

## GUÍA METODOLÓGICA

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

**SUÁREZ, BUENOS AIRES  
Y EL TAMBO (CAUCA)**



# GUÍA METODOLÓGICA

PARA EL MEJORAMIENTO PRODUCTIVO DEL BENEFICIO DE ORO SIN EL USO DE MERCURIO.  
**SUÁREZ, BUENOS AIRES Y EL TAMBO (CAUCA)**



El futuro  
es de todos

Minenergía

© Servicio Geológico Colombiano

GUÍA METODOLÓGICA PARA EL MEJORAMIENTO PRODUCTIVO DEL BENEFICIO DE ORO SIN EL USO DE MERCURIO. SUÁREZ, BUENOS AIRES Y EL TAMBO (CAUCA)

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 Suárez, Buenos Aires y El Tambo (Cauca), 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: Suárez, Buenos Aires y El Tambo (Cauca)*. 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: Fotografía de portada: La imagen muestra el trabajo en un molino de bolas y el equipo del SGC en una de las plantas de beneficio en la zona minera de Suárez, Buenos Aires y El Tambo (Cauca). Fotografía tomada por Benedicto Galindo (Servicio Geológico Colombiano).

ISBN: 978-958-52286-7-2



9 789585 228672

## 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 SUÁREZ, BUENOS AIRES Y EL TAMBO - CAUCA* se traduce en un aporte significativo del Servicio Geológico Colombiano a la minería en Colombia, atendiendo un claro compromiso del Ministerio de Minas y Energía por la preservación de la salud humana y la mitigación de los impactos ambientales generados por el desarrollo de actividades mineras, en especial aquellas que no cumplen plenamente con las normas y mandatos, nacionales e internacionales, orientadas hacia la eliminación del uso del mercurio en la actividad industrial minera.

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

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

A lo largo de ésta guía metodológica, el lector podrá encontrar una descripción integral de los resultados del estudio, para lo cual, se incluyen capítulos como el Marco de Referencia, donde se indica la situación actual de la zona minera de Suárez, Buenos Aires y El Tambo, 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 Suárez, Buenos Aires y El Tambo (Cauca) 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. SUÁREZ, BUENOS AIRES Y EL TAMBO (CAUCA)

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

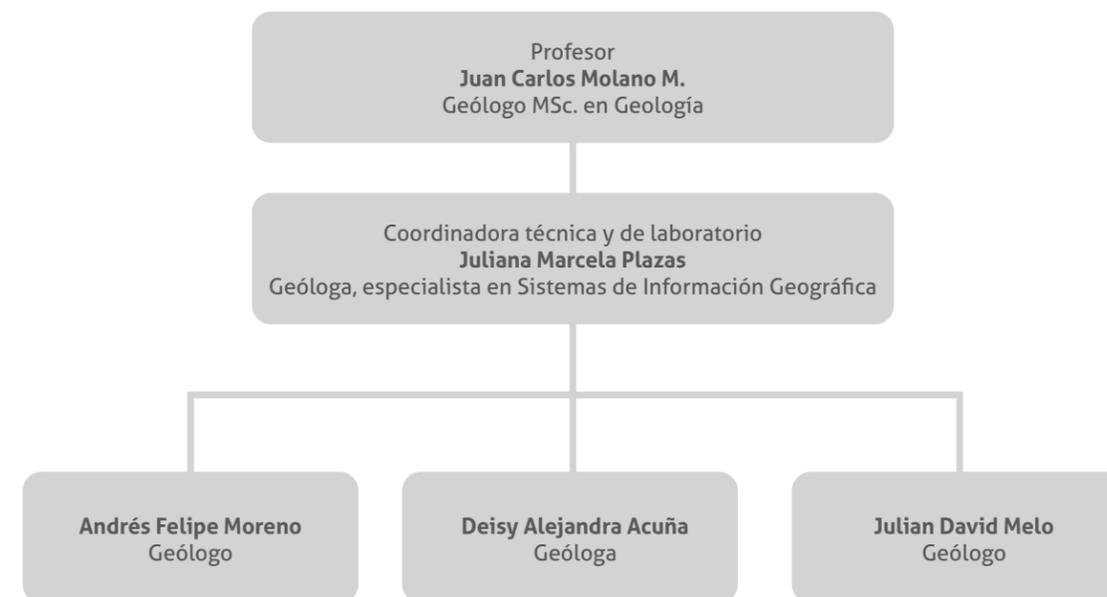
**Juan Sebastián Garzón.** Diseñador Industrial

