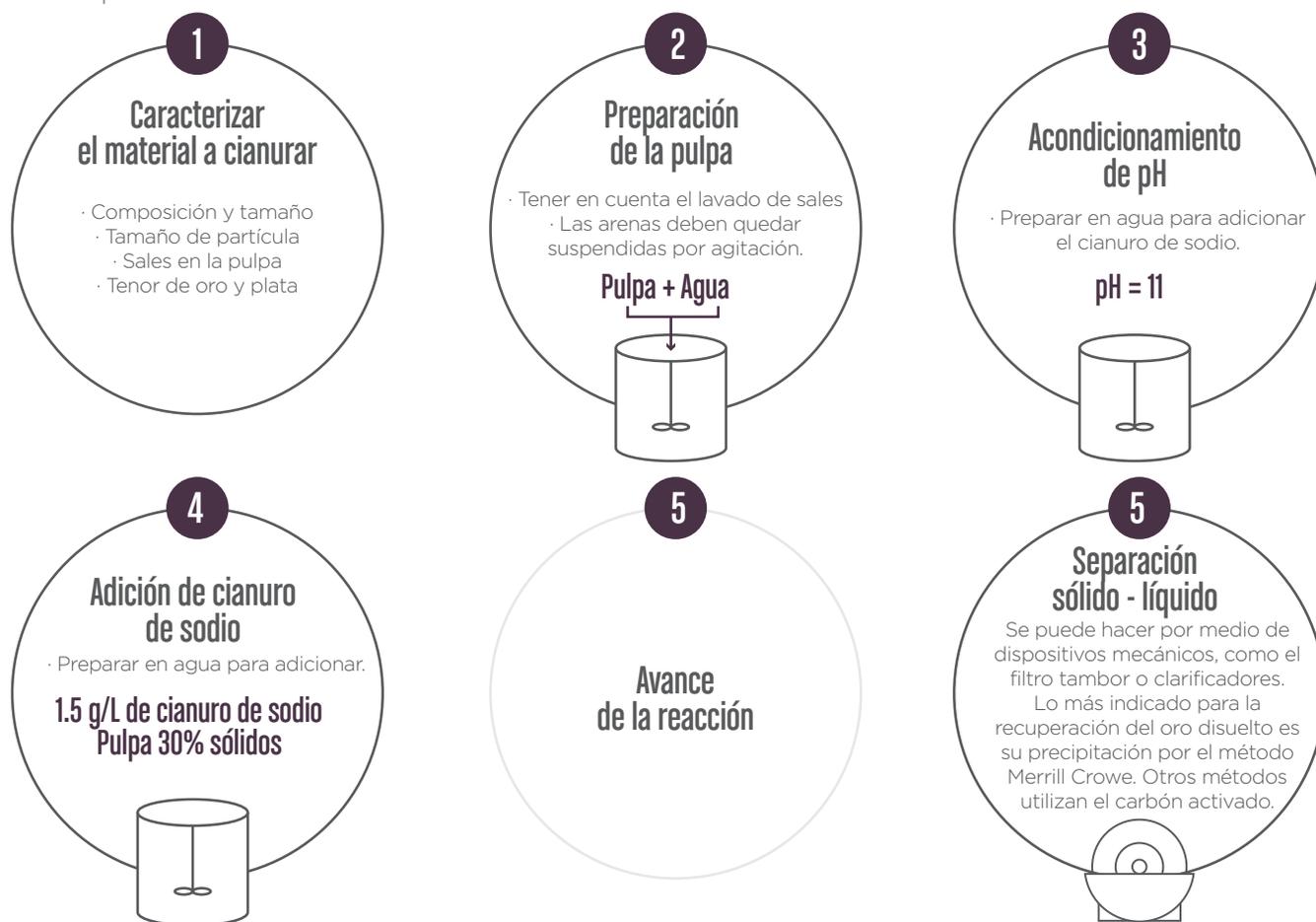
El proceso de lixiviación de oro con cianuro es el principal método desarrollado para extraer el metal, y es utilizado en prácticamente todas las grandes operaciones mineras del mundo.

Las razones para su gran aceptación son tanto económicas como metalúrgicas. En general, con este método se recupera más 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 es 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 hacia otros materiales.

Figura 5.10: 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. 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<sub>2</sub> presente en el medio ambiente.
- Para neutralizar compuestos ácidos de las menas, tales como sales ferrosas y sulfato de magnesio en las aguas de las plantas antes de ser agregadas al circuito de cianuración

**Un pretratamiento con hidróxido de sodio (NaOH) al 5 %, reduce los consumos de cianuro hasta 4 veces. Las cianuraciones de concentrados requieren tiempos de hasta 56 horas.**

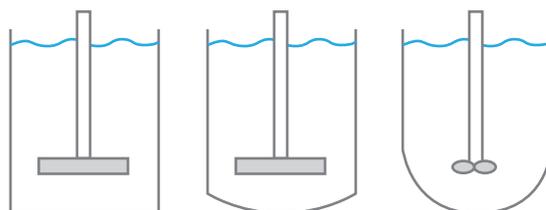
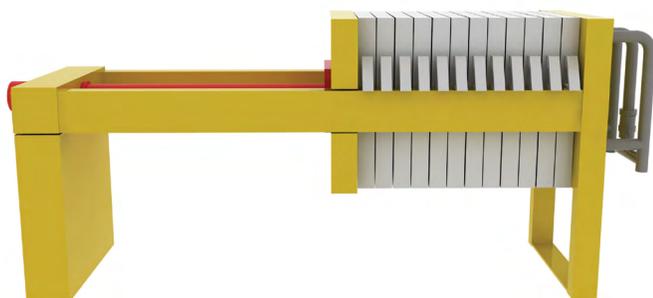
- Para descomponer el bicarbonato en las aguas de las plantas antes de usarse en la cianuración
- Para ayudar a la sedimentación de partículas, de tal manera que se pueda obtener una solución clara durante la separación de la mena cianurada

Fotografía 14: Modelo de tanque agitador.  
Fuente: Propia.



Hay otros métodos para 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 del 80%. Esta pulpa puede impulsarse a un filtro prensa, filtro de tambor o llevarse a un tanque percolador para efectos de recuperar una solución rica y descomponer compuestos ambientalmente dañinos.

Fotografía 15: Modelo de filtro prensa y filtro de tambor.  
Fuente: Propia.

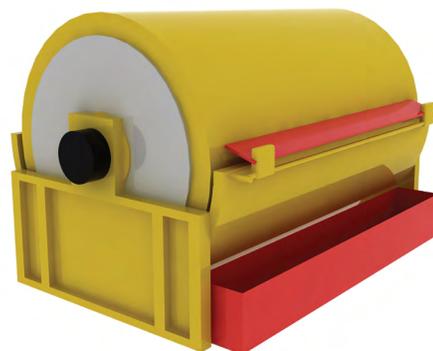


### VARIABLES DE ENTRADA

- Densidad del sólido ( $\text{kg/m}^3$ )
- Densidad del fluido ( $\text{kg/m}^3$ )
- 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 MERRIL CROWE

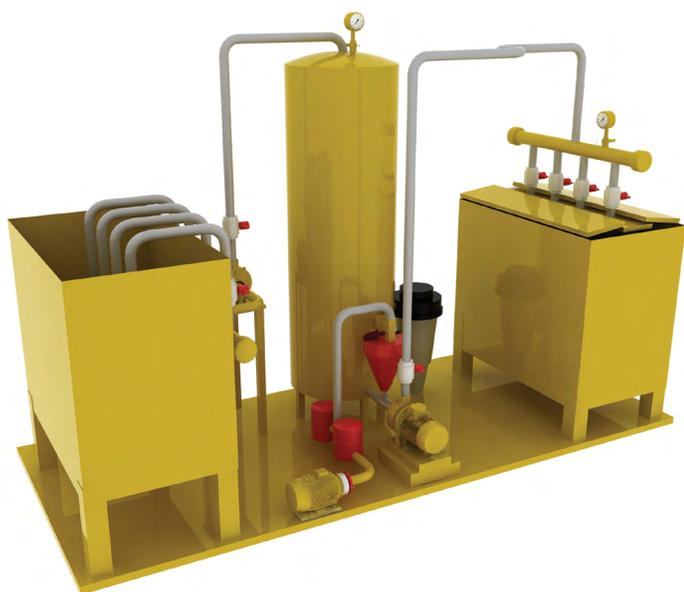
La cianuración industrial de un material aurífero produce una solución cuya concentración de oro está generalmente por encima de 2 miligramos de oro por litro (ppm), dependiendo del material lixiviado y del sistema utilizado.

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 la siguiente:

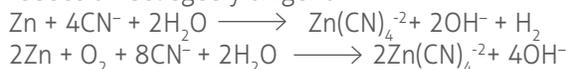


Fotografía 16: Modelo de planta de Merrill Crowe.

Fuente: Propia.



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



En la práctica se debe adicionar zinc entre cinco y diez 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 en 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 zinc en polvo).

La presencia de material particulado fino suspendido en la solución, especialmente arcillas y silicatos coloidales, reduce 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  $\text{Pb}^{2+}$  de 0,01 g/L ejercen un buen efecto en soluciones de 1 a 10 g/t de oro, y hay que tener cuidado 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 a los del plomo.

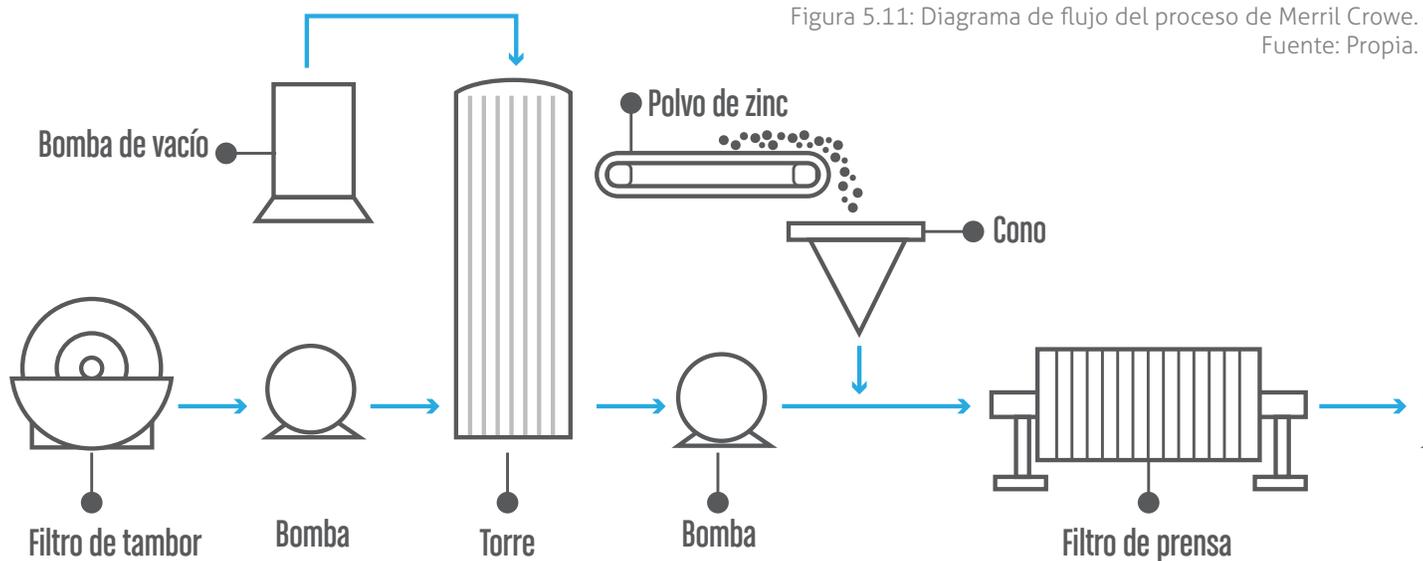


Figura 5.11: Diagrama de flujo del proceso de Merrill Crowe.

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 de 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

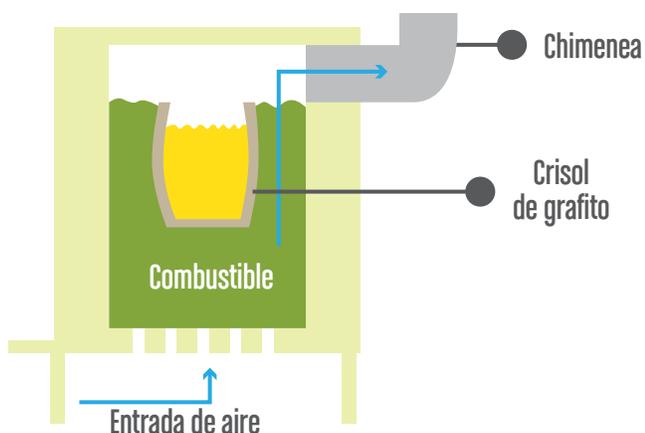
### FUNDICIÓN DIRECTA

La fundición directa de precipitados de metales preciosos es una técnica rutinaria utilizada 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, lo cual produce pérdidas que pueden variar del 1 al 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 que se van a utilizar. Entre los más comunes se encuentran los siguientes:

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

Las respectivas cargas se homogeneizan, 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 que oscila entre una y dos horas. 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 17: Modelo de horno con crisol.  
Fuente: Propia.



Figura 5.12: 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.

## 5.1.9. TRATAMIENTO DE RESIDUOS SÓLIDOS EN AGUAS

Para que exista un proceso de beneficio de oro sostenible es importante llevar a cabo el tratamiento de las soluciones resultantes de la cianuración con los métodos presentados en el punto 5.1.7 y una recirculación de las aguas que salen como rechazo en las colas de los procesos de concentración.

Debido a que en las operaciones de concentración es muy poco o nulo el uso de reactivos químicos, es ideal poder separar los residuos líquidos de los sólidos. Esto para llevar el agua recuperada de nuevo al circuito de beneficio y las colas sólidas a disposición en el patio de relaves. Para este fin, el uso de tanques espesadores es el método comúnmente empleado y óptimo para llevar a cabo dicha separación.

### TANQUE ESPESADORES

Los espesadores son usados para ampliar la concentración de sólidos de un fluido y así realizar una separación sólido líquido. El principio básico de operación de un espesador es el proceso en el que las partículas suspendidas en un líquido van cayendo directamente hacia la parte inferior del tanque por medio de la fuerza de gravedad, clarificando el líquido sobrenadante, el cual es descargado por rebose en la parte superior del tanque.

Fotografía 18: Modelo de tanque de sedimentación.  
Fuente: Propia.



La velocidad de asentamiento es directamente proporcional al tamaño y densidad de la partícula, como también de la densidad y viscosidad del fluido. Cuando las partículas suspendidas son muy pequeñas, se da una suspensión estable. Es entonces cuando se utilizan coagulantes o floculantes que rompan esta estabilidad de suspensión y así las partículas pequeñas se aglomeran y descienden.

Un espesador convencional está compuesto por tanques cilindro-cónicos, que constan de un mecanismo que hace girar las hélices que facilitan la descarga del producto por la parte inferior. La alimentación del material (pulpa) llega a un pozo circular en el centro del espesador, el cual, minimiza la agitación. Así obtiene el líquido claro que es descargado por rebose en la parte superior de dicho tanque.

El sistema de hélices consiste normalmente en dos brazos radiales unidos a un eje central, que, por medio de un motor instalado en la parte superior del eje, mueve lentamente las hélices con el fin de promover la colisión y adhesión de las partículas, arrastrándolas hacia el punto de descarga en la zona cónica.

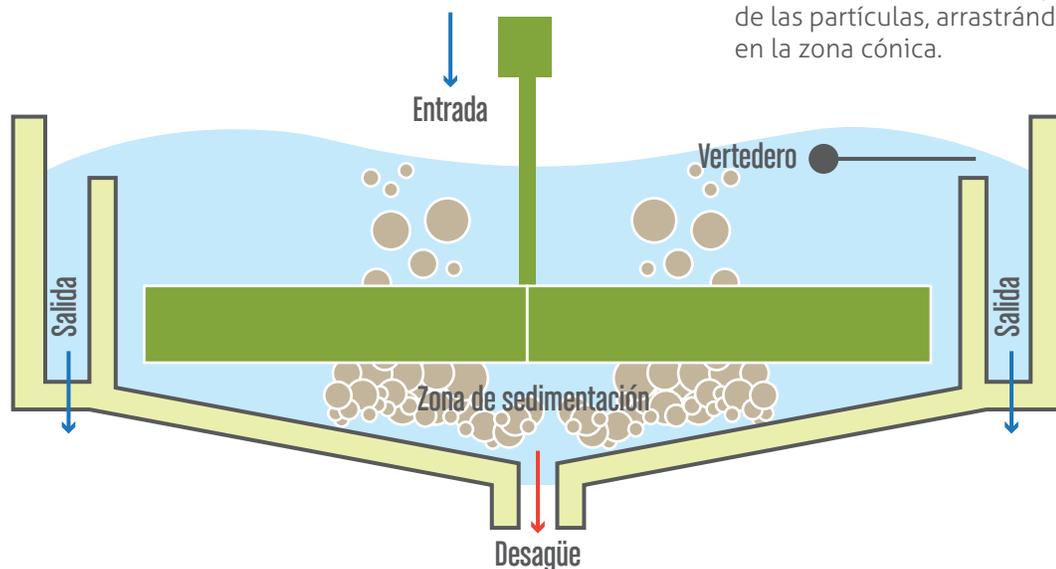


Figura 5.13: Diagrama de funcionamiento de un tanque sedimentador.  
Fuente: Propia.



## 6. ASPECTOS QUÍMICO-AMBIENTALES

La aplicación de métodos instrumentales y analíticos es la línea base de la caracterización fisicoquímica bajo la cual, se desarrolla una estructura de investigación encaminada al estudio químicos y ambiental.

Este marco presenta información obtenida en el área de La Llanada y Sotomayor en el departamento de Nariño, donde se tomaron muestras líquidas y sólidas representativas de la etapa final del proceso de extracción, las cuales, están relacionadas con la generación de residuos líquidos como los vertimientos y sólidos como los relaves. Algunos procesos aplicados para la extracción del metal precioso involucran el uso de compuestos químicos que pueden llegar a acumularse y ser tóxicos, por este motivo, el impacto en las fuentes hídricas influenciadas se evalúa a través de los sedimentos activos fase líquida y sólida tomados en las quebradas El Cisne, EL Canada, El Cedro, La Honda y El Purgatorio. Todo esto con el fin de encontrar información que permita evaluar el impacto de la minería de oro mediante una caracterización química-ambiental de la zona.

*La Ipomoea Aquatica Forsk (llamada: enredadera campanillera, jazmín de América, gloria de la mañana), es una hierba anual perteneciente al género Ipomoea.*

*Su presencia en el relave de la planta Nueva Esparta, la cual, presenta oxidación visible de material procesado (colores azul y café claro en la fotografía) posiblemente sea porque la misma encontró el ambiente adecuado con material disponible para su crecimiento como son los iones nitratos provenientes de los procesos de descomposición de aguas residuales de la cianuración. Se reproduce tanto por semillas como vegetativamente en los suelos ricos o fertilizados, los cuales, tienden a favorecer el crecimiento vegetativo sobre la floración. (Gómez, 2003).*

*En estudios de análisis bromatológicos realizados en semillas de la batatilla Ipomoea purpurea L. Roth, se destaca la presencia (por posible bioacumulación o traslocación hacia las semillas) de metales pesados como hierro (59,83 mg/kg), cobre (15,95 mg/kg), manganeso (17,34 mg/ kg) y zinc (39,03 mg/kg). Arias, H. (2011).*

*Otros estudios evaluaron potencial de fitorremediación para nitratos en diferentes concentraciones para la Ipomoea Aquatica encontrando remociones hasta del 91,8 %. Sundaralingam & Gnavelrajah (2013).*

Fotografía tomada por: Verónica Ruíz / Servicio Geológico Colombiano.



## 6. ASPECTOS QUÍMICO - AMBIENTALES

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

### 6.1. CONTRIBUCIÓN Y CARACTERIZACIÓN QUÍMICA, CONTROL DE PROCESOS METALÚRGICOS Y QUÍMICO-AMBIENTALES

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

Figura 6.1: Desarrollo de las etapas aplicadas en el control químico 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 de rayos X (composición de minerales), fluorescencia de rayos X (composición elemental), difracción láser (tamaño y distribución de partícula), potenciometría de ion 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.

Reúso 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 ambientalmente sostenibles.

Aplicación de pruebas para el análisis de toxicidad y contaminación como: TCLP (*toxicity characteris-tics leaching procedure*) y tratamiento de descomposición de cianuro libre y complejo en muestras residuales de proceso de cianuración (descomposición con peróxido de hidrógeno y sulfato ferroso).

## 6.2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS: MÉTODOS Y APLICACIONES QUÍMICO-AMBIENTALES

### 6.2.1 CONTAMINACIÓN POR MERCURIO EN MINERÍA

El mercurio (Hg), por ser líquido a temperatura ambiente y por tener una presión de vapor baja, tiene una movilidad significativa en el aire; el valor de solubilidad en agua, entre 0.02 mg/L y 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 una cadena trófica; las especies mayores, como el hombre, pueden acumularlo y biomagnificarlo en su organismo.

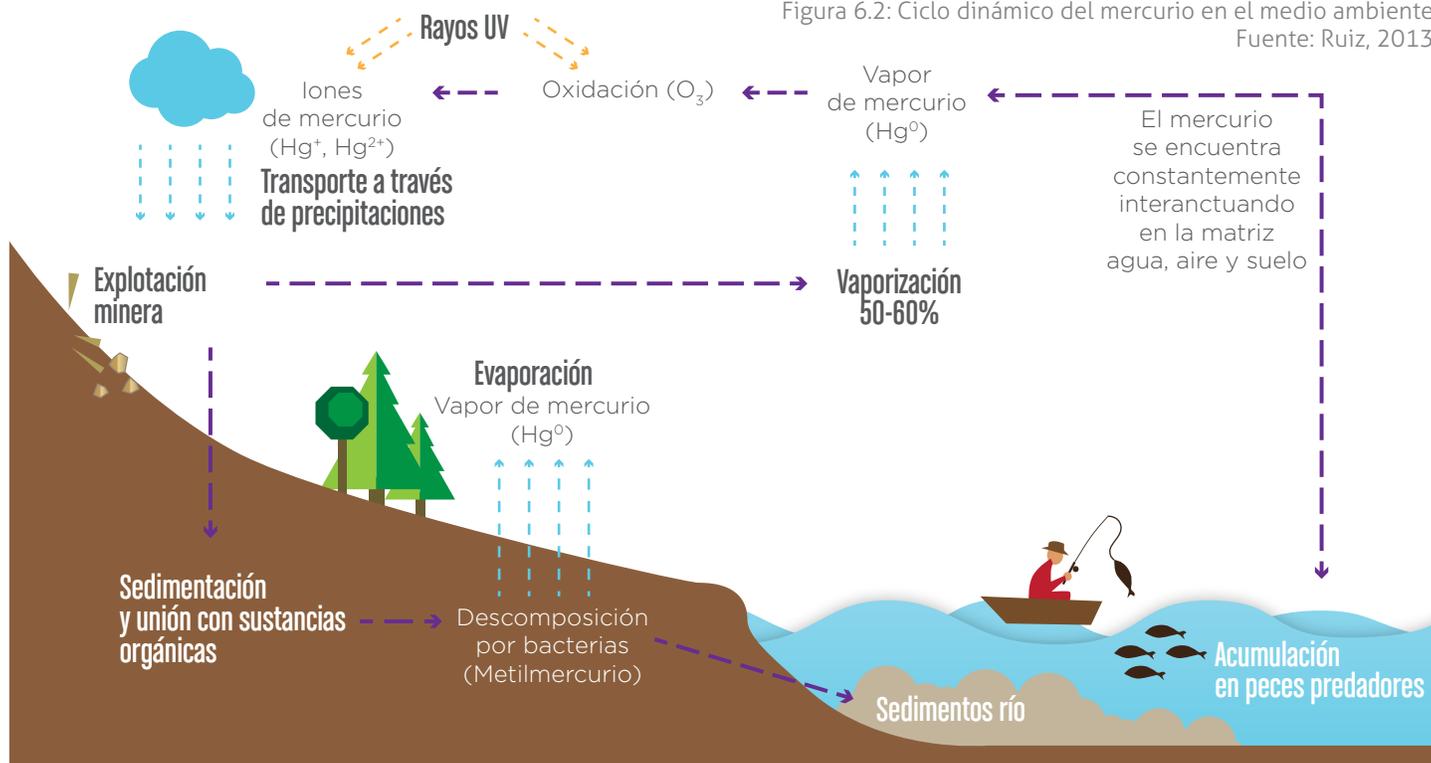
El mercurio se presenta en la naturaleza en diferentes especies químicas: las de tipo elemental ( $\text{Hg}^0$ ), las de tipo inorgánico ( $\text{Hg}^+$ ,  $\text{Hg}^{2+}$ ) y las orgánicas. El metilmercurio ( $\text{HgCH}_3$ ) y el dimetilmercurio ( $\text{Hg}(\text{CH}_3)_2$ ) son las formas orgánicas más tóxicas: afectan el 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.

En el organismo humano, las principales manifestaciones de la intoxicación con mercurio son los daños del sistema nervioso, daños cerebrales, daño del ADN y de los cromosomas, reacciones alérgicas, cansancio, dolor de cabeza y defectos de nacimiento y abortos.

En estado cero, el mercurio es móvil en el ambiente, debido a que es ligeramente soluble en el agua (56 ug/L); por lo tanto, produce contaminación de las aguas subterráneas y de fuentes superficiales cuando hay disposición de colas de procesos de amalgamación. No todos los acuíferos resultan contaminados 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, donde alcanzó concentraciones de hasta 15 ug/L (Foucher et al., 2012). Otro riesgo es la práctica de cianuración de arenas previamente usadas en amalgamación, pues 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  $\text{Hg}^{+2}$ ) 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.



La figura 6.2 muestra gráficamente el ciclo biogeoquímico del mercurio. Tal como se aprecia en ella, los compuestos orgánicos, especialmente el metilmercurio, pueden entrar en los organismos a partir de la biota acuática, en 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 que se relaciona con el proceso de minería de oro sigue la jerarquía normativa existente, presidida por la norma constitucional, en segundo lugar, por las leyes, y por último, por los reglamentos o decretos, emitidos no solo en el ámbito nacional, sino también en el regional y local.

Directamente sobre el manejo del mercurio, la Ley 1658 de 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, 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, con los que se busca eliminar el uso del mercurio. Cabe resaltar que los dueños de las plantas de beneficio de oro podrán solicitar créditos blandos al Banco Agrario y Finagro, u otra agencia del Estado especializada, para reducir y eliminar el uso del mercurio y/o para la reubicación o traslado de dichas plantas a zonas compatibles con los planes de ordenamiento territorial existentes. A los pequeños mineros auríferos se les ofrece créditos blandos para facilitarles las adquisiciones necesarias para efectuar la reconversión y para estimular el uso de nuevas tecnologías de extracción y beneficio del oro que no empleen mercurio.

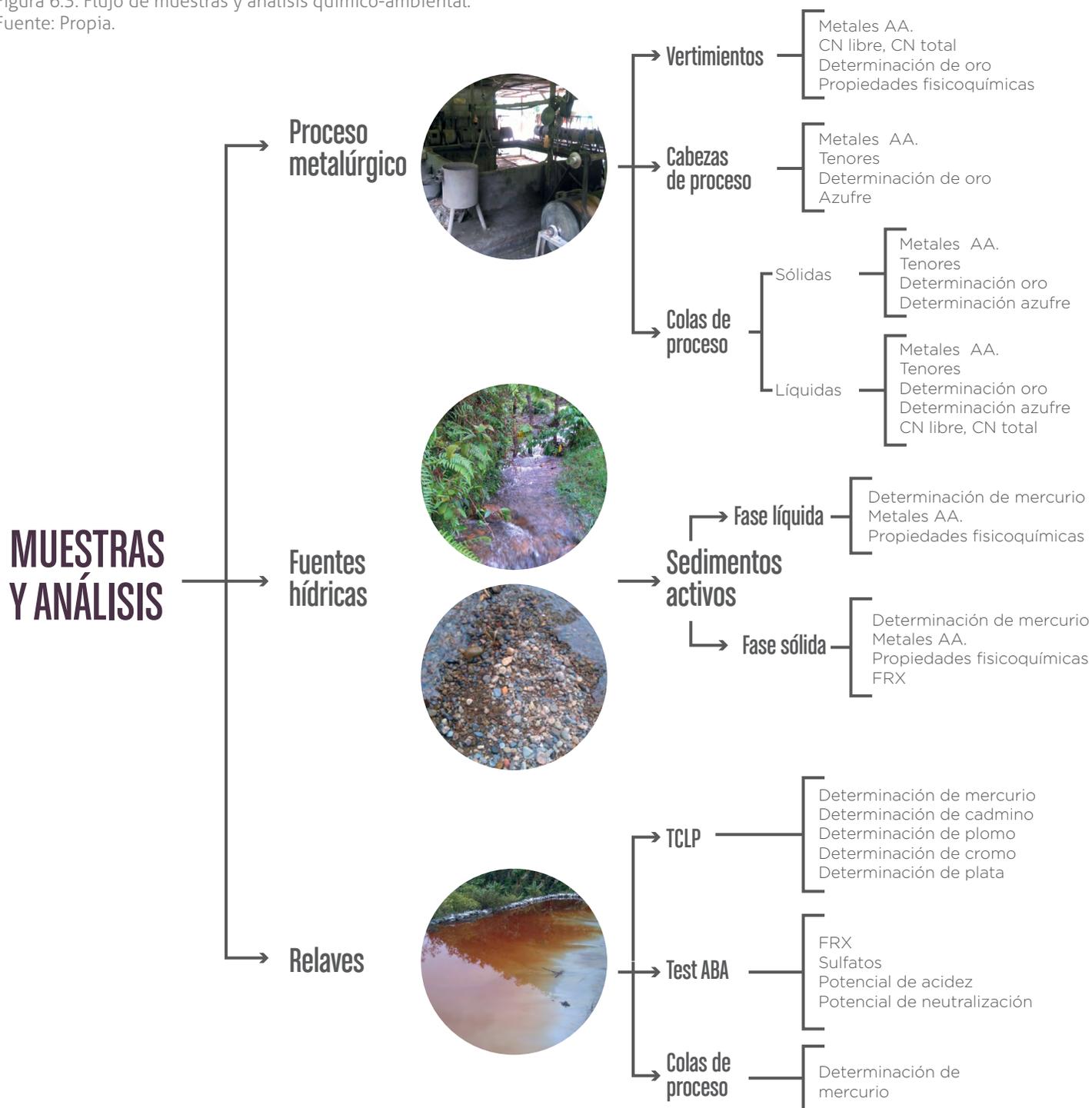
De igual manera, la Ley 1658 hace referencia a las denominadas “alternativas limpias”. En este punto, Colciencias fomentará la realización de investigaciones de tecnologías limpias para la reducción y eliminación del mercurio en los diferentes procesos destinados a obtener el metal precioso. Los ministerios de Minas y Energía; Comercio, Industria y Turismo; Educación y el 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 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 influidas por la actividad minera. Con el propósito de hacer una investigación químico-ambiental fundamentada se aplican diferentes técnicas instrumentales y gravimétricas, entre las cuales se cuentan la espectrofotometría de absorción atómica —técnica de detección— 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, volumetría CN-. En 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. El control químico ambiental se realiza aplicando las pruebas de toxicidad para un residuo sólido conocido como TCLP, sigla de toxicity characteristic leaching procedure. Para evaluar la posibilidad de generar drenaje ácido de mina se realizó el test ABA a los materiales sólidos residuales de las plantas de beneficio (relaves). 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 también se analizaron vertimientos derivados del proceso de beneficio.

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

Fuente: Propia.



## 6.2.4. ANÁLISIS QUÍMICOS APLICADOS PARA CARACTERIZAR Y CONTROLAR PROCESOS METALÚRGICOS Y AMBIENTALES

Para la caracterización química de un mineral se requiere la aplicación de metodologías analíticas dirigidas a 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 apoya y se interactúa con la investigación en las áreas de metalurgia y mineralogía.

En este marco 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 mejorar el aprovechamiento del recurso y para controlar el impacto ambiental que se genera en las plantas de beneficio. En particular, se busca proponer alternativas metalúrgicas para sustituir la amalgamación y evitar así el uso del mercurio, con lo cual se contribuye 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, tales 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 en procesos de cianuración de oro en las que se obtienen soluciones ricas en dicho metal, y cuando es necesario conocer sus concentraciones para controlar algunos aspectos del proceso de recuperación de oro en procesos de precipitación con zinc, como las velocidades de disolución del oro, el consumo de cianuro, cal y oxígeno. Este análisis genera la información con la que se puede evaluar en general la cinética de reacción, los porcentajes de recuperación y la efectividad de la lixiviación.

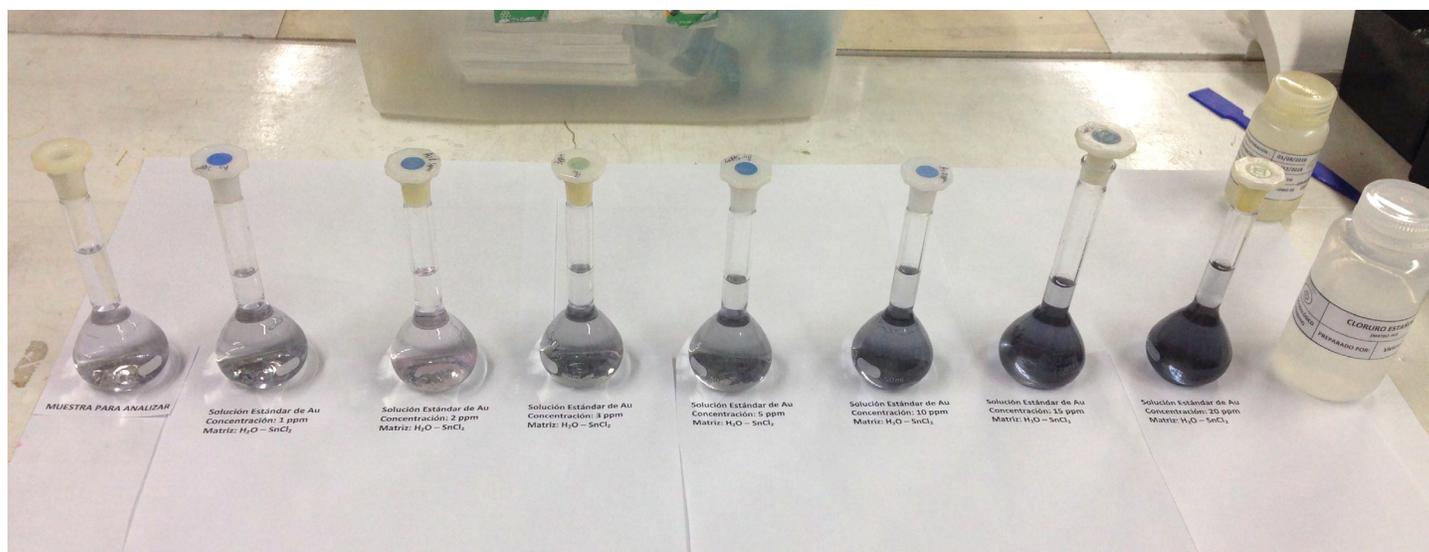
Generalmente, las muestras provienen de diversos orígenes, y las más frecuentes son las muestras de aguas, efluentes, rocas, suelos, etc. Como todas las matrices varían, son diferentes en su composición intrínseca y en su respuesta al tratamiento previo de adecuación a la medición por llama.

### 6.2.4.2. ESPECTROFOTOMETRÍA DE ULTRAVIOLETA VISIBLE

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

Para determinar microcantidades de oro en soluciones cianuradas se realiza la precipitación con zinc, con el objeto de eliminar interferencias. Esta precipitación

se realiza 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 19: 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 es la descomposición de cianuro total a libre, que se realiza mediante el método de electrodo de ion selectivo integrado a un analizador de cianuro. 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 que va 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 cianurómetro o equipo de destilación) y finalmente la interpretación del resultado, como se observa en la figura 6.4.

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 presentar diferentes formas químicas con mayor o menor afinidad. El diagrama 6.5. 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 cianurómetro, este puede ser reemplazado por un equipo de destilación, y la determinación final se realizaría por titulación de cianuro libre.

Valor máximo permitido:  
**CN<sup>-</sup> TOTAL = 1 mg/L** Resolución 0631  
de 2015

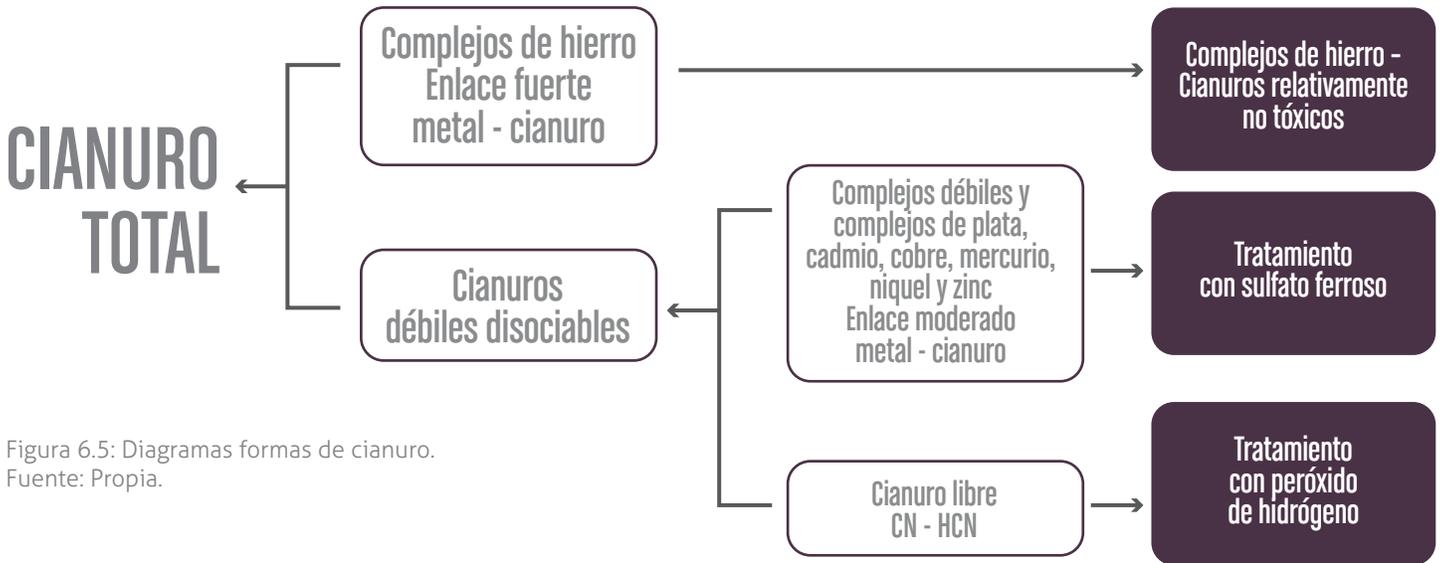


Figura 6.5: Diagramas formas de cianuro.  
Fuente: Propia.

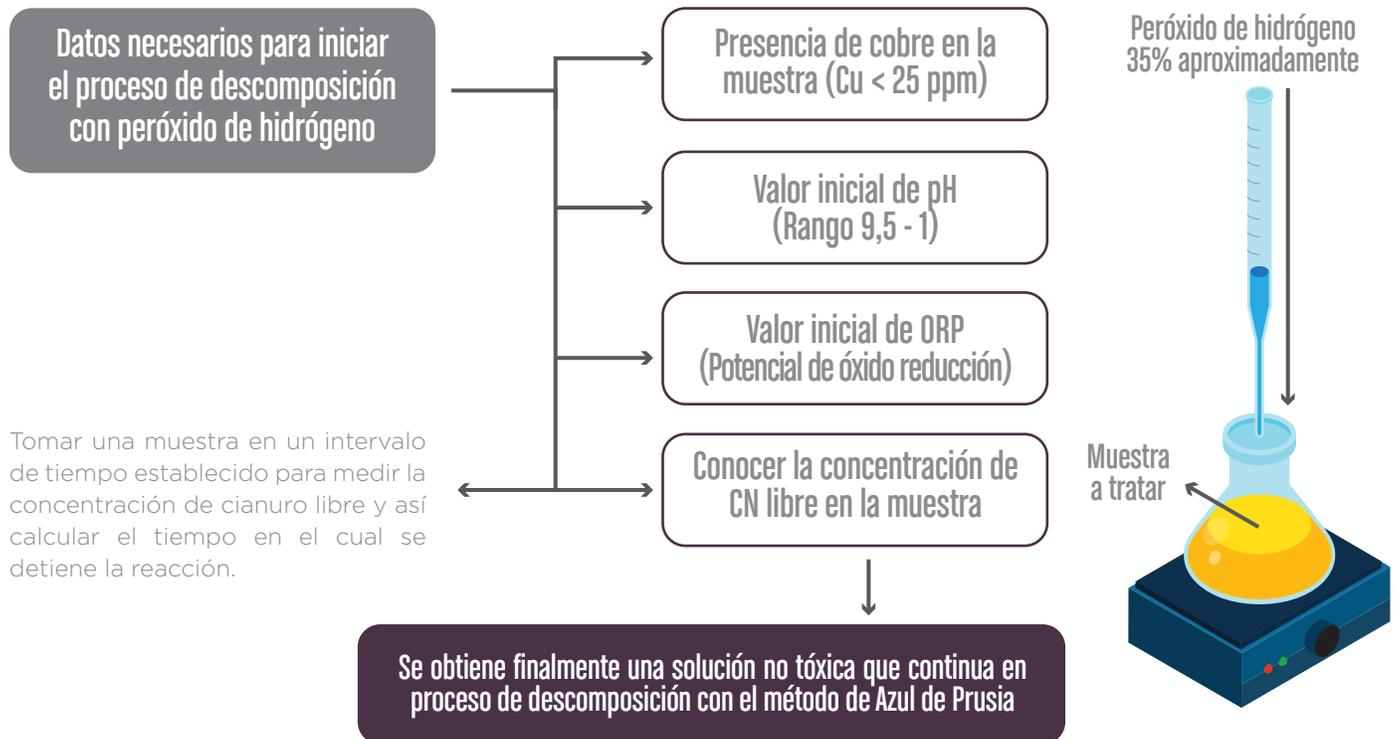
### 6.2.5.2. TRATAMIENTOS DE DESCOMPOSICIÓN: USO DEL PERÓXIDO DE HIDRÓGENO Y SULFATO FERROSO

De acuerdo con lo expuesto, existen dos formas principales de cianuro: libre y compleja. Para el material de la zona minera se desarrollaron dos tratamientos para cada forma, en los que se evidenció, mediante prácticas en el laboratorio y planta piloto del Grupo de Trabajo Cali, la descomposición de cianuro a formas amigables con el medio ambiente. Para descomponer el cianuro libre se utiliza el método de descomposición con peróxido de hidrógeno al 35%. En ocasiones se encuentran en el mercado concentraciones mayores, que pueden utilizarse de acuerdo al cálculo de reacción.

El diagrama presentado evidencia los parámetros fisicoquímicos que deben tenerse 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 los siguientes:

- Concentración de cianuro libre.
- Volumen de muestra que se tratará en mL.
- Concentración de peróxido: ficha técnica del insumo o titulación con permanganato de potasio y ácido sulfúrico.
- Densidad del peróxido a la concentración y temperatura usadas.

### Convertir a peso de CN:

**X = cualquier cantidad / NaCN = cianuro de sodio / CN = 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:

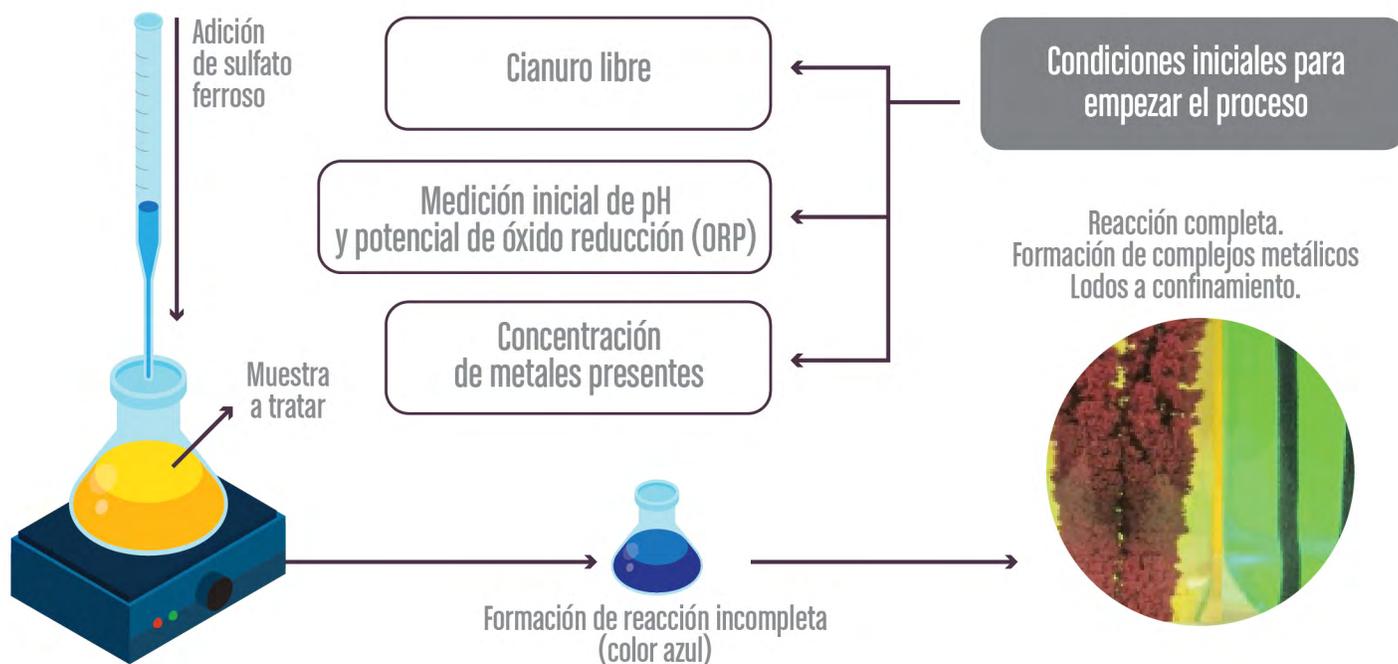
**X g CN<sup>-</sup>/L \* volumen de muestra que se van a tratar \* 5 = g de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>**

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

La metodología del *azul de Prusia* es el proceso final para completar la descomposición de todos los complejos metálicos transformándolos en compuestos más estables y que no generen impacto negativo en condiciones ambientales. 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 (FeSO<sub>4</sub>·7H<sub>2</sub>O).

Los siguientes son valores necesarios para realizar el cálculo:

- Concentración de cianuro libre no detectable (rango de trabajo ácido formación de HCN si la Rx continúa).
- Concentración de cianuro total: destilación y titulación o cianurómetro (complejo).
- Volumen de muestra que se va a tratar en mL para escalar y en litros en planta.
- Concentración de sulfato ferroso: 33%.

### Convertir a moles de CN:

**X = cualquier cantidad / NaCN = cianuro de sodio / CN = 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 moles CN<sup>-</sup>/L \* volumen de muestra que se va a tratar \* 0,5 o 5 = **moles de FeSO<sub>4</sub>·7H<sub>2</sub>O**

(Moles de FeSO<sub>4</sub>·7H<sub>2</sub>O \* 278,05g FeSO<sub>4</sub>/1mol FeSO<sub>4</sub> \* concentración de FeSO<sub>4</sub>·7H<sub>2</sub>O = **volumen que se va a necesitar de FeSO<sub>4</sub>·7H<sub>2</sub>O al 33%**

#### • CARACTERÍSTICAS FÍSICOQUÍMICAS 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 típicos de las 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 a hexacianoferrroso soluble. Al final de la coagulación-floculación se obtiene un color azul que indica que el tratamiento es incompleto. La solución final se torna marrón.



#### • PRUEBA DE CONTROL AMBIENTAL A CANCHAS DE RELAVES (Toxicity Characteristic 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.

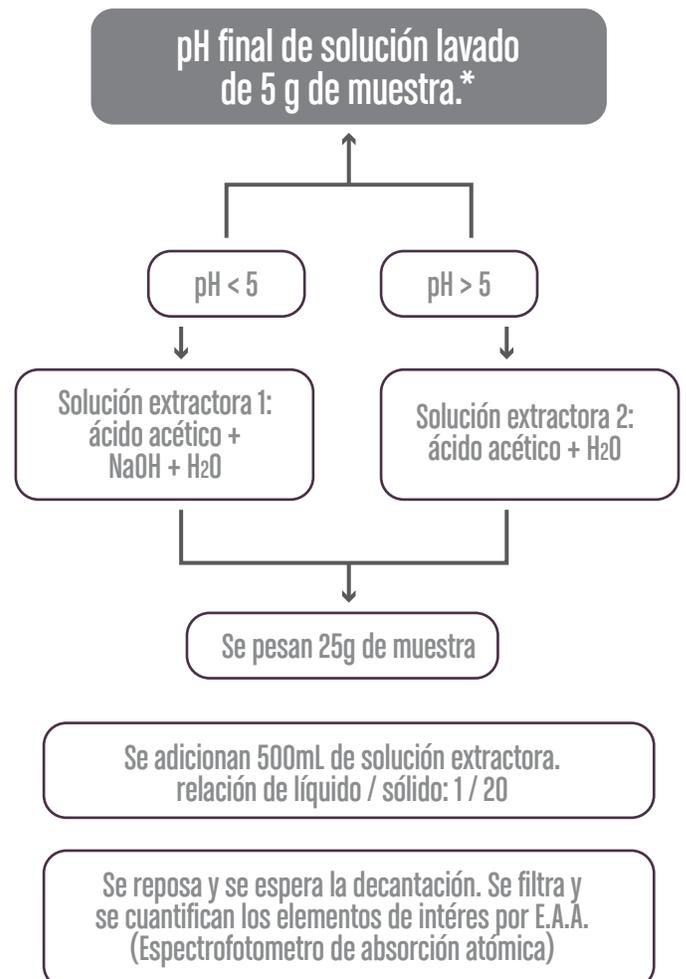
Hace parte de las pruebas de interés para residuos de beneficio de minerales auríferos, junto con las pruebas de reactividad de cianuros y sulfuros.

La prueba de TCLP determina si el residuo es o no peligroso, entonces no aplican los valores de descarga para residuos industriales líquidos: lo que se usan son 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 tabla siguiente.

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, posteriormente se calienta y agita por 10 min. medición de pH.

## 6.3. CARACTERÍSTICAS QUÍMICO-AMBIENTALES DE LA ZONA MINERA

### 6.3.1. CARACTERIZACIÓN QUÍMICA

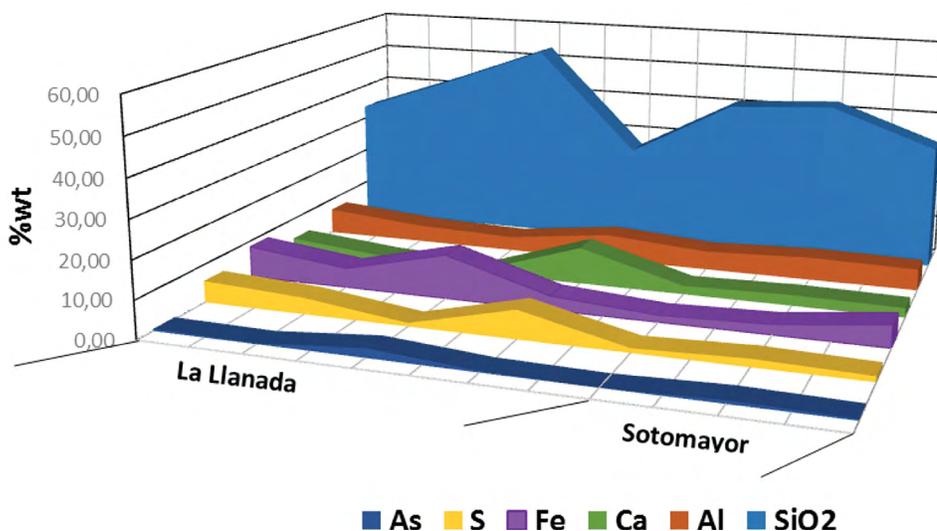
#### FLUORESCENCIA DE RAYOS X

Los análisis elementales de fluorescencia de rayos X de las muestras de cabeza de proceso de La Llanada y de Sotomayor (figura 6.9), indican que las vetas de ambas zonas presentan alto contenido de SiO<sub>2</sub> por lo que son vetas cuarzosas. En El Páramo, el cuarzo se ve disminuido por la presencia de un alto contenido de sulfuros.

Por otra parte, la concentración de aluminio en La Llanada y Sotomayor permanece constante. En algunas de las muestras aumenta a la par con la concentración de CaCO<sub>3</sub> siendo esta última inclusive mayor que la de aluminio como en el caso de la mina El Páramo, indicando alteración propilítica. El contenido de Ca se relaciona tanto con la presencia de carbonatos como de feldespatos en todas las cabezas de proceso.

Figura 6.9: Composición elemental de Fe, S, Ca, Al, SiO<sub>2</sub> para cabezas de proceso de La Llanada y Sotomayor.

Fuente: Propia.

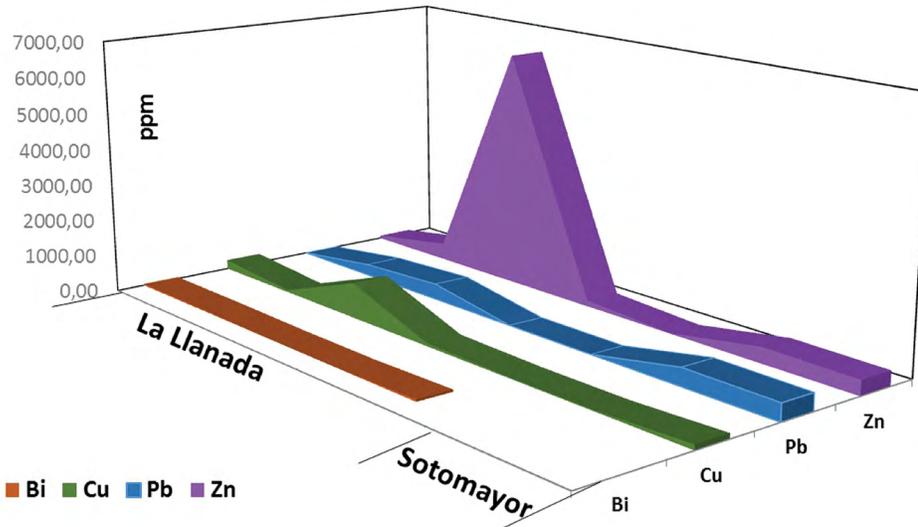


En La Llanada se evidencia una concentración de arsénico mayor que en Sotomayor (ver figura 2) lo que confirma un contenido más alto de sulfuros en especial de arsenopirita. La concentración de zinc y plomo obedece a la presencia de esfalerita, galena y sulfosales de plomo, principalmente aportados por las mineralizaciones de El Cisne y El Páramo, y en el caso de Sotomayor, tanto de Gualconda como Nueva Esparta. De acuerdo a los estudios de FRX, el zinc es más abundante en La Llanada y el plomo en Sotomayor.

Las apreciables concentraciones de antimonio superiores en Sotomayor, se corroboran con la presencia de sulfosales de antimonio y plomo identificadas por medio de microsonda electrónica y petrografía que en La Llanada no se evidenciaron.

En la Figura 6.10, también se observa que se detectaron concentraciones pequeñas de bismuto en La Llanada y ausencia total de este elemento en Sotomayor. Esto se asocia con telururos de bismuto identificados por medio de microsonda electrónica y petrografía.

Figura 6.10: Composición elemental de Cu, Pb, As, Zn, Sb para cabezas de proceso de La Llanada y Sotomayor.  
Fuente: Propia.



## 6.3.2. CARACTERIZACIÓN DE LAS AGUAS SUPERFICIALES

### pH

Los valores de pH encontrados para los dos municipios La Llanada y Sotomayor, muestran tendencias ligeramente ácidas para los puntos aguas arriba y aguas abajo de la quebrada El Cisne. En esta se observó intervención antropogénica para ambas tomas de muestra. La fotografía evidencia el fenómeno conocido como "capa rosa" que se asocia con el contenido de azufre (sulfatos) y bajo valor de pH: 3,73 unidades de pH, lo que concuerda con la evaluación geológica de la zona y que presenta un cuerpo magmático, además de contenido de óxidos de hierro (Jarosita- pirrotina) y cobre. Ver marco geológico.

Fotografía 20: Piscina de agua en la planta El Cisne - aguas abajo. Hidróxido resultante de la descomposición de sulfato. Fuente: Propia.

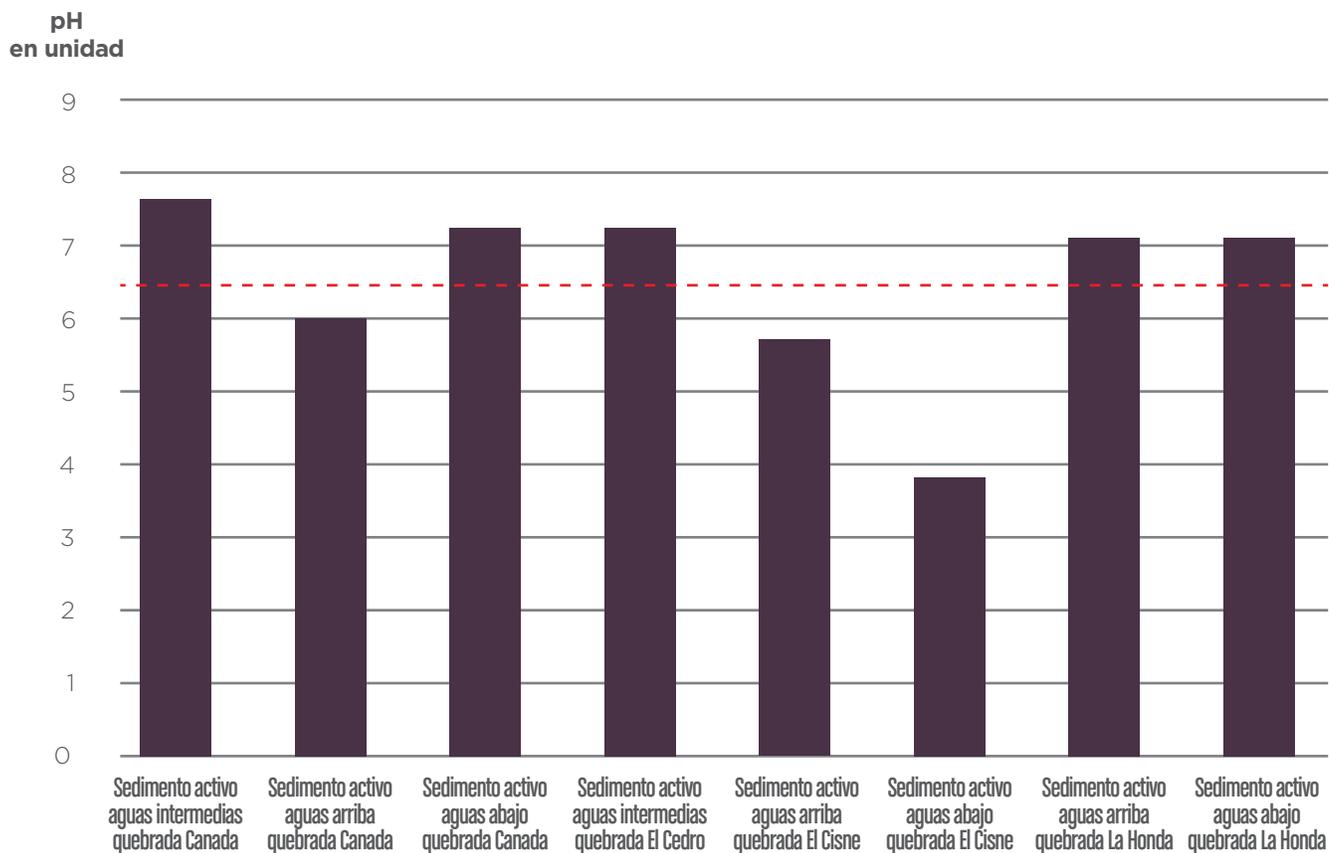


Existe un intervalo de concentración apto para la proliferación y desarrollo de la vida acuática, que es reducido y crítico. La mayoría de los animales acuáticos prefieren un rango de 6.5 - 8.0 y fuera de este, se reduce la diversidad por estrés fisiológico, así como la reproducción. La Figura 6.11 describe los valores encontrados y el rango permitido 6.5 a 9.0 und. de pH, de acuerdo a la normatividad colombiana que contiene los criterios de calidad para la preservación de flora y fauna (Decreto 703 artículo Transitorio 2.2.3.3.9.10 del 2018).

Este comportamiento también se evidenció en la muestra de agua del sedimento activo para la Quebrada EL Canada antes de la explotación de la mina El Páramo. Mientras que para la quebrada La Honda ubicada en el municipio de Sotomayor, son cercanas a la neutralidad.

Figura 6.11: Valores de pH encontrados en el municipio La Llanada.

Fuente: Propia.



## 6.3.3. MERCURIO, METALES Y CIANURO

### 6.3.3.1. MERCURIO EN FASE LÍQUIDA

Los valores encontrados para mercurio en aguas superficiales en las quebradas muestreadas, solo presenta concentraciones mayores de este analito para el punto de muestreo de la quebrada El Canada 0.004 mg/L y El Cedro 0.003 mg/L. El decreto 703 de 2018 en el artículo 2.2.3.3.9.10 Criterios de calidad para la preservación de flora y fauna, en aguas dulces, se presenta un valor de 0.01 CL mg Hg/L (CL:Concentración letal). Esto indica que los valores no superan el criterio de preservación de la fauna y la flora.

Figura 6.12: Resultados de Hg en sedimentos activos fase líquida.

Fuente: Propia.

DESCRIPCIÓN	PLANTA ASOCIADA	Hg (mg/L)
Intermedias Quebrada el Canadá	Canadá	0,004
Intermedias Quebrada El Cedro	El Canadá	0,003
Antes de explotación El páramo, Quebrada El Canadá aguas arriba El Páramo	El Canadá	D.L.C.
Aguas abajo quebrada El Canadá, después de la explotación del páramo y el Canadá.	El Canadá	D.L.C.
Quebrada Los Cisnes Aguas Arriba	El Cisne	D.L.C.
Quebrada Los Cisnes Aguas Abajo	El Cisne	D.L.C.
Quebrada Honda, aguas debajo de la planta Gualconda	Gualconda	D.L.C.
Quebrada Honda aguas arriba de la planta Gualconda	Gualconda	D.L.C.

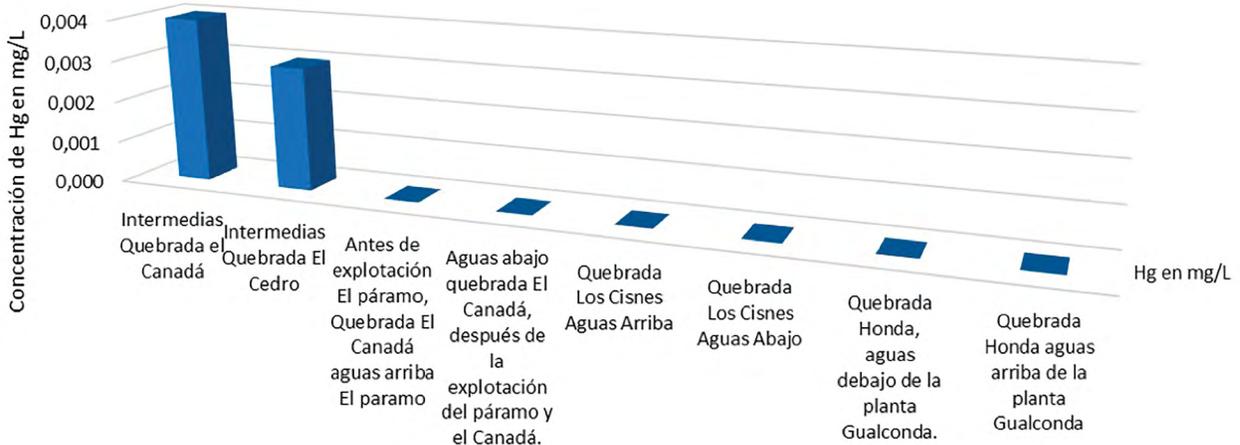
D.L.C debajo del límite de cuantificación instrumental

Fuente: (SGC, 2018). EAA- GH.

Thermo Scientific iCE Series 3000.

Figura 6.13: Puntos de muestreo para aguas superficiales municipios de la Llanada y Sotomayor.

Fuente: Propia.



La presencia de zinc, hierro y plomo en las muestras de aguas superficiales, evidencia la posibilidad de que exista intercambio sedimento activo-agua, debido a que en los sedimentos sólidos se encontraron igualmente estos elementos por análisis de fluorescencia de rayos X. Para la quebrada El Cisne aguas abajo de la actividad minera cuatro metales Cu, Fe, Zn y Pb se presentaron en concentraciones de 0,05, 0,2, 0,3 y 0,21 mg/L respectivamente, posiblemente por el medio ácido en que se encontró esta muestra 3,73 unidades. El decreto 703 del 2018, en el artículo 2.2.3.3.9.10 Criterios de calidad para la preservación de flora y fauna, en aguas dulces, presenta valores de 0.1 mg/L para Fe y Cu, 0,01 mg/L para Zn y Pb, al comparar estos con la normatividad, se evidencia valores superiores para Fe y Zn y Pb.

### 6.3.3.2. MERCURIO EN SEDIMENTOS ACTIVOS SÓLIDOS

En el análisis de mercurio en fase sólida de los sedimentos activos muestreados se encontraron valores representativos para todos los puntos cuantificados. NOAA, (2008) presenta valores de referencia de concentración de mercurio que producen

efecto umbral en organismos (TEC por sus siglas en inglés: Threshold Effect Concentration), para sedimento de agua dulce de 180 µg/Kg. Este se define como la concentración que no debería tener efectos dañinos en los microorganismos que viven en contacto con el sedimento. Existe la posibilidad de que los organismos presentes en las quebradas muestreadas estén siendo afectados por las concentraciones encontradas. Adicional a esto, se tiene como concentración de efecto probable un valor de 1.060,0 µg/Kg de Hg, el cual, indica que concentraciones superiores a este valor ocasionan efectos nocivos a la biota del río o quebrada.

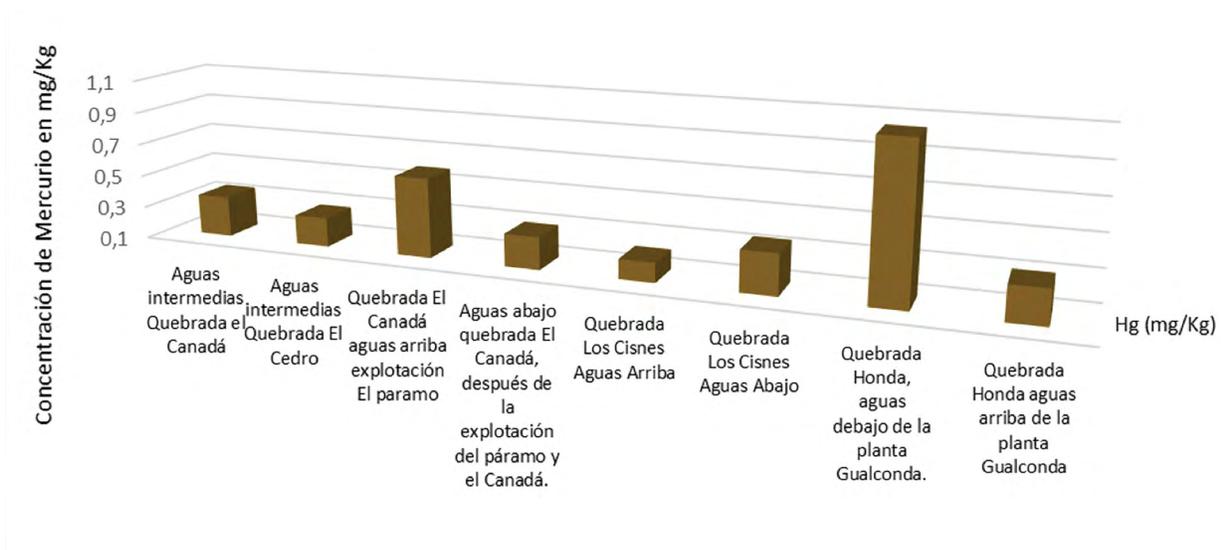
Figura 6.14: Resultados de Hg en sedimentos activos sólidos.  
Fuente: Propia.

DESCRIPCIÓN	PLANTA ASOCIADA	Hg (mg/L)
Aguas intermedias Quebrada el Canadá	El Canadá	0,35
Aguas intermedias Quebrada El Cedro	El Canadá	0,28
Quebrada El Canadá aguas arriba explotación El Páramo	El Canadá	0,59
Aguas abajo quebrada El Canadá, después de la explotación del páramo y el Canadá.	El Canadá	0,3
Quebrada Los Cisnes Aguas Arriba	El Cisne	0,22
Quebrada Los Cisnes Aguas Abajo	El Cisne	0,35
Quebrada Honda, aguas debajo de la planta Gualconda	Gualconda	1,047
Quebrada Honda aguas arriba de la planta Gualconda	Gualconda	0,31

**D.L.C** debajo del límite de cuantificación instrumental  
Fuente: (SGC, 2018). EAA- GH.  
Thermo Scientific iCE Series 3000.

Así mismo para la Los sedimentos son un medio de transporte natural del Hg y facilitan su dispersión, especialmente en áreas cercanas a las bocaminas (Martínez et al., 2013). A través de mecanismos de adsorción, desorción y resuspensión, presentan una alta capacidad biológica para metilar el mercurio y hay un equilibrio entre formación (metilación) y decaimiento (desmetilación).

Figura 6.15: Puntos de muestreo para sedimentos sólidos municipios de la Llanada – Sotomayor.  
Fuente: Propia.



### 6.3.3.3. CARACTERIZACIÓN DE VERTIMIENTOS

#### CONCENTRACIÓN DE MERCURIO, COBRE, HIERRO, ZINC

Para la muestra de la planta Nueva Esparta el valor de 0,003 mg/L supera el 0,002 mg/L presentado en la resolución 0631 del 2015; La posibilidad de encontrar Mercurio en una forma compleja aumenta con este resultado debido a que el vertimiento es el final de un proceso de beneficio.

El vertimiento de la planta Nueva Esparta tiene un contenido de metales (Cu= 11,16 ppm Fe= 272,9 ppm Zn= 13,43ppm Hg=0.003ppm) que es un indicador de la formación de complejos con el cianuro presente en la solución y que puede señalar la toxicidad a corto y largo plazo, de no realizarse los tratamientos adecuados a las soluciones generadas en las lixiviaciones por cianuración. Estos compuestos, según los metales asociados, son quelatos fuertes en el caso del mercurio, de difícil disociación y alta estabilidad, siendo pertinente realizar un proceso de descomposición de cianuros libres y complejos controlado.

Las muestras de la planta La Gualconda y el drenaje encontrado en la parte intermedia de la explotación en El Canada, no presentaron mercurio.

#### CONCENTRACIÓN DE CIANURO

Figura 6.16: Análisis de CN- y CNT en vertimientos actividad de beneficio minas el Canadá y el Páramo, plantas Nueva Esparta y Gualconda.

Fuente: Propia.

DESCRIPCIÓN	CN- LIBRE (mg/L)	CNT Total (mg/L)
Vertimiento junto a la explotación mina el Canadá	387,5	450,0
Vertimiento de los pozos de tratamiento de agua cianurada planta Nueva Esparta-Vertimiento a quebrada La Honda	287,5	362,5
Descargue quebrada liquida mina el Páramo	650,0	712,5
Vertimiento a los pozos de tratamiento de agua cianurada Planta Gualconda*	475,0	575,0

Fuente: (SGC, 2017). Volumetría-AgNO<sub>3</sub>-KI (indicador)

\*Agua residual a canchas de relaves.

La cuantificación de cianuro libre y cianuro total realizada en los vertimientos generados por las actividades de beneficio, permiten hacer una estimación de los aportes y la carga contaminante por la presencia de este compuesto tóxico CN- y la co-relación con el contenido de algunos metales pesados en los vertimientos.

El estudio se realizó en el municipio de La Llanada para el vertimiento cercano a la actividad de explotación de la mina El Canada, el cual desemboca en la quebrada El Canada obteniéndose un valor de 450 mg/L de CNT y para el vertimiento de la mina El Páramo que desemboca en la quebrada El Purgatorio se obtuvo 712 mg/L de CNT, ambos vertimientos presentan valores de cianuro total que no cumplen con las condiciones permisibles para este parámetro (Resolución 631 de 2015), tomándose como contenido máximo para los vertimientos de proceso de minería 1,00 mg/L.

Este comportamiento puede indicar el uso de este reactivo en algún proceso que no se evidenció en la salida de campo realizada.

En el municipio de Sotomayor se tomó una muestra puntual de un vertimiento a la quebrada La Honda, que provenía de los pozos de tratamiento de la planta de beneficio Nueva Esparta. El contenido de cianuro total del vertimiento es de 362,5 mg/L, de acuerdo con el valor máximo permitido 1 mg/L (Resolución 631 de 2015).

### 6.3.3.4. CARACTERIZACIÓN DE RELAVES

Los resultados del análisis de FRX indican que hay un contenido de azufre de 4,37 % en el relave de La Llanada y de 1,98 % en La Gualconda. En este último se detectó una concentración inferior de hierro (5,39 %) que en La Llanada (3,95 %), dada la composición mineralógica de la zona. La concentración de mercurio de ambas muestras estuvo por debajo del límite cuantificable por el equipo empleado. Se evidenciaron concentraciones de cadmio de 33,42 % en La Llanada y de

27,25 % en Sotomayor. El contenido de plomo es significativamente más alto en el relave de La Llanada con 50,99 ppm y supera el de Sotomayor en un 99,43 %. En cuanto al cobre, se obtuvo una concentración superior en La Llanada estimada en 336,5 ppm mientras que en La Gualconda fue de 157,61 ppm. Por otro lado, no se detectó cromo en el relave de La Llanada pero sí en Sotomayor en 0,04 ppm.

Figura 6.17: Composición elemental de relaves La Gualconda y La Llanada.  
Fuente: Propia.

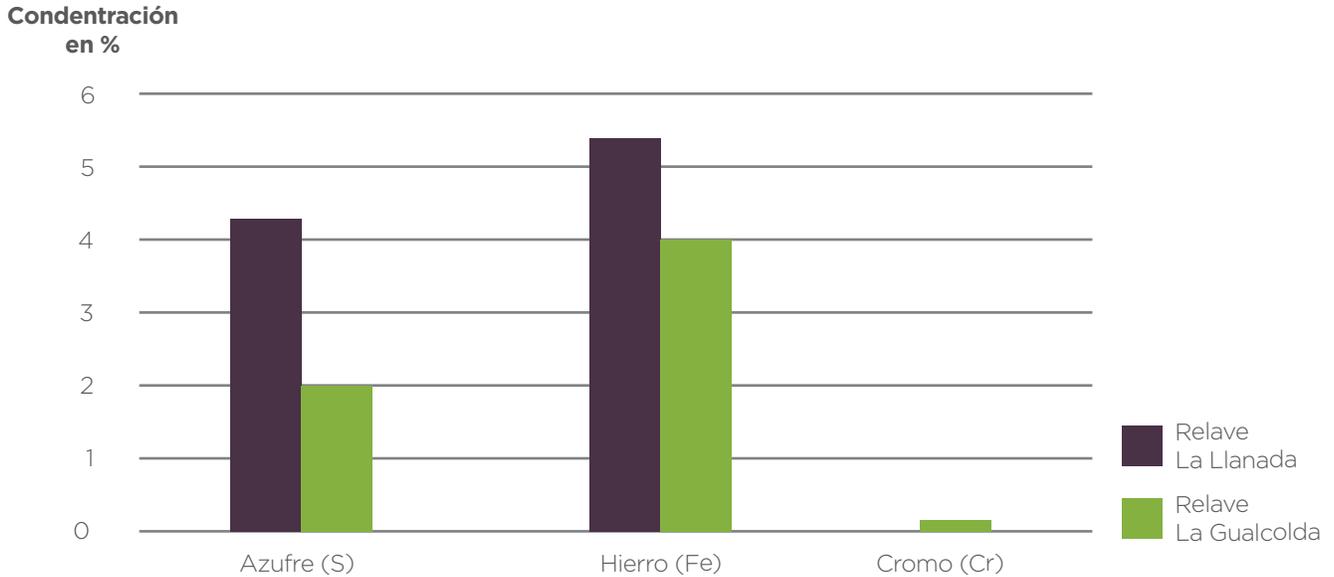
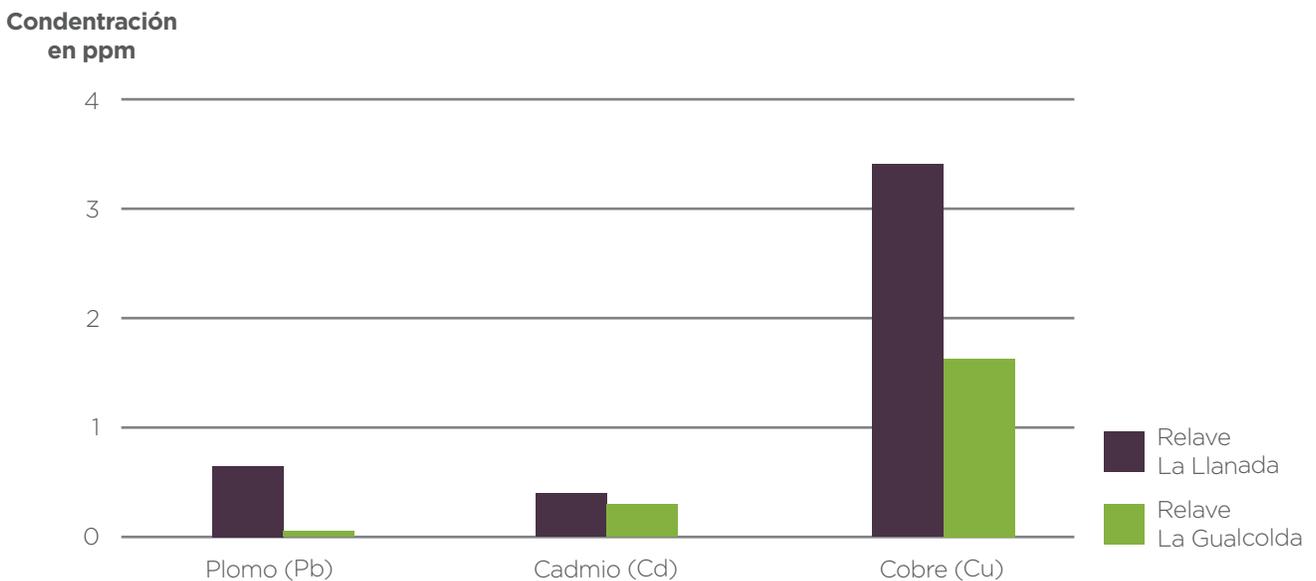


Figura 6.18: Composición elemental de relaves La Gualconda y La Llanada.  
Fuente: Propia.



## 6.3.4. PRUEBAS AMBIENTALES PARA RELAVES

### TCLP

La interacción de los residuos mineros con el medio ambiente puede generar importantes impactos ambientales asociados a la calidad y composición del material de desecho. Para la identificación de residuos peligrosos al ambiente, se emplean test de lixiviación como el TCLP que busca determinar la movilidad de contaminantes contenidos en los residuos dispuestos en relaves (Rihm, 1998).

Figura 6.19: Concentraciones de elementos con potencial peligroso prueba TCLP.

Fuente: Propia.

DESCRIPCIÓN		(mg/kg)				
		Ag	Pb	Cd	Cr	Hg ( $\mu\text{g/L}$ )
Relave	Planta Gualconda	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
Compost colas proceso Relavera	Planta La Llanada	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.

ASS-Llama y GH- Fuente: GLQ-001-2016. SGC, (2018) ND: No Detectable

Los valores de los metales obtenidos de la prueba TCLP permiten conocer la liberación en el ambiente al entrar en contacto con fases líquidas. Estos resultados se comparan con el decreto 4741 de 2005 por el cual se reglamenta parcialmente la prevención y manejo de los residuos o desechos peligrosos generados en el marco de la gestión integral y se establecen las concentraciones máximas permisibles en la prueba para clasificar el residuo como peligroso o no peligroso (Decreto 4741, 2005).

### 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, oxígeno y microorganismos generan lo que se conoce como Drenaje Ácido de Minas (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.

Los relaves de las plantas La Llanada y La Gualconda analizados, presentan un potencial bajo o nulo de generación de drenaje ácido.

Figura 6.20: Resultados de PN, PA, PNN y criterio de clasificación de muestras.

Fuente: Propia.

DESCRIPCIÓN	Potencial de neutralización (NP) $\text{kgCaCO}_3/\text{t}$	Potencial de Acidez (PA) $\text{kgCaCO}_3/\text{t}$	Potencial neto de neutralización (PNN) $\text{kgCaCO}_3/\text{t}$	Criterio PN/PA	Resultado
Relave	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	Bajo o nulo potencial de generación de ácido
Compost colas proceso Relavera	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	Bajo o nulo potencial de generación de ácido

El relave de La Llanada (6984) es de naturaleza básica y la valoración de test Fizz permitió clasificarla como de efervescencia moderada dado que la reacción de los minerales de la muestra con el ácido clorhídrico aplicado, evidenciaron presencia de carbonatos, los cuales forman el 4,75 % del total de minerales presentes. El resultado del potencial de neutralización ( $492,75 \text{ kgCaCO}_3/\text{t}$ ) está asociado al contenido de carbonatos que son capaces de neutralizar la acidez del residuo, evitando impactos ambientales como el DAM producto de la exposición atmosférica y a la humedad de rocas que contienen sulfuros. Lo mismo ocurre con el relave de La Gualconda (6.945) cuyo contenido de carbonatos es 0,85 % y cuyo potencial de acidez es de  $35,09 \text{ kgCaCO}_3/\text{t}$  y de neutralización de  $128,60 \text{ kgCaCO}_3/\text{t}$ . Existe una buena capacidad de neutralización y al momento es un relave que al estar expuesto a agentes ambientales, no genera sustancias ácidas que solubilicen los metales contenidos en las rocas y drenen a fuentes hídricas cercanas contaminándolas por la acumulaciones de metales pesados o por el pH bajo.

Figura 6.21: Diagrama de la ubicación de los puntos de muestreo y los valores encontrados para el municipio de La Llanada.  
Fuente: Propia.

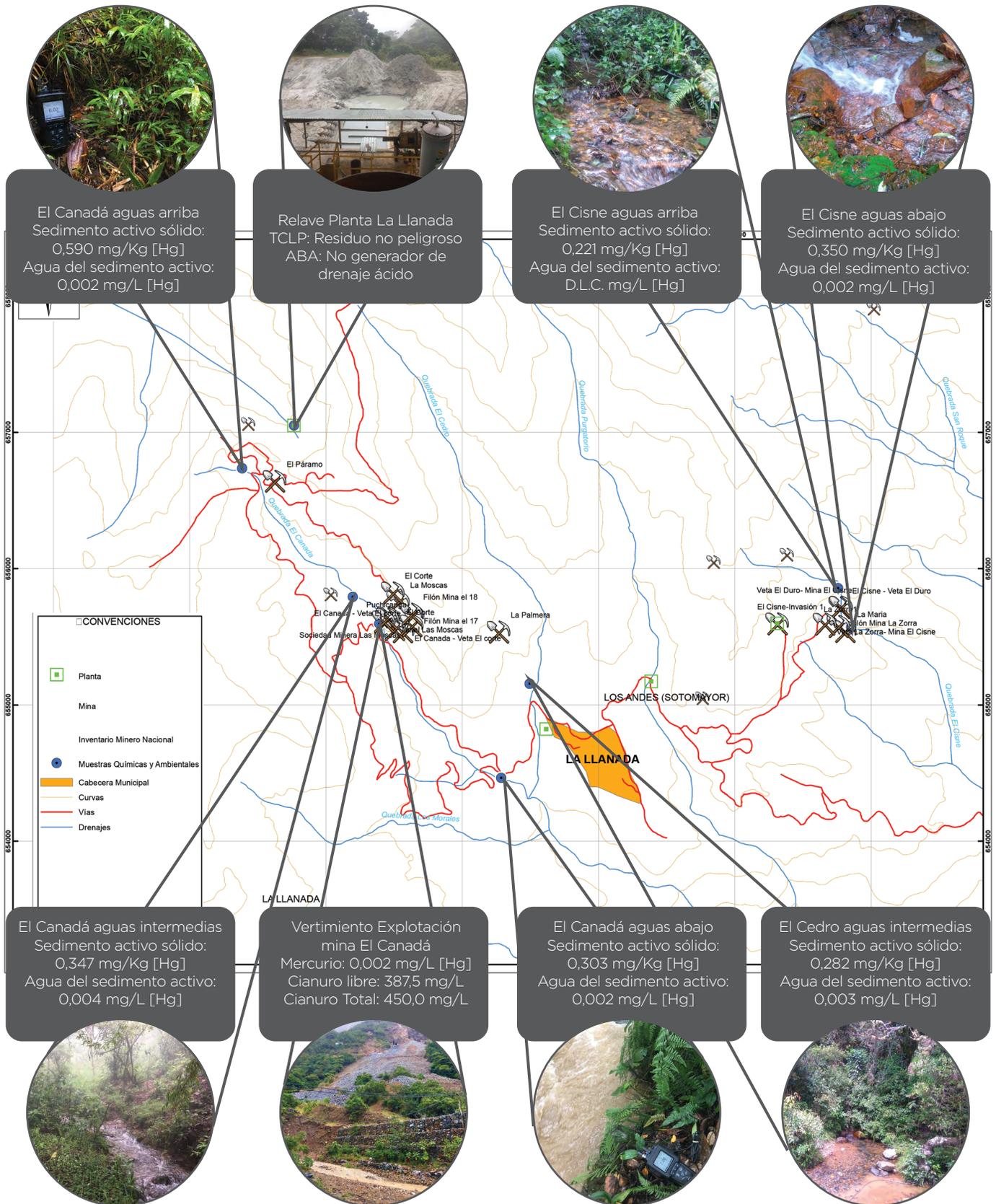
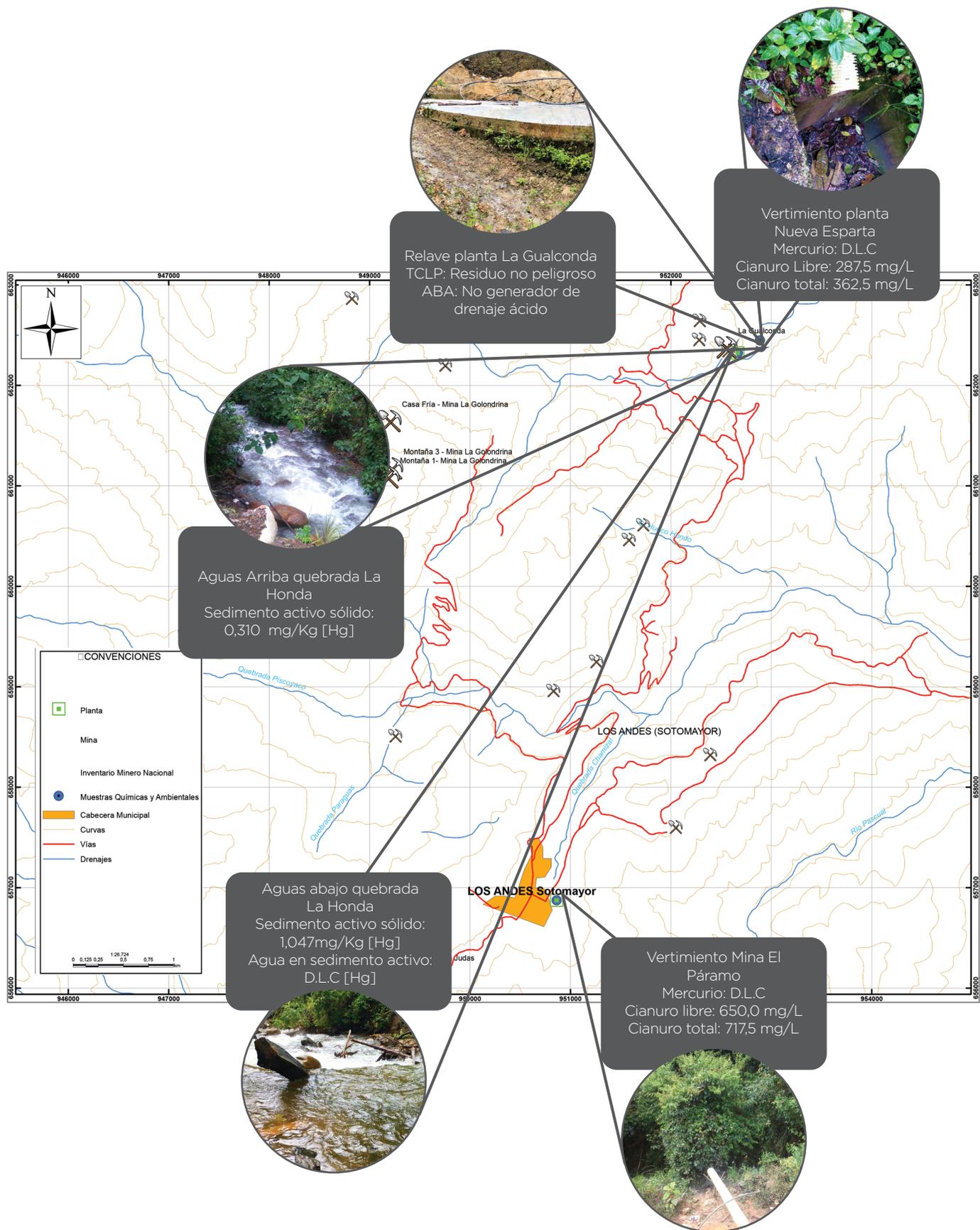


Figura 6.22: Diagrama de la ubicación de los puntos de muestreo y los valores encontrados para el municipio de Los Andes Sotomayor.  
Fuente: Propia.





## 6.4. CONSIDERACIONES QUÍMICO-AMBIENTALES

· Las aguas superficiales de la zona minera de La Llanada y Andes-Sotomayor presentan valores en promedio de acidez de 6,74 unidades el cual se encuentra dentro del valor óptimo y no afecta la preservación de fauna y flora en este ambiente hídrico (6.5-8.0). Las excepciones a este rango óptimo son la quebrada Eel Cisne aguas abajo y la quebrada ElCanada.

· Las concentraciones de mercurio de las aguas muestreadas de las quebradas: El Canada (arriba y abajo), El Cisne y Honda no superan el criterio de preservación de fauna y flora (0,01 mg/L CL), mientras que las aguas intermedias de la quebrada El Canada y El Cedro sí lo superan.

· Igualmente para los vertimientos se obtuvo valores fuera del rango para una de las plantas ubicada en el municipio de Andes-Sotomayor y para el cual se hace necesario evaluar los parámetros críticos antes de ser vertida a la quebrada.

· Los procesos de gravimetría muestran tendencia a recuperar el oro grueso pero el oro fino no es recuperado. Este comportamiento se encontró para todas las plantas visitadas.

· Se encontró que los relaves de las Plantas Gualconda y La Cooperativa, no presentan concentraciones detectables de ninguno de los metales lixiviados analizados, por lo tanto, se clasifican como residuos no peligrosos según la norma colombiana.

· Al comparar ambos relaves, se encontró que el de la planta La Gualconda presentó menor porcentaje de sulfuros (1,08 %), sin embargo, la capacidad de neutralización fue menor debido al bajo porcentaje de carbonatos presentes y a que este relave es de naturaleza ácida con un pH inicial de 6,89 unidades. Por su parte el relave de La Llanada tiene 1,55% de sulfuros mayor al de la Gualconda, pero mayor contenido de carbonatos, lo que favorece la capacidad de neutralización evitando producción de drenaje ácido de mina.

### 6.4.1. RECOMENDACIONES

· Se recomienda controlar los procesos de tratamiento de aguas residuales en la planta Nueva Esparta. Para esto es necesario realizar mediciones de pH continuas al residuo antes de su llegada a la quebrada La Honda. Adicional a esto, se deben de medir los demás parámetros para un residuo líquido minero como son los metales.

· Se recomienda adquirir kits de determinación de los diferentes parámetros controlados para los vertimientos para garantizar la sostenibilidad ambiental. Es pertinente realizar una inspección de los posibles drenajes que puedan aportar una contaminación con cianuro al vertimiento cercano de la explotación mina El Canada.

· 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 metabolicen el mercurio y otros metales pesados, disminuyendo el impacto ambiental que generan estos metales pesados a los ecosistemas y a la salud humana.

Detalle de los canalones utilizados para la concentración de partículas en planta.  
Fotografía tomada por: Benedicto Galindo / Servicio Geológico Colombiano

## 7. RUTA METALÚRGICA PROPUESTA PARA LA ZONA MINERA

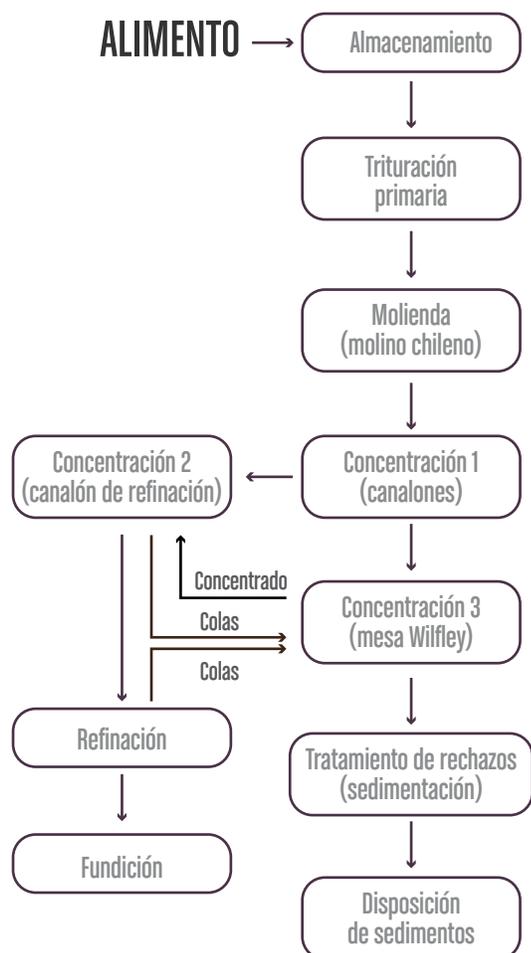
Luego de realizar el recorrido por los aspectos relevantes que deben tenerse en cuenta en el proceso de beneficio de oro, en este capítulo se presenta la propuesta de ruta metalúrgica adecuada para aplicar en la zona minera, propuesta desarrollada de acuerdo con las características geológicas y mineralógicas,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



## 7.1. PROCESO DE BENEFICIO DESARROLLADO ACTUALMENTE EN LA LLANADA

Figura 7.1: Diagrama de proceso de beneficio actual en La Llanada.

Fuente: Propia.



### LA REDUCCIÓN DE TAMAÑO

La operación de reducción de tamaño se realiza con una trituración de quijadas, cuyo producto alimenta el molino chileno. Aquí el material se acaba de triturar y moler hasta un tamaño de partícula inferior al tamaño de la malla que se coloca en los puntos de salida del equipo.

Un porcentaje importante del oro queda concentrado en la pista del molino chileno.

### LA CONCENTRACIÓN GRAVIMÉTRICA

Se observa que la concentración del canalón 1 tiene una razón de concentración de 2,45 veces, ya que la entrada al proceso el tenor de oro es de 10,25 g/t y los concentrados del canalón 1 es de 25,2 g/t.

El tenor de oro de los relaves es de 5,94 g/t, lo que representa un tenor alto para ser desechado, sería fundamental revisar el tamaño de grano en el que se encuentra y a que está asociado para recuperar ese oro que está siendo desechado.

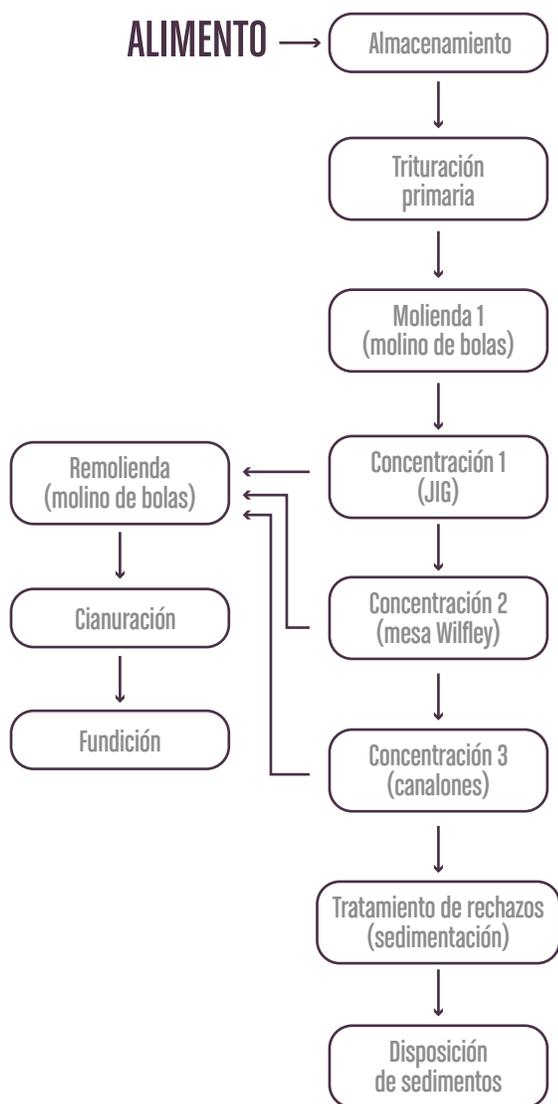
Una prueba de concentración en el laboratorio del SGC reportó que es posible recuperar por esta vía al menos un 55 % del oro presente en dichos relaves, previa remolienda a un tamaño menor a 75 micrones. Con dichas pruebas se consiguió reducir el tenor de las colas a un tenor de oro de 1.6 g/t.

**El tenor de oro de los relaves es de 5,94 g/t, lo que representa un tenor alto para ser desechado, sería fundamental revisar el tamaño de grano en el que se encuentra ya que está asociado para recuperar ese oro que está siendo desechado.**

## 7.2. PROCESO DE BENEFICIO DESARROLLADO ACTUALMENTE EN LOS ANDES SOTOMAYOR

Figura 7.2: Diagrama de proceso de beneficio actual en la planta Gualconda municipio de Los Andes Sotomayor.

Fuente: Propia.



**El tenor de la cola y la recuperación indican que hay factores en la cianuración que están impidiendo un mejor desempeño.**

### LA REDUCCIÓN DE TAMAÑO

La operación de reducción de tamaño se realiza con una trituración de quijadas, cuyo producto alimenta el molino de bolas. Este tiene por clasificador de tamaño un cilindro enmallado (tromel) separando el fino del grueso que es retornado manualmente al molino. No se dispone de una atrituradora secundaria antes del molino de bolas.

### LA CONCENTRACIÓN GRAVIMÉTRICA

En esta planta de beneficio durante la visita se encontraron tres medios de concentración gravimétrica, JIG, mesa concentradora y canalón, de los cuales tienen tenores de oro de: 116,5, 112,5 y 21,3 g/t respectivamente; lo que indica que tiene razones de concentración en un rango de 9 a 10 veces en el JIG y la mesa concentradora. Para el canalón, una razón de concentración de 2 veces. Cabe resaltar que la mesa concentradora es cargada con los rechazos del JIG y el canalón con los rechazos de mesa.

El tenor del material de cabeza del muestreo reportó un tenor de oro de 11.8 g/t. Al igual se observa que las colas del canalón tienen un tenor alto (5,74 g/t), el cual ya va para el botadero.

### CIANURACIÓN

La cabeza de cianuración tiene un tenor de oro de 27,3 g/t proveniente de la remolienda de los concentrados de JIG, mesa concentradora y canalón y las colas de cianuración contiene un tenor de oro de 15,58 g/t, lo que produce un rendimiento de 57 %. El tenor de la cola y la recuperación indican que hay factores en la cianuración que están impidiendo un mejor desempeño, razón por la que se hace necesario evaluar el procedimiento con el que se lleva a cabo la cianuración, así como estudiar aspectos mineralógicos tales como el grado de liberación, exposición del oro y su tamaño, al igual que la composición de los componentes minerales presentes.

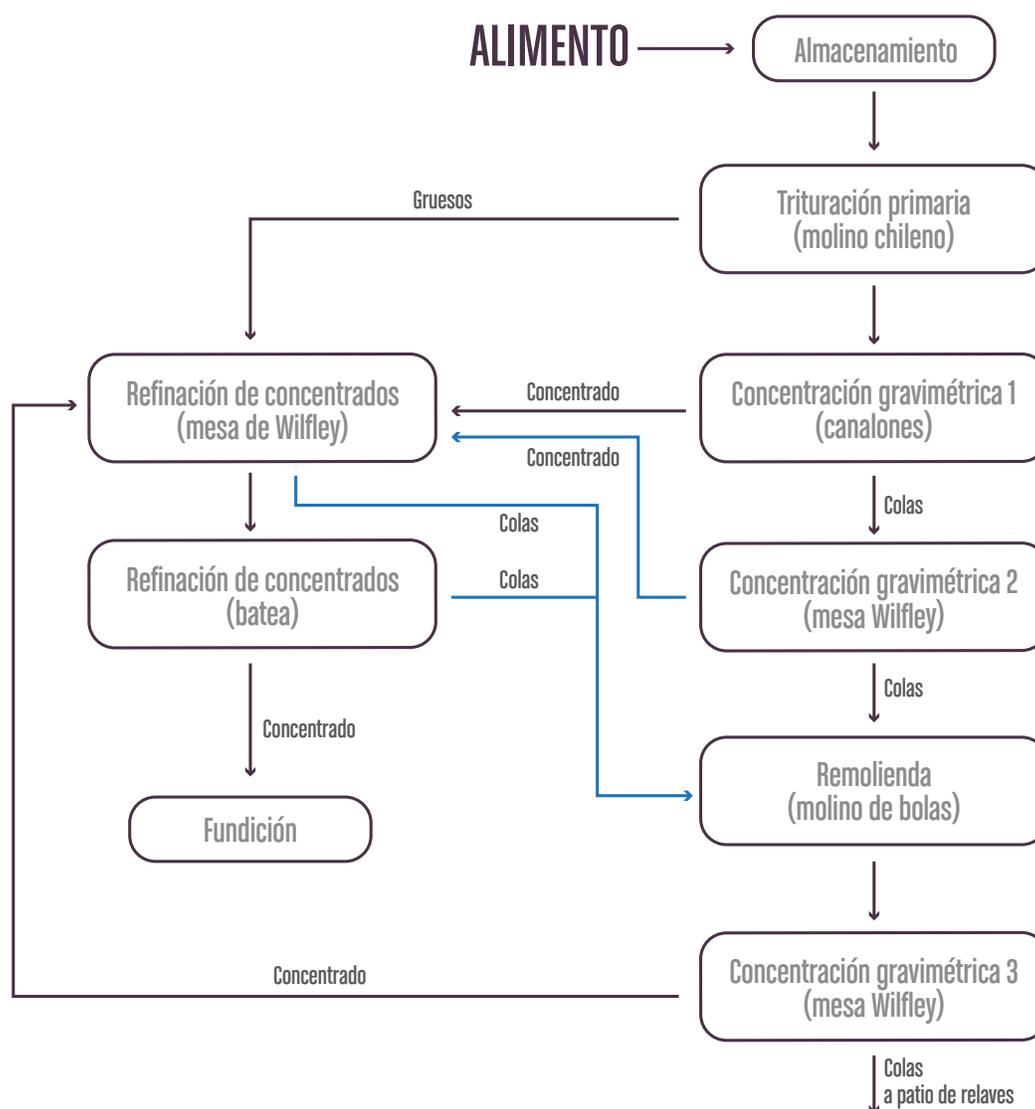
Se ha tomado como modelo para la guía el proceso de beneficio de la planta Gualconda, pero vale la pena aclarar que en la planta Nueva Esparta se lleva a cabo un proceso de molienda que lleva el producto directamente a cianuración por medio del proceso de carbón activado y recuperación de oro por electro-obtención.

En la planta de la cooperativa de Sotomayor cuentan los mineros con la posibilidad de utilizar distintos procedimientos metalúrgicos según las condiciones específicas para cada caso, incluso, se cuenta con tanques para poder aplicar el proceso de lixiviación con carbón activado.

## 7.3. PROCESO DE BENEFICIO SUGERIDO PARA LA PLANTA DE LA COOPERATIVA EN LA LLANADA

Figura 7.3: Diagrama de proceso de beneficio sugerido para la planta de la COODMILLA en la Llanada.

Fuente: Propia.



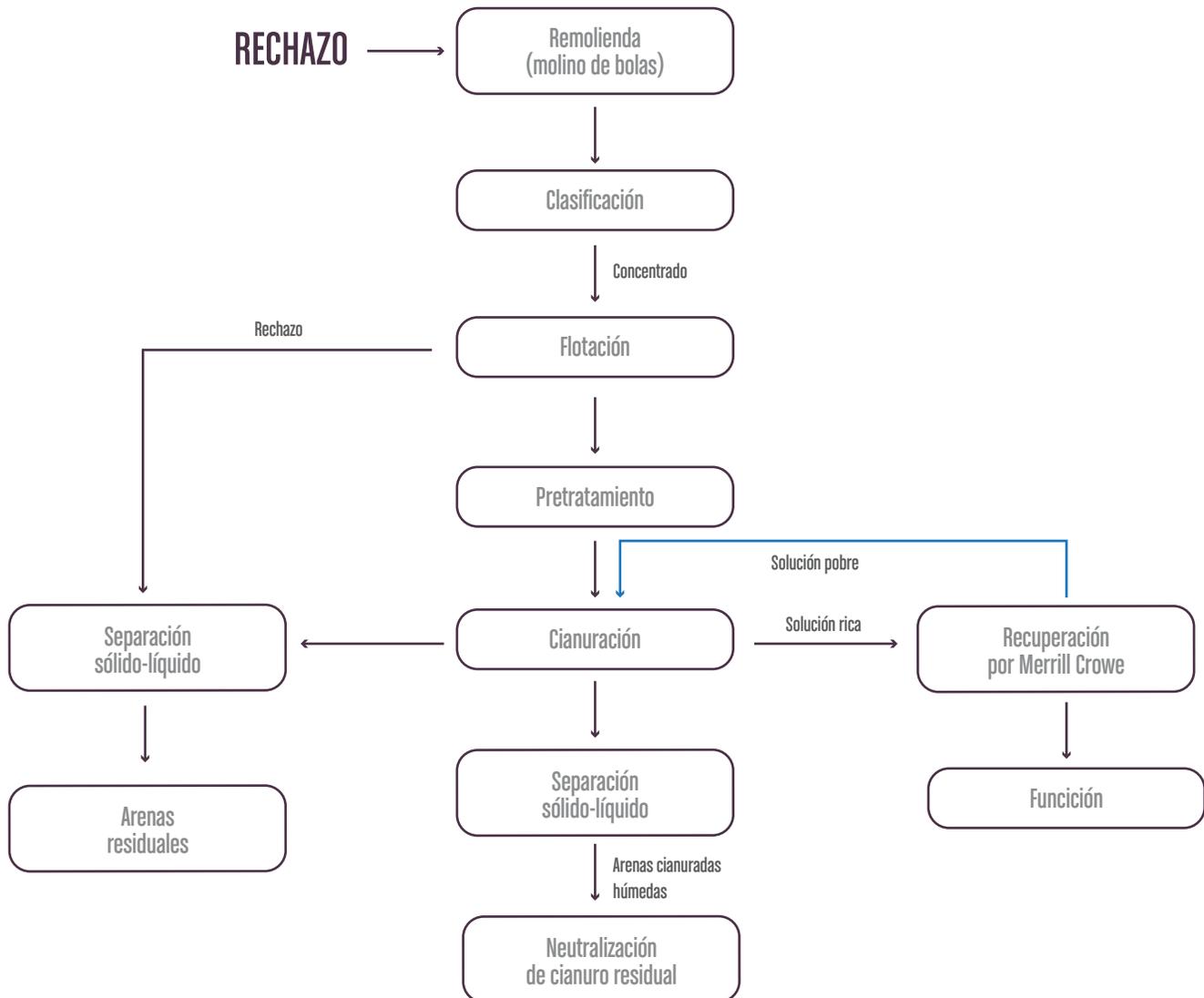
En el laboratorio del SGC se prueban dos rutas metalúrgicas para La Llanada, a partir de las arenas desechadas de la planta actual. El primer modelo incluyó remolienda, flotación y cianuración de su concentrado. El segundo probó la remolienda y la concentración gravimétrica en mesa. Con el primer esquema el tenor de las colas bajó a un tenor de oro de 0.5 g/t.

Con el segundo esquema, el gravimétrico, las colas llegaron a un tenor de 1.7 g/t de oro. Si se incluye los costos de extracción minera en el plan general, un análisis económico de ambas propuestas arroja que el esquema de flotación-cianuración no permite mejorar las condiciones de rentabilidad que perciben actualmente. Podría mejorarlas si el tenor del material de cabeza supera los 20 g/t de oro. El segundo esquema mejoraría en un 6.26 % la utilidad neta actual.

## 7.4. PROCESO DE BENEFICIO SUGERIDO PARA LA ARENAS DE RECHAZO EN LA PLANTA DE LA COOPMILLA EN LA LLANADA

Figura 7.4: Diagrama de proceso de beneficio sugerido para el aprovechamiento de la arenas de rechazo en la planta de la COOPMILLA en la Llanada.

Fuente: Propia.



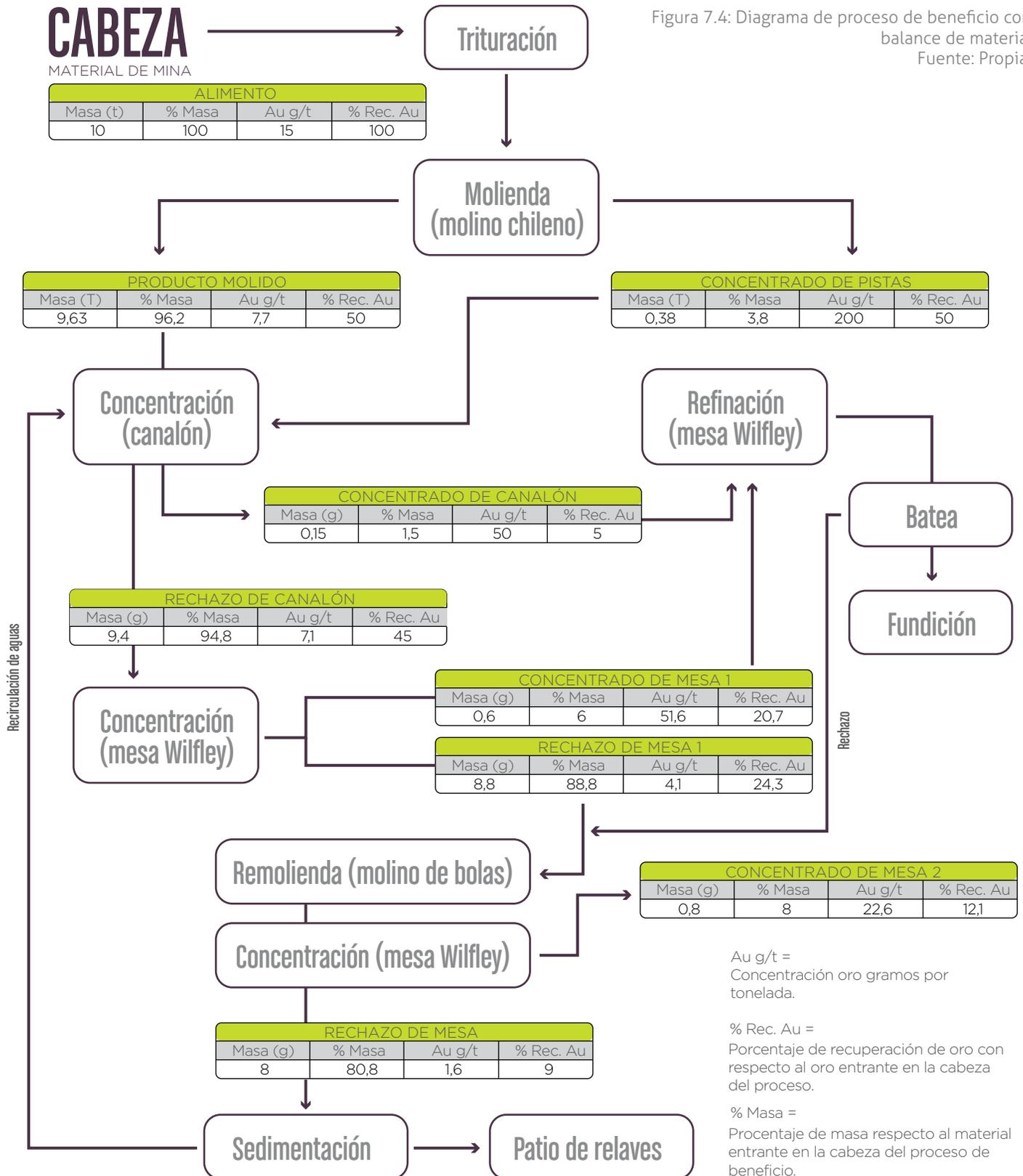
## 7.5. RECOMENDACIONES

- Mejorar tecnológicamente la planta de la cooperativa de La Llanada reemplazando la actual mesa de concentración, acondicionando un molino remolador, incluyendo una segunda mesa para la concentración del material remolido y el reemplazo del canalón de lavado actual de concentrados por una mesa especial que puede ser de tipo Gemini. En general, adaptar todo lo necesario para seguir el esquema recomendado.
- Considerar la posibilidad de aplicar la técnica de separación sólido-líquido (ver figura 7.3) con la técnica del sedimentador mecánico. Este funciona con un mejor rendimiento en un menor espacio que los tanques desarenadores actuales.
- Debe contarse con el servicio de laboratorio químico para conducir y controlar las operaciones y procesos con información e interpretar los comportamientos productivos.
- Dada la detección de oro grueso en el material de la mina Gualconda, se recomienda considerar la posibilidad de extraerlo gravimétricamente y no llevarlo todo a cianuración como actualmente de está haciendo.
- Si se asume que la Cooperativa no corre con los costos de extracción minera, sino el minero , la alternativa de tratar las arenas finales para recuperar el oro que aún queda en ellas resula técnica y económicamente factible. Ver análisis económico en el numeral 8.7 página 140.

# 7.6. DIAGRAMA DE FLUJO DE OPERACIONES, PROCESOS Y MASA PARA LA PROPUESTA

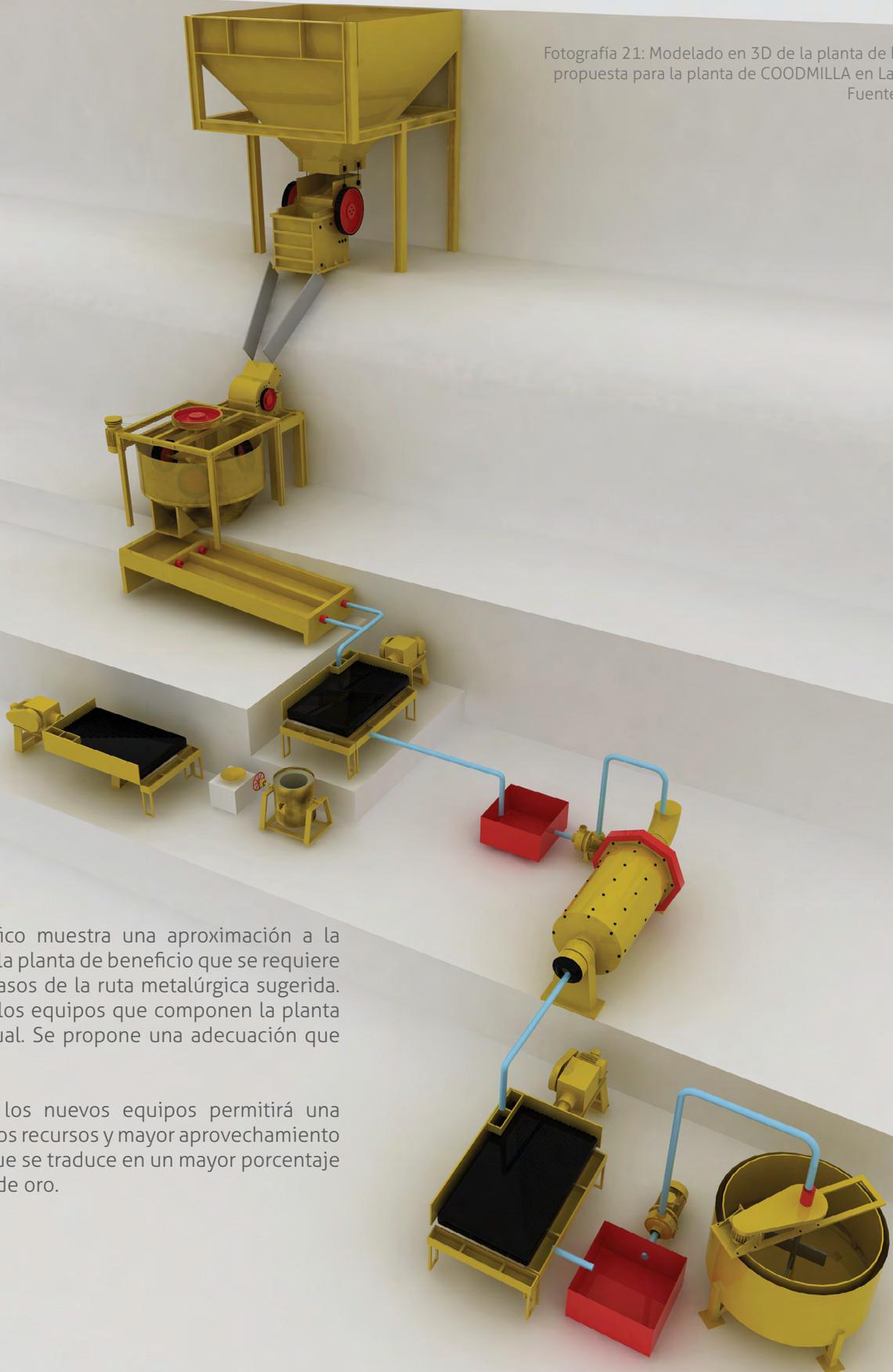
El diagrama de flujo con balance de materia permite visualizar y tener un control tanto de la cantidad de mineral de entrada y salida, como de oro procesado en cada etapa del circuito de beneficio.

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



## 7.7. MONTAJE DE PLANTA DE BENEFICIO SUGERIDA

Fotografía 21: Modelado en 3D de la planta de beneficio propuesta para la planta de COODMILLA en La Llanada.  
Fuente: Propia..



El siguiente 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, incluye los equipos que componen la planta de beneficio actual. Se propone una adecuación que los incluya.

La inclusión de los nuevos equipos permitirá una optimización de los recursos y mayor aprovechamiento del material, lo que se traduce en un mayor porcentaje de recuperación de oro.

# 7.8. DIAGRAMA DE FLUJO PARA LA PLANTA DE BENEFICIO SUGERIDA

El siguiente es el diagrama de flujo de la planta de beneficio para la zona minera, con sus respectivas líneas de entradas y salidas en cada operación unitaria. Este diagrama responde a la ruta metalúrgica propuesta y al montaje de la planta sugerido.

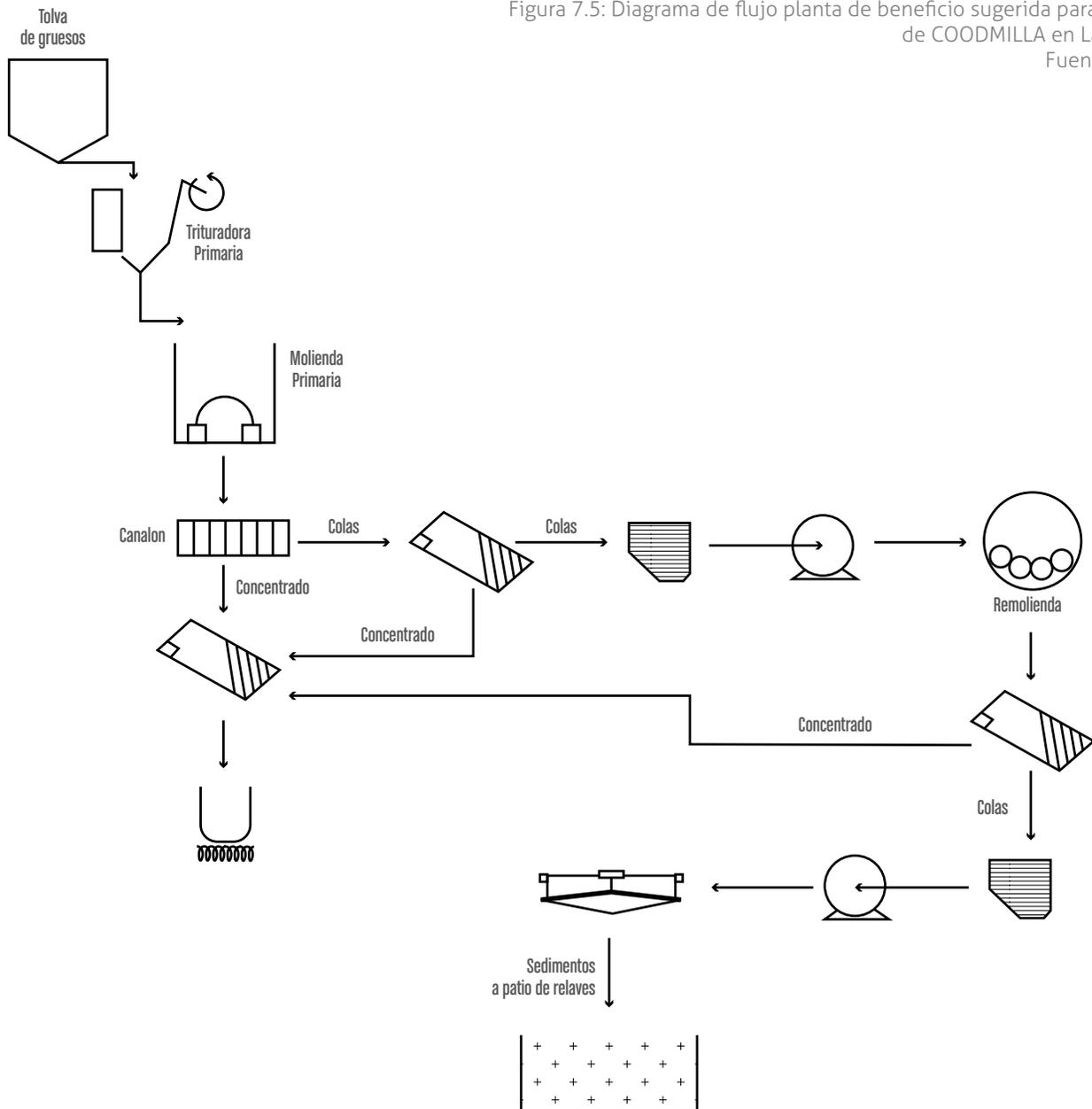
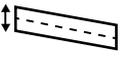
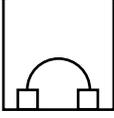
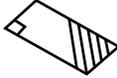
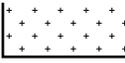


Figura 7.5: Diagrama de flujo planta de beneficio sugerida para la planta de COODMILLA en La Llanada. Fuente: Propia.

## CONVENCIONES

SÍMBOLO	MÁQUINA	FOTOGRAFÍA
	TOLVA	
	TRITURADORA DE QUIJADAS	
	CRIBA VIBRATORIA	
	MOLINO CHILENO	
	CANALONES	
	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	



## 7.9. CONSIDERACIONES METALÚRGICAS

- En la zona se distinguen dos unidades geometalúrgicas. Una de las diferencias entre ambas es la concentración de pirrotina en los materiales.
- La planta de la Cooperativa de La Llanada procesa materiales provenientes de dos unidades geometalúrgicas distintas.
- Las plantas de beneficio de Andes-Sotomayor son más sensibles a la presencia de la pirrotina que las de La Llanada, dado que el oro allí se extrae aplicando la cianuración, que es un proceso afectado fuertemente por este mineral.
- Las pruebas de cianuración mostraron un comportamiento similar para las diferentes vetas, con recuperaciones mayores al 93 % y altos consumos de cianuro, aproximadamente 10 Kg/t. Efectuando un pretratamiento con NaOH, disminuyó el consumo de cianuro a 2.8 Kg/t observándose microscópicamente un fuerte ataque a los bordes de los granos de arsenopirita y una disminución en la cantidad de arsénico presente en solución después del proceso de cianuración.
- Para el proceso de flotación se requiere moler por debajo de 135 micras para obtener altas recuperaciones de Au, ya que en esta malla casi todo el Au se encuentra expuesto.
- El Au no cianurado corresponde a la fracción de tamaño menor a 15 mm que se encuentra incluido en arsenopirita. Este tipo de Au limita la máxima recuperación a esperar en una cianuración convencional.
- La cianuración de concentrados de flotación requiere tiempos más prolongados de agitación que el mineral de mena.
- Los procesos gravimétricos obedecen bien para los tamaños de oro encontrados.

Según todos los resultados obtenidos, la ruta metalúrgica sugerida para la planta de la cooperativa de La Llanada mejora el porcentaje de recuperación del 60 a 80,4%

Detalle de oro concentrado en batea.  
Fotografía tomada por: Verónica Ruíz / 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, a 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 sobre los proyectos de inversión y al análisis de cada una de las etapas que comprende el estudio y 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.

---

**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.**

---

- **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.

---

**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.**

---

### 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

## 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.

determinar los flujos netos de efectivo que se utilizan en las técnicas de evaluación de proyectos.

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-costo (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-costo 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-costo 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 - ZONA MINERA DE LA LLANADA

En esta sección se enseña la metodología que se emplea en cada una de las etapas del estudio y evaluación financiera del proyecto propuesto para la planta de beneficio de la cooperativa en el municipio de la Llanada, 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 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 DE LA COOPERATIVA EN EL MUNICIPIO DE LA LLANADA

Para la realización del estudio el equipo técnico definió las siguientes variables de operación de la planta, de acuerdo con la información recolectada en campo y los resultados de los estudios técnicos efectuados.

• Capacidad de procesamiento	1,25 t/h
• Funcionamiento de la planta	8 h/día
• Volumen de procesamiento	10 t/día
• Turnos por día	1 por día
• Días de operación al mes	26 días
• Volumen de procesamiento	260 t/mes
• Tenor por tonelada de material de mina	15
• % Total de recuperación de oro	80,4%
• Recuperación total de oro	12,06 g/t

Las inversiones que se requieren para la adecuación de la planta (maquinaria y equipo, instalaciones hidráulicas y montaje de laboratorio) dependerán de la negociación que el minero pueda adelantar 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 en seguida.

#### 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 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 la planta 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 la planta 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 los equipos nuevos que se requieren para cada proceso, de acuerdo con el inventario inicial de la planta de la Cooperativa en el municipio de la Llanada.

PROCESOS	MÁQUINA Y DESCRIPCIÓN	ESPECIFICACIÓN TÉCNICA	CANTIDAD
TRITURACIÓN Y MOLIENDA	Bomba de sólidos	2,5" x 2"	1
CONCENTRACIÓN	Mesa de concentración primaria	1,50 x 2,50 m	2
	Mesa de concentración secundaria	1,50 x 2,50 m	1
	Tanque espesador	2,5m	1
MANEJO AMBIENTAL	Bomba para soluciones de 2"X 1,5" de alta	5 HP	1
	Bomba sumergible	2 HP	1

Nota: (\*) La implementación de la ruta metalúrgica propuesta requiere la utilización del molino remoldador que tienen en la planta de la Cooperativa y que no se encuentra actualmente en operación.

#### • Instalaciones hidráulicas

Este rubro comprende el costo de materiales y pago de honorarios del personal calificado que llevará a cabo las adecuaciones hidráulicas necesarias para la instalación y puesta en funcionamiento de la maquinaria y equipos nuevos.

#### • 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.

**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.**

### 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.

### 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)
- 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 22 % 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 (\$) × 22%

- 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	1,2	312
	Revestimientos Trituradora Primaria	kg	1,2	312
	Revestimientos Molino Primario	kg	1,2	312
FUNDICIÓN	Bórax	kg	0,044	11,44
	Carbonato de Sodio	kg	0,008	2,08
	Sílice	kg	0,025	6,50
	Sal de Nitro	kg	0,004	1,04
MANEJO AMBIENTAL	Floculante	kg	0,004	1,04
	Peróxido de Hidrógeno	kg	0,23	59,80

Nota: (\*) La dosificación por tonelada fue determinada por el Equipo Técnico. (\*\*) La cantidad consumida mes se estimó para 260 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 (ICBF), al SENA y a las cajas de compensación familiar (CCF), 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	TURNOS X DÍA	SUELDO BÁSICO X MES (COP)	AUX. TRANSPORTE X MES (COP)	SALARIO TOTAL X MES (COP)*
Trituración	Operario	2	1	\$ 781.242	\$ 88.211	\$ 1.738.906
Molienda	Operario	1	1	\$ 1.500.000	\$ 0	\$ 1.500.000
Mantenimiento	Operario	1	1	\$ 781.242	\$ 88.211	\$ 869.453
<b>Total:</b>						<b>\$ 4.108.359</b>

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

**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.**

### 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 0.50% 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 (\$) × 0.50%

### 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.

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
<b>Total:</b>	<b>214.529</b>	

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
<b>Total:</b>	<b>\$70.312</b>	

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.

PROCESOS	TIPO DE ENSAYO	TIPO DE MUESTRA	CANTIDAD (UNIDAD/MES)
TRITURACIÓN	Ensayos al Fuego	Cabeza General	26
CONCENTRACIÓN	Ensayos al Fuego	Cola de Flotación	26
	Ensayos al Fuego	Concentrado de Mesa	26
	Ensayos al Fuego	Superconcentrado	8
FUNDICIÓN	Ensayos al Fuego	Fundido	8
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. 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	POTENCIA MOTOR (H.P.)	POTENCIA MOTOR (Kw)	CANTIDAD	HORAS DE TRABAJO	Kw/DÍA	Kw/MES
TRITURACIÓN Y MOLIENDA	Trituradora de quijadas	7,5	5,625	1	8	45,0	1.170
	Molino chileno	20	15	1	8	120	3.120
	Banda transportadora	3	2,25	1	8	18,0	468
	Bomba de sólidos	7,5	18,75	1	8	150	3.900
	Molino remolador	10	7,5	1	8	60	1.560
	<b>Total trituración y molienda</b>						<b>10.218</b>
CONCENTRACIÓN	Mesa de concentración primaria	2	1,5	2	8	24	624
	Mesa de concentración secundaria	2	1,5	1	8	12	312
MANEJO AMBIENTAL	Tanque espesador	2	1,5	1	8	12	312
	<b>Total concentración</b>						<b>3.588</b>
	Bombas para recirculación de aguas y soluciones	7	5,25	1	8	42	1.092
TOTAL	<b>Total manejo ambiental</b>						<b>1.092</b>
							<b>12.558</b>

### • 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 m<sup>3</sup>.

#### Fórmula empleada para calcular el costo mensual de agua

Costo del agua (\$) = consumo de agua (m<sup>3</sup>/mes) × tarifa m<sup>3</sup> (\$)

#### 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 diez años.

#### Fórmula para calcular la depreciación de la maquinaria y equipo

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

**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 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

CIF (\$) = valor de costos directos (\$) × 10%

#### 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

Costos totales mensuales (\$) = total de los costos directos mensuales (\$) + 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

Oro recuperado × t (g) = tenor (g) × % de recuperación total

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:

CANTIDAD DE MATERIAL PROCESADO (t)	RECUPERACIÓN TOTAL (%)*	CANTIDAD RECUPERADA (g/t)
1	100	15
1	80,4	12,06

(\*) Con la implementación de la propuesta tecnológica se puede alcanzar mínimo un 80,4% de recuperación de oro por tonelada.

(\*\*) Para la zona minera de La Llanada se determinó un tenor de 15 gramos, por tonelada.

Producción de oro (g) = oro recuperado (g) × material de mina procesado mensualmente (t)

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

Ingresos totales mensuales (\$) = producción mensual de oro (g) × precio del oro (\$/g)

**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.**

## 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.

#### 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

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

**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.**

## TASA INTERNA DE RETORNO (TIR)

### Fórmula para calcular la TIR

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

## 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 - PLANTA DE LA COOPERATIVA MUNICIPIO LA LLANADA

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 propuesta (diagrama 7.3), y los indicadores que comprueban la viabilidad financiera del proyecto, acorde con las condiciones iniciales para la planta de la cooperativa de La Llanada.

### Inversión inicial

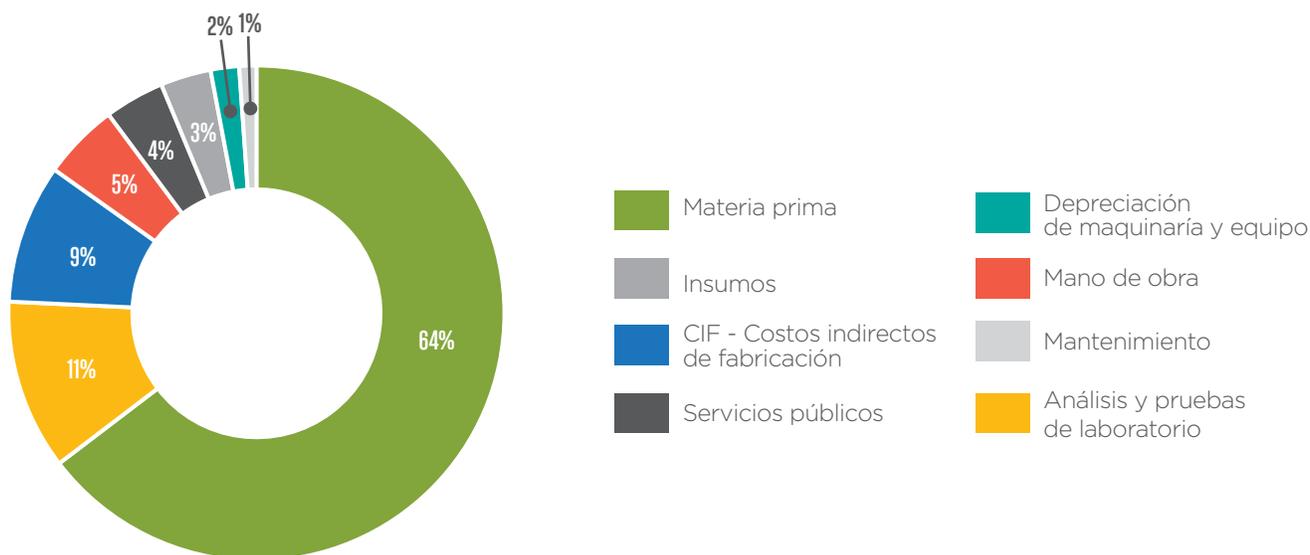
DESCRIPCIÓN	COSTO	% PARTICIPACIÓN EN INVERSIÓN
<b>Activos fijos</b>		
Maquinaria y equipo	\$ 150.535.000	97%
Instalaciones hidráulicas	\$ 5.000.000	3%
<b>Total activos fijos</b>	<b>\$155.535.000</b>	<b>100%</b>

Los precios cotizados se encuentran detallados en el informe técnico.

### Costo operación - mes

DESCRIPCIÓN	COP (\$)
<b>Costos directos</b>	
Materia prima	\$ 83.162.543
Insumos	\$ 4.243.587
Mano de obra	\$ 6.406.620
Mantenimiento	\$ 1.582.165
Análisis y pruebas de laboratorio	\$ 14.300.000
Servicios públicos	\$ 5.737.006
Depreciación de maquinaria y equipo	\$ 2.636.942
<b>Total costos directos</b>	<b>\$ 118.068.862</b>
<b>Costos indirectos</b>	
CIF - Costos indirectos de fabricación	\$ 11.806.886
<b>Total costos indirectos</b>	<b>\$ 11.806.886</b>
<b>Total costos: (directos + indirectos)</b>	<b>\$ 129.875.748</b>

## Estructura de costos de operación futura - Planta de beneficio



## Ingresos de operación – mes

PROCESO	RECUPERACIÓN DE ORO %	RECUPERACIÓN DE ORO (g/t)	PRODUCCIÓN DE ORO (g/mes)	PRECIO UNITARIO DE ORO (\$/g)*	COP (\$)
Concentración gravimétrica	80,4	12,06	3.136	\$118.465	\$371.458.854
<b>Total:</b>					<b>\$371.458.854</b>

\*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
<b>(1) INVERSIÓN INICIAL (-)</b>						
Activos fijos	\$ 155,535,000					
Activos diferidos						
<b>TOTAL INVERSIÓN INICIAL</b>	<b>-\$ 155,535,000</b>					
<b>(2) INGRESOS GRAVABLES (+)</b>						
Ingresos operacionales		\$ 4.457.506.248	\$ 4.591.231.435	\$ 4.728.968.379	\$ 4.870.837.430	\$ 5.016.962.553
<b>(3) EGRESOS DEDUCIBLES (-)</b>						
Costos operacionales		\$ 1.526.865.680	\$ 1.564.301.049	\$ 1.602.882.103	\$ 1.642.644.341	\$ 1.683.624.378
Depreciación		\$ 31.643.300	\$ 31.643.300	\$ 31.643.300	\$ 31.643.300	\$ 31.643.300
Regalías		\$ 142.640.200	\$ 146.919.406	\$ 151.326.988	\$ 155.866.798	\$ 160.542.802
<b>TOTAL EGRESOS DEDUCIBLES</b>		<b>\$ 1.701.149.180</b>	<b>\$ 1.742.863.755</b>	<b>\$ 1.785.852.391</b>	<b>\$ 1.830.154.439</b>	<b>\$ 1.875.810.480</b>
<b>(4) UTILIDAD ANTES DE IMPUESTOS</b>		<b>\$ 2.756.357.068</b>	<b>\$ 2.848.367.681</b>	<b>\$ 2.943.115.988</b>	<b>\$ 3.040.682.991</b>	<b>\$ 3.141.152.073</b>
<b>(5) MÁRGEN UTILIDAD OPERACIONAL</b>		<b>61,8%</b>	<b>62,0%</b>	<b>62,2%</b>	<b>62,4%</b>	<b>62,6%</b>
<b>(6) IMPUESTOS (-)</b>						
IMPUESTO DE RENTA (33%) (-)		\$ 909.597.833	\$ 939.961.335	\$ 971.228.276	\$ 1.003.425.387	\$ 1.036.580.184
<b>TOTAL IMPUESTOS</b>		<b>\$ 909.597.833</b>	<b>\$ 939.961.335</b>	<b>\$ 971.228.276</b>	<b>\$ 1.003.425.387</b>	<b>\$ 1.036.580.184</b>
<b>(7) UTILIDAD NETA</b>		<b>\$ 1.846.759.236</b>	<b>\$ 1.908.406.346</b>	<b>\$ 1.971.887.712</b>	<b>\$ 2.037.257.604</b>	<b>\$ 2.104.571.889</b>
<b>(8) MÁRGEN DE UTILIDAD NETA</b>		<b>41,4%</b>	<b>41,6%</b>	<b>41,7%</b>	<b>41,8%</b>	<b>41,9%</b>
<b>(9) DEPRECIACIÓN (+)</b>		<b>\$ 31.643.300</b>				
<b>(10) FLUJO NETO DE EFECTIVO</b>	<b>-\$ 155.535.000</b>	<b>\$ 1.878.402.536</b>	<b>\$ 1.940.049.646</b>	<b>\$ 2.003.531.012</b>	<b>\$ 2.068.900.904</b>	<b>\$ 2.136.215.189</b>

## 8.3.1. RESULTADOS E INTERPRETACIÓN DE INDICADORES DE EVALUACIÓN FINANCIERA - ZONA MINERA DE LA LLANADA

El VPN del proyecto a una tasa de descuento del 20%, es de CINCO MIL SETECIENTOS SETENTA Y DOS MILLONES SETECIENTOS TREINTA Y OCHO MIL SETECIENTOS OCHENTA Y DOS PESOS M.CTE. (\$5.772.738.782)

El VPN del proyecto a una tasa de descuento del 30%, es de CUATRO MIL SEISCIENTOS CUARENTA Y NUEVE MILLONES DOCE MIL CUATROCIENTOS CUARENTA Y UN PESOS M.CTE. (\$4.649.012.441)

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 los dineros invertidos en el proyecto rinden más que estas tasas de interés de oportunidad.

La TIR anual obtenida es mayor que las dos tasas de interés de oportunidad del inversionista definidas en este proyecto como el 20 % y 30 % anual. Se concluye que este proyecto se justifica desde el punto de vista financiero, en la medida en que los dineros que permanecen invertidos en el proyecto rinden a una tasa superior al costo de oportunidad definido.

Para este proyecto, la relación beneficio-costo a tasas de interés de oportunidad del 20 % y 30 % es de 2,69 en ambos casos. 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 - Zona minera La Llanada

INDICADOR	TD 20%	TD 30%
<b>Valor presente neto (VPN)</b>	COP \$ 5.772.738.782 USD* \$ 1.924.246	COP \$ 4.649.012.441 USD* \$ 1.549.671
<b>Tasa interna de retorno (TIR)</b>	1,211%	1,211%
<b>Relación beneficio / costo (RB/C)</b>	2,69	2,69

Tasa de cambio utilizada COP \$3000/USD.

## 8.4. ESTUDIO FINANCIERO DE LA OPERACIÓN ACTUAL VS LA OPERACIÓN FUTURA EN LA PLANTA DE LA COOPERATIVA EN EL MUNICIPIO DE LA LLANADA

En esta sección se exponen los resultados del estudio financiero de la operación actual de la planta de beneficio de la Cooperativa en el municipio de La Llanada, 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

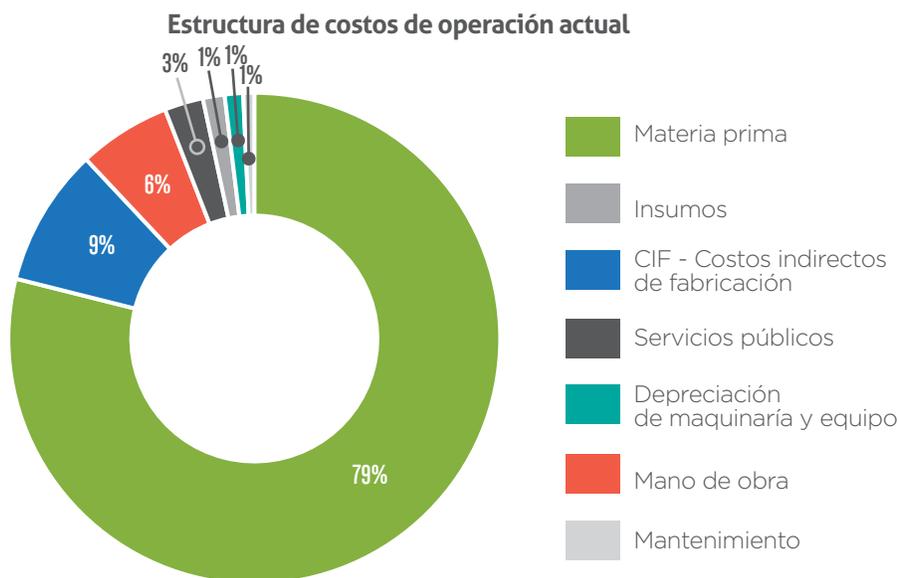
• Capacidad de procesamiento	1,25 t/h
• Funcionamiento de la planta	8 h/día
• Volumen de procesamiento	10 t/día
• Turnos por día	1 por día
• Días de operación al mes	26 días
• Volumen de procesamiento	260 t/mes
• Tenor por tonelada de material de mina	15
• % Total de recuperación de oro	60%
• Recuperación total de oro	9 g/t

### Costo operación - mes planta actual

DESCRIPCIÓN	COP (\$)
<b>Costos directos</b>	
Materia prima	\$ 83.162.430
Insumos	\$ 1.505.743
Mano de obra	\$ 6.406.620
Mantenimiento	\$ 764.278
Servicios públicos	\$ 2.685.873
Depreciación de maquinaria y equipo	\$ 1.273.796
<b>Total costos directos</b>	<b>\$ 95.798.738</b>
<b>Costos indirectos</b>	
CIF - Costos indirectos de fabricación	\$ 9.579.874
<b>Total costos indirectos</b>	<b>\$ 9.579.874</b>
<b>Total costos: (directos + indirectos)</b>	<b>\$ 105.378.612</b>

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

## 8.4.1 RESULTADOS DE LA OPERACIÓN ACTUAL



### Ingresos de operación actual – mes

PROCESO	RECUPERACIÓN DE ORO %	RECUPERACIÓN DE ORO (g/t)	PRODUCCIÓN DE ORO (g/mes)	PRECIO UNITARIO DE ORO (\$/g)*	COP (\$)
Concentración gravimétrica	60,0	9,0	2.340	\$ 118.465	\$ 277.208.100
<b>Total:</b>					<b>\$ 277.208.100</b>

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
<b>(2) INGRESOS GRAVABLES (+)</b>					
Ingresos operacionales	\$ 3,326,497,200	\$ 3,426,292,116	\$ 3,529,080,879	\$ 3,634,953,306	\$ 3,744,001,905
<b>(3) EGRESOS DEDUCIBLES (-)</b>					
Costos operacionales	\$ 1,249,257,796	\$ 1,285,970,330	\$ 1,323,814,091	\$ 1,362,824,291	\$ 1,403,037,248
Depreciación	\$ 15,285,550	\$ 15,285,550	\$ 15,285,550	\$ 15,285,550	\$ 15,285,550
Regalías	\$ 106,447,910	\$ 109,641,348	\$ 112,930,588	\$ 116,318,506	\$ 119,808,061
<b>TOTAL EGRESOS DEDUCIBLES</b>	<b>\$ 1,370,991,257</b>	<b>\$ 1,410,897,228</b>	<b>\$ 1,452,030,229</b>	<b>\$ 1,494,428,347</b>	<b>\$ 1,538,130,859</b>
<b>(4) UTILIDAD ANTES DE IMPUESTOS</b>	<b>\$ 1,955,505,943</b>	<b>\$ 2,015,394,888</b>	<b>\$ 2,077,050,650</b>	<b>\$ 2,140,524,959</b>	<b>\$ 2,205,871,046</b>
<b>(5) MÁRGEN DE UTILIDAD OPERACIONAL</b>	<b>58.79%</b>	<b>58.82%</b>	<b>58.86%</b>	<b>58.89%</b>	<b>58.92%</b>
<b>(6) IMPUESTOS (-)</b>					
IMPUESTO DE RENTA (33%) (-)	\$ 645,316,961	\$ 665,080,313	\$ 685,426,715	\$ 706,373,237	\$ 727,937,445
<b>TOTAL IMPUESTOS</b>	<b>\$ 645,316,961</b>	<b>\$ 665,080,313</b>	<b>\$ 685,426,715</b>	<b>\$ 706,373,237</b>	<b>\$ 727,937,445</b>
<b>(7) UTILIDAD NETA</b>	<b>\$ 1,310,188,982</b>	<b>\$ 1,350,314,575</b>	<b>\$ 1,391,623,936</b>	<b>\$ 1,434,151,723</b>	<b>\$ 1,477,933,601</b>
<b>(8) MÁRGEN DE UTILIDAD NETA</b>	<b>39.39%</b>	<b>39.41%</b>	<b>39.43%</b>	<b>39.45%</b>	<b>39.47%</b>
<b>(9) DEPRECIACIÓN (+)</b>	<b>\$ 15,285,550</b>				
<b>(10) FLUJO NETO DE EFECTIVO</b>	<b>\$ 1,325,474,532</b>	<b>\$ 1,365,600,125</b>	<b>\$ 1,406,909,486</b>	<b>\$ 1,449,437,273</b>	<b>\$ 1,493,219,151</b>

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.

## 8.4.2. RESUMEN DE INDICADORES DE OPERACIÓN ACTUAL Vs OPERACIÓN FUTURA

INDICADOR	UNIDAD	OPERACIÓN ACTUAL	OPERACIÓN FUTURA
Recuperación oro (g/t)	%	60%	80%
Cantidad de oro recuperado por tonelada	g	9,00	12,06
Costo de producción unitario por gramo de oro	COP (\$)	\$ 45.034	\$ 41.420
Costo de producción unitario por onza troy de oro	USD (\$)	\$ 471	\$ 434
Costo unitario por tonelada procesada	COP (\$)	\$ 405.302	\$ 499.522
Ingreso Unitario por tonelada procesada	COP (\$)	\$ 1.066.185	\$ 1.428.688
Utilidad antes de impuestos por gramo de oro	COP(\$)	\$ 69.641	\$ 73.254
Utilidad antes de impuestos por onza troy de oro	USD(\$)	\$ 728,98	\$ 767
Margen de utilidad operacional - (promedio 5 años)	%	58,85%	62,23%
Utilidad después de impuestos por gramo de oro	COP (\$)	\$ 46.659	\$ 49.080
Utilidad después de impuestos por onza troy de oro	USD(\$)	\$ 488,42	\$ 514
Margen de utilidad neta (promedio 5 años)	%	39,43%	41,69%
Indicador de productividad (producto/insumo)		2,63	2,86

Precio de venta por gramo de oro: COP 118.465

Precio de venta por onza troy de oro: USD 1228

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 EN LA PLANTA DE LA COOPERATIVA EN EL MUNICIPIO DE LA LLANADA

La adopción integral de la propuesta, como una alternativa para mejorar los niveles de eficiencia en el proceso de beneficio de oro, permite a la empresa minera incrementar la productividad total en aproximadamente 9 %, al pasar de una razón producto/insumo total de 2,63 bajo las condiciones de la producción actual de la planta de beneficio de la cooperativa en el municipio de La Llanada, a una razón de productividad de 2,86 con la implementación de la ruta metalúrgica propuesta.

Esto 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 la presente propuesta y desarrolle su operación bajo el estricto cumplimiento de los estándares técnico-administrativos y legales.

Cabe resaltar que se estableció que en el escenario de producción actual el costo unitario de producir un gramo de oro es de aproximadamente COP 45.034, mientras que se espera que, con la operación futura, el costo unitario del gramo de oro sea de COP 41.030. Este resultado indica una reducción efectiva de los costos unitarios de 9 %.

Esta reducción en costos unitarios de producción de la planta de beneficio de la Cooperativa en el municipio de La Llanada, junto con el aumento en el porcentaje del gramo de oro recuperado por cada tonelada de mineral procesado (de 60 % a 80,4 %) resulta en un aumento del margen de utilidad neta proyectada para los cinco años evaluados, al pasar de 39.43 %, en la actualidad, a 41.69 %, en la operación futura.

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

**En el escenario actual de la planta de la Cooperativa en el municipio de La Llanada, el costo unitario de producir 1 g de oro es de COP 45.034, mientras que la implementación de la propuesta reduce este costo a COP 41.420**

**Esta disminución, 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 5,23%.**



## 8.5. CONSIDERACIONES SOBRE LA OPERACIÓN ACTUAL DE LA PLANTA DE BENEFICIO DE LA COOPERATIVA EN EL MUNICIPIO DE LA LLANADA

- En el estudio financiero de la operación actual de la planta se utilizó como referencia un porcentaje de recuperación de oro de 60 % por cada tonelada de material mineral procesado, obteniéndose este en el proceso de concentración gravimétrica, de acuerdo con la información suministrada por el equipo técnico.
- Teniendo en cuenta que el tenor de la zona minera de La Llanada es de 15,0 gramos y que la operación actual permite una recuperación promedio del 60%, en el estudio financiero se estimó una recuperación de 9,0 gramos por cada tonelada de mineral procesado.
- Los rubros más representativos en la estructura de costos de la operación actual de la planta son la materia prima y la mano de obra, cada uno con una participación sobre los costos totales de 79 % y 6%, respectivamente.
- Se estableció que la planta de beneficio tiene un consumo de agua por cada tonelada de mineral procesado de aproximadamente 2,88m<sup>3</sup> y que el costo anual por consumo de agua que pagan a la Corporación Autónoma Regional de la zona por concesión es de aproximadamente COP 300.000.
- La planta de beneficio de la cooperativa en el municipio de La Llanada se aprecia en buen estado y sus superficies se prestan a ampliaciones y reformas.
- 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 5.850 kW/mes, lo que equivale a un costo promedio de energía eléctrica mensual de COP 2.660.873.
- El costo por materia prima, definido en este ejercicio como un porcentaje equivalente al 30% del valor de venta final del oro recuperado por cada tonelada procesada, es de COP 319.856/t.
- El costo unitario aproximado, teniendo en cuenta los parámetros de la operación actual definidos para la planta, es de COP 45.034 por cada gramo de oro y de USD 471,40 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 año 2017. Este precio es de COP 118.465/g y de USD 1.228/onza troy.
- La ganancia unitaria (antes de pagar impuestos) aproximada es de COP 69.641/g de oro y de USD 728,98/onza troy de oro. Esto corresponde a un margen de utilidad operacional de 58.85 %, en promedio, para los cinco años contemplados como horizonte de evaluación.
- La ganancia unitaria (después de pagar impuestos) aproximada es de COP 46.659/g de oro y de USD 488,42 /onza troy de oro. Esto corresponde a un margen de utilidad operacional de 39.43 %, en promedio, para los cinco años contemplados como horizonte de evaluación.



## 8.6. CONSIDERACIONES SOBRE LA OPERACIÓN FUTURA DE LA PLANTA DE BENEFICIO DE LA COOPERATIVA EN EL MUNICIPIO DE LA LLANADA

· Con base en la capacidad promedio instalada de las planta de beneficio de la zona, se estableció un potencial de procesamiento anual de 3.120 toneladas de material de mina, lo cual implica un funcionamiento de la planta de 26 días al mes y un procesamiento de 10 toneladas de material mineral al día.

· La implementación de la propuesta de adecuación tecnológica para mejorar la eficiencia del proceso de beneficio del oro permite alcanzar hasta un 90 %. Este porcentaje es mayor que la recuperación promedio que se obtiene en la planta bajo las condiciones actuales.

· Teniendo en cuenta que el tenor del material de cabeza promedio que se procesa en la planta es de 15 gramos, y que la implementación de la ruta metalúrgica en la operación futura permite una recuperación mínima aproximada de 80,4 %, se espera una recuperación de 12,06 gramos por cada tonelada de mineral procesado.

· Se definió un esquema conservador, en el cual se obtiene una recuperación de oro equivalente al 80,4 % por cada tonelada de material mineral procesado. Sin embargo, estos rendimientos pueden ser superiores al 90%.

· A partir de las características de planta y las variables de operación definidas por el equipo técnico se realizó un inventario de la maquinaria y de los equipos nuevos que se deben adquirir para mejorar algunos de los procesos que se están llevando a cabo en la operación actual de la planta, con el fin de implementar los nuevos procesos que se detallan en la ruta metalúrgica contenida en la presente guía. El monto de recursos que deberán invertirse para la adecuación es de COP 155.535.000.

· La definición del inventario de maquinaria y equipo nuevos, con sus respectivas especificaciones técnicas, se determinó a partir del inventario inicial de la planta de la Cooperativa La Llanada. Esto se hizo con el objetivo de no incurrir en costos innecesarios y optimizar los recursos disponibles para la inversión.

· Los rubros más representativos de la estructura de costos de la operación futura de la planta son la materia prima y los análisis de laboratorio, cada uno con una participación sobre los costos totales de 64 % y 11%, respectivamente.

“ 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 es de 12.558 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.

· El costo unitario aproximado que se puede alcanzar con la implementación de la propuesta de adecuación es de COP 41.420 por cada gramo de oro, y de USD 433,57 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 se pueden generar puede 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 año 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 pagar impuestos) de COP 73.254/g de oro y de USD 766,81/onza troy de oro. Esto corresponde a un margen de utilidad operacional de 62,23 %, 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 pagar impuestos) de COP 49.080/g de oro y de USD 513,77 onza troy de oro. Esto corresponde a un margen de utilidad neta de 41,69 %, en promedio, para los cinco años contemplados como horizonte de evaluación.

· Se estableció que la inversión en adecuación de la planta de beneficio de la Cooperativa en el municipio de La Llanada 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 los dineros invertidos en el proyecto rinden más que las tasas de interés de oportunidad de 20 % y 30 %, anual.

· El período de recuperación de la inversión en adecuaciones con las tasas de interés de oportunidad del 20 % y 30 % anual es inferior a un año.

## 8.7. ESTUDIO FINANCIERO DEL PROYECTO DE BENEFICIO DE LAS ARENAS DE RECHAZO EN LA PLANTA DE LA COOPERATIVA

Teniendo en cuenta que la Cooperativa queda con las arenas de rechazo del material que se procesa en la planta y que este material contiene un tenor aproximado de 5,9 g/t de oro, se realizó un ejercicio de evaluación financiera del proyecto; a partir de la implementación de la ruta metalúrgica contenida en el diagrama 7.4., con la cual se obtendría un porcentaje de recuperación del 91%.

Los resultados de este ejercicio permitieron confirmar la viabilidad del proyecto desde el punto de vista financiero, puesto que los beneficios son mayores que los costos, incluyendo la inversión inicial.

Con base en la capacidad promedio instalada de la planta de beneficio, se estableció un potencial de procesamiento anual de 3.120 toneladas de material mineral donado por los Cooperados, lo cual implica un funcionamiento de la planta de 26 días al mes y un procesamiento de 10 toneladas de material mineral al día.

A partir de las características de planta y las variables de operación definidas por el equipo técnico se realizó un inventario de la maquinaria y de los equipos nuevos que se deben adquirir para mejorar algunos de los procesos que se están llevando a cabo en la operación actual de la planta, con el fin de implementar los nuevos procesos que se detallan en la segunda alternativa de ruta metalúrgica contenida en la presente guía. El monto de recursos que deberán invertirse para la adecuación es de COP 845.895.650.

El período de recuperación de la inversión en adecuaciones con las tasas de interés de oportunidad del 20 % y 30 % anual es de aproximadamente 1,5 años.

### RESUMEN DE INDICADORES DE LA OPERACIÓN FUTURA DEL BENEFICIO DE LAS ARENAS DE RECHAZO

En la siguiente tabla se presenta un resumen de los indicadores de la operación futura de la planta de beneficio de la Cooperativa en el municipio de La Llanada, una vez se implemente la ruta metalúrgica definida para la segunda alternativa de producción propuesta.

INDICADOR	UNIDAD	OPERACIÓN FUTURA
Recuperación oro (g/t)	%	91%
Cantidad de oro recuperado por tonelada	g	5,46
Costo de producción unitario por gramo de oro	COP (\$)	\$ 51.749
Costo de producción unitario por onza troy de oro	USD (\$)	\$ 542
Costo unitario por tonelada procesada	COP (\$)	\$ 282.548
Ingreso Unitario por tonelada procesada	COP (\$)	\$ 646.819
Utilidad antes de impuestos por gramo de oro	COP(\$)	\$ 62.925
Utilidad antes de impuestos por onza troy de oro	USD(\$)	\$ 659
Margen de utilidad operacional - (promedio 5 años)	%	54,90%
Utilidad después de impuestos por gramo de oro	COP (\$)	\$ 42.160
Utilidad después de impuestos por onza troy de oro	USD(\$)	\$ 441
Margen de utilidad neta (promedio 5 años)	%	36,78%
Indicador de productividad (producto/insumo)		2,29

Precio de venta por gramo de oro: COP 118.465 Precio de venta por onza troy de oro: USD 1228. Tasa de cambio utilizada: COP 3000/USD  
Factor de conversión utilizado: 1 onza troy = 31.1034768 gramos

La adopción integral de la segunda propuesta, permite a la Cooperativa de La Llanada alcanzar una productividad promedio de 2,29, al procesar las colas del material mineral donado por los Cooperados.

Cabe resaltar que se estableció que el costo unitario de producir un gramo de oro bajo esta segunda alternativa de ruta metalúrgica es de aproximadamente COP 51.749, lo cual redundará en elevados márgenes de utilidad para los cinco años proyectados (54,90% antes de impuestos y de 36,78% después de impuestos).

## 8.8. METODOLOGÍA PARA EL ESTUDIO FINANCIERO - ZONA MINERA DE LOS ANDES SOTOMAYOR

En esta sección se enseña la metodología que se emplea en cada una de las etapas del estudio financiero de la operación de la planta Gualconda, ubicada en la zona minera de los Andes - Sotomayor, al mismo tiempo que se exponen los parámetros definidos por el equipo técnico para simular las condiciones de la operación actual, de acuerdo con la información recolectada en trabajo de campo y los resultados e interpretación de los análisis y pruebas de laboratorio efectuados.

De igual manera, se presentan los supuestos que se tuvieron en cuenta para realizar la proyección de ingresos y egresos de la operación de la planta bajo las condiciones actuales en un horizonte de cinco años.

**Las inversiones que se requieren para la adecuación de la planta (maquinaria y equipo, instalaciones hidráulicas y montaje de laboratorio) dependerán de la negociación que el minero pueda adelantar con su proveedor.**

### VARIABLES DE OPERACIÓN DE LA PLANTA DE BENEFICIO GUALCONDA EN LOS ANDES -SOTOMAYOR

Para la realización del estudio el equipo técnico definió las siguientes variables de operación de la planta, de acuerdo con la información recolectada en campo y los resultados de los estudios técnicos efectuados.

• Capacidad de procesamiento	0,30 t/h
• Funcionamiento de la planta	6 h/día
• Volumen de procesamiento	1,8 t/día
• Turnos por día	1 por día
• Días de operación al mes	26 días
• Volumen de procesamiento	46,8 t/mes
• Tenor por tonelada de material de mina	11,8
• % Total de recuperación de oro	60%
• Recuperación total de oro	7,08 g/t

### 8.8.1. ESTUDIO FINANCIERO

En esta etapa se identificaron y valoraron monetariamente cada uno de los costos, directos e indirectos, de la operación de la planta de beneficio Gualconda, ubicada en la zona minera de los Andes – Sotomayor.

De acuerdo con el diagrama de operaciones de la ruta metalúrgica de la situación actual (diagrama 7.2.), los costos de operación se cuantificaron y clasificaron para cada uno de los siguientes procesos:

#### 8.8.1.1. 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 Gualconda, ubicada en la zona minera de los Andes – Sotomayor.

De acuerdo con el diagrama de operaciones de la ruta metalúrgica de la situación actual (diagrama 7.2.), 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 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 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	0,99	46,33
	Revestimientos trituradora primaria	kg	0,99	46,33
	Revestimientos molino primario	kg	0,99	46,33
CIANURACIÓN	Cianuro de sodio (NaCN)	kg	2,86	133,71
	Cal (CaO)	kg	5,71	267,43
	Hidróxido de sodio (Potasa)	kg	0,0391	1,83
	Acetato de plomo	kg	0,003	0,14
	Polvo de zinc	kg	0,14	6,69
	Xelite (Diátomita)	kg	0,013	0,61
FUNDICIÓN	Bórax	kg	0,044	2,06
	Carbonato de sodio	kg	0,008	0,37

Nota: (\*) La dosificación por tonelada fue determinada por el Equipo Técnico. (\*\*) La cantidad consumida mes se estimó para 46,8 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 dos 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	SUELDO BÁSICO X MES (COP)	AUX. TRANSPORTE X MES (COP)	SALARIO TOTAL X MES (COP)*
Trituración y Molienda	Operario	1	\$ 781.242	\$ 88.211	\$ 869.453
Concentración	Operario	1	\$ 781.242	\$ 88.211	\$ 869.453
<b>Total:</b>			<b>\$ 1.562.484</b>	<b>\$ 176.422</b>	<b>\$ 1.738.906</b>

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

**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.**

## 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 costo del mantenimiento de la maquinaria y de los equipos se estableció como un porcentaje equivalente a 0.15% 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 (\$) × 0.15%

## 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.

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
<b>Total:</b>	<b>214.529</b>	

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
<b>Total:</b>	<b>\$70.312</b>	

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.

### • 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	POTENCIA MOTOR (H.P.)	POTENCIA MOTOR (Kw)	CANTIDAD	HORAS DE TRABAJO	Kw/DÍA	Kw/MES
TRITURACIÓN Y MOLIENDA	Trituradora de Quijadas	10	7,5	1	0,12	0,9	23
	Molino de bolas primario	25	18,75	1	4	75	1.950
	Remolador	7,5	5,625	1	4	22,5	585
	Banda Transportadora con estructura de soporte	5	3,75	1	0,12	0,45	12
	<b>Total trituración y molienda</b>						<b>2.570</b>
CONCENTRACIÓN	Mesa de concentración primaria	3	2,25	1	4	9	234
	JIG	1	0,75	1	4	3	78
	<b>Total concentración</b>						<b>234</b>
CIANURACIÓN	Tanque agitación (Lixiviación)	15	11,25	1	6,92	78	2.025
	Tanque para precipitación de Oro en Cinc	2	1,5	1	1	1,5	39
	<b>Total cianuración</b>						<b>2.064</b>
<b>TOTAL</b>							<b>4.868</b>

### • 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 hídrica, mediante el cual se logró establecer que el consumo específico de agua por tonelada de mineral procesado es de 7,92 m<sup>3</sup>.

#### Fórmula empleada para calcular el costo mensual de agua

Costo del agua (\$) = consumo de agua (m<sup>3</sup>/mes) × tarifa m<sup>3</sup> (\$)

### 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)

**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 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

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

## 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

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

## 8.8.1.2. 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 (%) <sup>*</sup>	CANTIDAD RECUPERADA (g/t)
1	100	11,8
1	60,0	7,08

(\*) Para la zona minera de Andes (Sotomayor) se determinó un tenor de 11,8 gramos, por tonelada.

(\*\*) El porcentaje de recuperación de oro bajo las condiciones de la operación actual de la planta es de 60%.

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

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

## 8.8.2 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.

### 8.8.2.1 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.

## 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.

---

**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.**

---

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 (\$)

### **8.8.2.2 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**

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

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-costos (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.

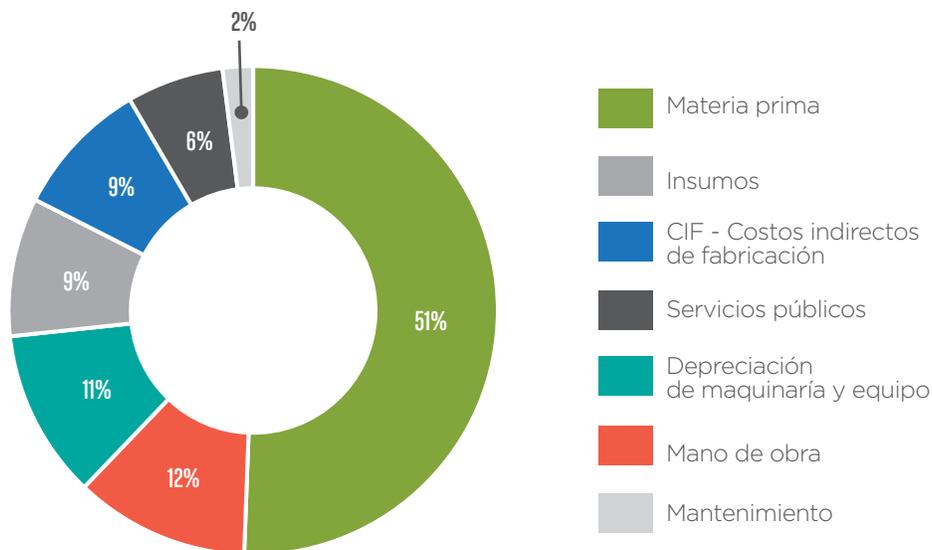
## 8.9. ESTUDIO Y EVALUACIÓN FINANCIERA DE LA OPERACIÓN DE LA PLANTA GUALCONDA

En esta sección se presentan los resultados de la estimación de 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 rentabilidad de la operación de la planta Gualconda, acorde con las condiciones actuales.

### Costo operación - mes

DESCRIPCIÓN	COP (\$)
<b>Costos directos</b>	
Materia prima	\$ 11.775.800
Insumos	\$ 2.136.123
Mano de obra	\$ 2.688.184
Mantenimiento	\$ 468.027
Servicios públicos	\$ 1.491.914
Depreciación de maquinaria y equipo	\$ 2.600.150
<b>Total costos directos</b>	<b>\$ 21.160.198</b>
<b>Costos indirectos</b>	
CIF - Costos indirectos de fabricación	\$ 2.116.020
<b>Total costos indirectos</b>	<b>\$ 2.116.020</b>
<b>Total costos: (directos + indirectos)</b>	<b>\$ 23.276.218</b>

### Estructura de costos de operación actual



### Ingresos de operación actual – mes

PROCESO	RECUPERACIÓN DE ORO %	RECUPERACIÓN DE ORO (g/t)	PRODUCCIÓN DE ORO (gamos)	PRECIO UNITARIO DE ORO (\$/g)*	COP (\$)
Cianuración	60,0	7,08	331	\$ 118.465	\$ 39.252.667
<b>Total:</b>					<b>\$ 39.252.667</b>

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
<b>(2) INGRESOS GRAVABLES (+)</b>					
Ingresos operacionales	\$ 471,032,004	\$ 485,162,964	\$ 499,717,853	\$ 514,709,388	\$ 530,150,670
<b>(3) EGRESOS DEDUCIBLES (-)</b>					
Costos operacionales	\$ 248,112,819	\$ 254,759,333	\$ 261,613,797	\$ 268,682,904	\$ 276,572,023
Depreciación	\$ 31,201,800	\$ 31,201,800	\$ 31,201,800	\$ 31,201,800	\$ 31,201,800
Regalías	\$ 15,073,024	\$ 15,525,215	\$ 15,990,971	\$ 16,470,700	\$ 16,964,821
<b>TOTAL EGRESOS DEDUCIBLES</b>	<b>\$ 294,387,643</b>	<b>\$ 301,486,348</b>	<b>\$ 308,806,568</b>	<b>\$ 316,355,405</b>	<b>\$ 324,738,645</b>
<b>(4) UTILIDAD ANTES DE IMPUESTOS</b>	<b>\$ 176,644,361</b>	<b>\$ 183,676,616</b>	<b>\$ 190,911,284</b>	<b>\$ 198,353,983</b>	<b>\$ 205,412,025</b>
<b>(5) MÁRGEN DE UTILIDAD OPERACIONAL</b>	<b>37.50%</b>	<b>37.86%</b>	<b>38.20%</b>	<b>38.54%</b>	<b>38.75%</b>
<b>(6) IMPUESTOS (-)</b>					
<b>IMPUESTO DE RENTA (33%) (-)</b>	<b>\$ 58,292,639</b>	<b>\$ 60,613,283</b>	<b>\$ 63,000,724</b>	<b>\$ 65,456,814</b>	<b>\$ 67,785,968</b>
<b>TOTAL IMPUESTOS</b>	<b>\$ 58,292,639</b>	<b>\$ 60,613,283</b>	<b>\$ 63,000,724</b>	<b>\$ 65,456,814</b>	<b>\$ 67,785,968</b>
<b>(7) UTILIDAD NETA</b>	<b>\$ 118,351,722</b>	<b>\$ 123,063,333</b>	<b>\$ 127,910,560</b>	<b>\$ 132,897,169</b>	<b>\$ 137,626,057</b>
<b>(8) MÁRGEN DE UTILIDAD NETA</b>	<b>25.13%</b>	<b>25.37%</b>	<b>25.60%</b>	<b>25.82%</b>	<b>25.96%</b>
<b>(9) DEPRECIACIÓN (+)</b>	<b>\$ 31,201,800</b>				
<b>(10) FLUJO NETO DE EFECTIVO</b>	<b>\$ 149,553,522</b>	<b>\$ 154,265,133</b>	<b>\$ 159,112,360</b>	<b>\$ 164,098,969</b>	<b>\$ 168,827,857</b>

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.

## 8.9.1. RESULTADOS E INTERPRETACIÓN DE INDICADORES DE VALORACIÓN DE LA RENTABILIDAD OPERACIÓN ACTUAL PLANTA GUALCONDA

El VPN de los flujos netos de efectivo de la operación de la planta Gualconda en un horizonte de 5 años, a una tasa de descuento del 20% es de CUATROCIENTOS SETENTA MILLONES OCHOCIENTOS VEINTE MIL SETECIENTOS SETENTA Y CINCO PESOS M.CTE. (\$470.820.775).

El VPN de los flujos netos de efectivo de la operación de la planta Gualconda en un horizonte de 5 años, a una tasa de descuento del 30% es de TRESCIENTOS OCHENTA Y UN MILLONES SEISCIENTOS SETENTA MIL SETECIENTOS TREINTA Y TRES PESOS M.CTE. (\$381.670.733).

Teniendo en cuenta que el VPN es mayor que cero (para ambas tasas de descuento), se concluye que la operación de la planta Gualconda, bajo las condiciones actuales, se justifica desde el punto de vista financiero, pues los dineros invertidos en la operación rinden más que estas tasas de interés de oportunidad.

Para este proyecto, la relación beneficio-costos a tasas de interés de oportunidad del 20 % y 30 % es de 1.80 en ambos casos. De este resultado se concluye que la inversión en la operación de la planta Gualconda, bajo las condiciones actuales, se justifica desde el punto de vista financiero, pues los beneficios son mayores que los costos.

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

### Indicadores de evaluación financiera - planta Gualconda

INDICADOR	TD 20%	TD 30%
<b>Valor presente neto (VPN)</b>	COP \$ 470.820.775 USD* \$ 156.940	COP \$ 381.670.733 USD* \$ 127.224
<b>Relación beneficio / costo (RB/C)</b>	1,80	1,80

Tasa de cambio utilizada COP \$3000/USD.

## 8.9.2. RESUMEN DE INDICADORES DE OPERACIÓN ACTUAL DE LA PLANTA GUALCONDA

INDICADOR	UNIDAD	OPERACIÓN ACTUAL
Recuperación oro (g/t)	%	60%
Cantidad de oro recuperado por tonelada	g	7,08
Costo de producción unitario por gramo de oro	COP (\$)	\$ 70.248
Costo de producción unitario por onza troy de oro	USD (\$)	\$ 735
Costo unitario por tonelada procesada	COP (\$)	\$ 497.355
Ingreso Unitario por tonelada procesada	COP (\$)	\$ 838.732
Utilidad antes de impuestos por gramo de oro	COP(\$)	\$ 44.426
Utilidad antes de impuestos por onza troy de oro	USD(\$)	\$ 465,05
Margen de utilidad operacional - (promedio 5 años)	%	38,17%
Utilidad después de impuestos por gramo de oro	COP (\$)	\$ 29.766
Utilidad después de impuestos por onza troy de oro	USD(\$)	\$ 311,58
Margen de utilidad neta (promedio 5 años)	%	25,57%
Indicador de productividad (producto/insumo)		1,69

Precio de venta por gramo de oro: COP 118.465

Precio de venta por onza troy de oro: USD 1228

Tasa de cambio utilizada: COP 3000/USD

Factor de conversión utilizado: 1 onza troy = 31.1034768 gramos



## 8.10. CONSIDERACIONES SOBRE LA OPERACIÓN ACTUAL DE LA PLANTA DE BENEFICIO GUALCONDA EN LA ZONA DE LOS ANDES SOTOMAYOR

- Se realizó un ejercicio de aproximación a la estructura de costos de la operación actual de la planta Gualconda, por considerarse que esta ruta metalúrgica puede servir de referente para futuras adecuaciones de plantas de beneficio ubicadas en la zona minera de los Andes Sotomayor.
- En el estudio financiero de la operación actual de la planta de Gualconda se utilizó como referencia un porcentaje de recuperación de oro de 60% por cada tonelada de material mineral procesado, obteniéndose este en el proceso de cianuración, de acuerdo con la información suministrada por el equipo técnico.
- Teniendo en cuenta que el tenor de cabeza que se procesa en la planta Gualconda es de 11,8 gramos y que la operación actual permite una recuperación promedio del 60%, en el estudio financiero se estimó una recuperación de 7,08 gramos por cada tonelada de mineral procesado.
- Los rubros más representativos en la estructura de costos de la operación actual de la planta, son la materia prima, la mano de obra y la depreciación de la maquinaria y equipo, cada uno con una participación sobre los costos totales de 51 %, 12% y 11%, respectivamente.
- Se estableció que la planta de beneficio tiene un consumo de agua por cada tonelada de mineral procesado de aproximadamente 7,92 m<sup>3</sup> y que el costo anual por consumo de agua que se paga en la zona por concesión es de aproximadamente COP 300.000.
- La planta de beneficio de Gualconda en la zona minera de los Andes -Sotomayor se aprecia en buen estado y sus superficies se prestan a ampliaciones y reformas.
- 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 utilizan. De acuerdo con los parámetros de operación previamente definidos para la planta de beneficio, el consumo de energía actual es de 4.868 kW/mes, lo que equivale a un costo promedio de energía eléctrica mensual de COP 1.466.914, considerando que en esta zona se aplica la tarifa de uso residencial de estrato 2 (COP 297- kW/h, para el mes de abril de 2018).
- El costo por materia prima, definido en este ejercicio como un porcentaje equivalente al 30% del valor de venta final del oro recuperado por cada tonelada procesada, es de COP 251.620/t.
- El costo unitario aproximado, teniendo en cuenta los parámetros de la operación actual definidos para la planta, es de COP 70.248 por cada gramo de oro, y de USD 735 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 año 2017. Este precio es de COP 118.465/g y de USD 1.228/onza troy.
- La ganancia unitaria (antes de pagar impuestos) aproximada es de COP 44.426/g de oro y de USD 465,05/onza troy de oro. Esto corresponde a un margen de utilidad operacional de 38,17 %, en promedio, para los cinco años contemplados como horizonte de evaluación.
- La ganancia unitaria (después de pagar impuestos) aproximada es de COP 29.766/g de oro y de USD 311,58 /onza troy de oro. Esto corresponde a un margen de utilidad operacional de 25,57 %, en promedio, para los cinco años contemplados como horizonte de evaluación.

Panorámica del cañon del río Guaitara y la vía que conduce al municipio de Los Andes Sotomayor (Nariño)  
Fotografía tomada por: Jaime Mojica / 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 encuentren 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  $\alpha$  = ángulo de buzamiento. En esta fórmula, el ángulo " $\alpha$ " 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:** Proceso de formación u origen de yacimientos minerales metálicos.

**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 (PH<sub>2</sub>O), 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 pirometamorfismo 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: prógrado, 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 [CH<sub>3</sub>Hg]<sup>+</sup>. Se trata de un compuesto neurotóxico capaz de concentrarse en el organismo (bioacumulación) y concentrarse así mismo en las cadenas alimentarias (biomagnificación),<sup>1,2</sup> 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 SiO<sub>2</sub>, 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 cataclitas y milonitas asociadas.

Placa en honor a la cultura minera en La Llanada (Nariño).  
Fotografía tomada por: Verónica Ruíz / Servicio Geológico Colombiano

**LA ADMINISTRACIÓN MUNICIPAL 2012 - 2015  
RINDE UN SINCERO HOMENAJE A LA  
CULTURA MINERA LLANADIENSE**



*soy minero orgulloso y altivo  
socavando la empinada montaña  
de hilos de oro tejiendo el destino  
en procura de un mejor mañana*

**GERARDO RAMIRO PALACIOS MORALES  
ALCALDE MUNICIPAL**

**“UNIDOS POR  
LA MEJOR  
PROPUESTA”**



# - REFERENCIAS

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Akabzaa, T. M., Armah, T. E. K., y 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.
- American Public Health Association (1992). APHA Method 3112: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. In *Methods for examination of water and wastewater*. Washington DC. 552, 7.
- Arias, H. M., Bedoya, A., Bernal, M., & Castaño, E. (2011). Caracterización ecológica y fitoquímica de la batatilla IPOMONEA PURPUREA L. Roth (solanales, convulaceae) en el municipio de Manizales, 15(2), 19–39.
- Awwa, Apha, Wef (2012). *Standard Methods for the examination of water and wastewater* (22.<sup>a</sup> ed.). Washington: American Public Health Association, American Water Works Association, Water Environment Federation.
- Barrero, D. 1979. Geology of the central Western Cordillera, west of Buga and Roldanillo, Colombia. *Publicación Geológica Especial, INGEOMINAS*, 4: 1-75.
- 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.
- 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. y Marsden, P. J. (1988). Collaborative study of the toxicity characteristic leaching procedure (TCLP). In *Waste Testing and Quality Assurance*. ASTM International.
- CIMM T&S S.A. (2007). Aplicación de test SPLP, test ABA y evaluación de generación neta de acidez a muestras geológicas de Compañía Minera del Pacífico. Santiago de Chile.
- Coles, C., & Cochrane, K. (2006). Mercury Cyanide Contamination of Grounwater from Gold. *Sea to Sky Geotechnique*, 1118–1122.
- Congreso de la República de Colombia (1993). Ley 100 de 1993. "Por la cual se crea el Sistema de Seguridad Social Integral y se dictan otras disposiciones". Bogotá.
- Congreso de la República de Colombia (2001). Ley 685 de 2001. "Por la cual se expide el Código de Minas y se dictan otras disposiciones". Bogotá.
- Congreso de la República de Colombia (2012). Ley 1607 de 2012. "Por la cual se expiden normas en materia tributaria y se dictan otras disposiciones". Bogotá.
- Congreso de la Republica de Colombia (2013). Ley 1658 de 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". Bogotá.
- Congreso de la República de Colombia (2016). Ley 1819 de 2016. "Por medio de la cual se adopta una reforma tributaria estructural, se fortalecen los mecanismos para la lucha contra la evasión y la elusión fiscal, y se dictan otras disposiciones". Bogotá.
- Cordy, P., Veiga, M. M., Salih, I., Al-Saadi, S., Console, S., García, 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.
- Departamento Nacional de Planeación (2007). Actualización de la cartilla "Las regalías en Colombia". Bogotá: DNP, Dirección de Regalías.
- Dold, B. (2010). Basic concepts in environmental geochemistry of sulfidic mine-waste management. In Sunil Kumar (ed.), *Waste management*. InTech.
- 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.
- Enviromental Protection Agency (1992). Procedure Toxicity Characteristic Leaching. Method 1311.USA Norm.

- Foucher, D., Hintelmann, H., Al, T. A., & MacQuarrie, K. T. (2012). Mercury isotope fractionation in waters and sediments of the Murray Brook mine watershed (New Brunswick, Canada): Tracing mercury contamination and transformation. *Chemical Geology*, 336, 87–95.
- García, O., Veiga, M. M., Cordy, P., Suescún, O. E., Molina, J. M., y Roeser, M. (2014). Artisanal gold mining in Antioquia, Colombia: A successful case of mercury reduction. *Journal of Cleaner Production* 90.
- Gascón, R., Soto, M., Oblasser, A., Calderón Rosa, C., Hoppe, J., Salazar, N. y Bastidas, M. (2015). Guía metodológica para la estabilidad química de faenas e instalaciones mineras. Santiago de Chile: Ministerio de Minería de Chile.
- Hedenquist, J.W., ( 1987), Mineralization associated with volcanic-related hydrothermal systems in the Circum-Pacific Basin, in Transactions of the 4th Circum Pacific Energy and Mineral Resources Conference, Singapore, 1986, Oklahoma, Circum Pacific Council for Energy and Mineral Resources,1-26.
- Ideam. Resolución 0062 (2007). Protocolos para el muestreo y análisis de las características de peligrosidad de los residuos o desechos peligrosos.
- Ingeominas, (1998). Evaluación metalúrgica del distrito minero de Buenos Aires (Cauca). Proyecto de evaluación metalúrgica y procesos de beneficio de depósitos auríferos y metales asociados (p97q03). Reporte interno.
- Lawrence, R. W. y Marchant, P. M. (1991). Acid rock drainage prediction manual: A manual of chemical evaluation procedures for the prediction of acid generation from mine wastes. Vancouver: Canadian Centre for Mineral and Energy Technology.
- Lawrence, R. W. y Scheske, M. (1997). A method to calculate the neutralization potential of mining wastes. *Environmental Geology* 32(2), 100-106.
- Lindgren, W. 1933: Mineral Deposits. Fourth Edition, revised. New York, McGraw-Hill. 930 pp.
- Lydon, J.W. (2007). An overview of the economic and geological contexts of Canada's major mineral deposit types. Special Publication. 5. 3-48.
- Méndez Ortiz, B. A., Carrillo Chávez, A. y 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).
- Meza Orozco, J. J. (2010). Evaluación financiera de proyectos. Bogotá: Ecoe ediciones.
- Minambiente (2005). Decreto 4741 de 2005. Concentraciones máximas de contaminantes para la prueba TCLP. Tabla 3 del Anexo III.
- Minambiente (2007). Resolución 2115 del 22 de julio de 2007. Características físicas y químicas del agua para consumo humano. Cuadro N.º 2.
- Minambiente (2015). Resolución 631 de 2015. Artículo 10. Parámetros fisicoquímicos a monitorear y sus valores máximos permisibles en los vertimientos puntuales de aguas residuales no domésticas-ARnD a cuerpos de aguas superficiales de actividades de minería.
- Minambiente (2014). Plan Único Nacional de Mercurio.
- Morales, A. (2003). Determinación y mitigación del potencial de generación ácido en botaderos de estériles mina del proyecto Desarrollo Teniente División El Teniente, CODELCO-Chile. In Congreso Geológico Chileno, Concepción.
- Nelson, W. H., 1962. Contribución al conocimiento de la cordillera Central de Colombia sección entre Ibagué y Armenia: Boletín Geológico, Servicio Geológico Nacional, V. 10, p. 161-202.
- Nivia et al. 1997. Cretaceous Basaltic Terranes in Western Colombia: Elemental, Chronological and Sr-Nd Isotopic Constraints on Petrogenesis.
- Nivia, A. 2001. "Mapa Geológico del Departamento del Valle. Memoria explicativa". Cali, Ingeominas: 148.
- Pinedo Hernández, J., Marrugo Negrete, J. y Díez, S. (2015). Speciation and bioavailability of mercury in sediments impacted by gold mining in Colombia. *Chemosphere* 119, 1289-1295.
- Procedure Toxicity Characteristic Leaching (1992). Method 1311. USA Norm.

- Programa de las Naciones Unidas y Ministerio del Medio Ambiente (2012). Sinópsis nacional de la minería aurífera artesanal y de pequeña escala, p. 72.
- Rihm, A., Arellano, J., & Sancha, A. M. (1998). Uso de test de lixiviación para caracterización de residuos del área minera y reflexiones sobre gestión de residuos peligrosos en América Latina. In Congreso Interamericano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental, 26 (AIDIS 98) (pp. 1-8). APIS.
- Romero, A., Medina, R., y 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.
- Sillitoe, R. (1982). Setting, characteristics and age of the Andean porphyry copper belt in Colombia. Economic Geology 77(8): 1837-1850.
- Sundaralingam, T., Gnavelrajah, N. (2013). Phytoremediation Potential of Selected Plants for Nitrate and Phosphorus from Ground Water, International Journal of Phytoremediation, 16(3), 275-284.
- Universidad de Antioquia-Corantioquia (2014). Cartilla didáctica. Manejo integral del mercurio: un enfoque social y de desarrollo humano.
- Vásquez, L. E. (ed.) (2010). Técnicas mineralógicas, químicas y metalúrgicas para la caracterización de menas auríferas. Bogotá: Ingeominas-JICA. p. 479.
- Velandia Forero, N. Y. (2017). Estatuto Tributario. 2017. Bogotá Legis Editores, 2017.
- Velásquez López, P. C., Veiga, M. M., Klein, B., Shandro, J. A. y 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.

## REFERENCIAS WEB

- <http://www.catalogueoflife.org/col/details/species/id/1701cd8d08751a477b407d3790f3f6ea> Consultado el 17-05-2018.
- <http://www.lallanada-narino.gov.co/>
- <http://www.losandessotomayor-narino.gov.co/index.shtml>
- <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/blog/chilean-mill>
- <https://www.911metallurgist.com/metallurgia/equipos-de-flotacion/>
- <https://www.911metallurgist.com/metallurgia/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**

LA LLANADA  
Y ANDES SOTOMAYOR (NARIÑO)



El futuro  
es de todos

Minenergía

ISBN: 978-958-52286-1-0



9 789585 228610

SERVICIO  
GEOLOGICO  
COLOMBIANO