### IMPRESIÓN

Imprenta Nacional de Colombia

Primera edición  
Bogotá, Colombia. 2018

## GRUPO TÉCNICO DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA, DEPARTAMENTO DE GEOCIENCIAS



## GRUPO DE MINEROS DE LAS COOPERATIVAS DE MINEROS DE SUÁREZ Y DE BUENOS AIRES

# CONTENIDO

|                   |    |
|-------------------|----|
| PRESENTACIÓN      |    |
| AGRADECIMIENTOS   |    |
| EQUIPO DE TRABAJO | 8  |
| INTRODUCCIÓN      | 13 |

## **CAPÍTULO 1. MARCO DE REFERENCIA 15**

|        |                                    |    |
|--------|------------------------------------|----|
| 1.1.   | DESCRIPCIÓN DE LA SITUACIÓN ACTUAL | 17 |
| 1.2.   | DESCRIPCIÓN DE LA NECESIDAD        | 19 |
| 1.3.   | OBJETIVOS                          | 22 |
| 1.3.1. | Objetivo General                   | 22 |
| 1.3.2. | Objetivos Específicos              | 22 |
| 1.4.   | ALCANCE                            | 23 |

## **CAPÍTULO 2. METODOLOGÍA DE TRABAJO 24**

|      |                           |    |
|------|---------------------------|----|
| 2.1. | REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA    | 27 |
| 2.2. | MUESTREO                  | 27 |
| 2.3. | ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN | 27 |
| 2.4. | PRUEBAS                   | 27 |

## **CAPÍTULO 3. CARACTERÍSTICAS DE LA ZONA DE ESTUDIO 28**

|        |  |    |
|--------|--|----|
| 3.1.   | LOCALIZACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO                       | 30 |
| 3.1.1. | Municipio de El Tambo                                    | 31 |
| 3.1.2. | Municipio de Suárez                                      | 32 |
| 3.1.3. | Municipio de Buenos Aires                                | 33 |
| 3.1.4. | Vías de acceso   | 34 |
| 3.1.5. | Ubicación geográfica de las minas y plantas de beneficio | 35 |

## **CAPÍTULO 4. ASPECTOS GEOLÓGICOS 37**

|          |   |    |
|----------|---|----|
| 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                                      | 46 |
| 4.1.4.   | Tipos de ocurrencia de oro  | 47 |
| 4.2.     | GEOLOGÍA Y MINERALOGÍA DE LA ZONA MINERA DE SUÁREZ, BUENOS AIRES Y EL TAMBO | 48 |
| 4.2.1.   | Geología regional   | 48 |
| 4.2.2.   | Geología local y mineralogía de la mena                                     | 49 |
| 4.2.2.1. | Geología estructural local  | 51 |
| 4.2.2.2. | Alteración hidrotermal  | 51 |
| 4.2.2.3. | Metalogénesis y mineralización aurífera                                     | 54 |
| 4.2.2.4. | Secuencia paragenética  | 56 |
| 4.2.2.5. | Ocurrencia de oro en la veta  | 57 |
| 4.2.2.6. | Microtermometría  | 59 |
| 4.2.2.7. | Liberación de sulfuros  | 61 |
| 4.3.     | CONSIDERACIONES GENERALES EN GEOLOGÍA Y MINERALOGÍA                         | 64 |
| 4.4.     | CONSIDERACIONES EN GEOLOGÍA Y MINERALOGÍA PARA AL BENEFICIO METALÚRGICO     | 65 |

## **CAPÍTULO 5. ASPECTOS METALÚRGICOS 66**

|          |   |    |
|----------|---|----|
| 5.1.     | FUNDAMENTOS TEÓRICOS : PROCESO DE BENEFICIO METALÚRGICO | 68 |
| 5.1.1.   | Beneficio de minerales en planta                        | 68 |
| 5.1.2.   | Proceso de conminución (trituración y molienda)         | 69 |
| 5.1.2.1. | Trituración primaria (gruesos)                          | 70 |
| 5.1.2.2. | Trituración secundaria (finos)                          | 71 |
| 5.1.2.3. | Molienda  | 72 |
| 5.1.3.   | Clasificación granulométrica                            | 74 |
| 5.1.4.   | Clasificación hidráulica                                | 75 |
| 5.1.5.   | Concentración de minerales auríferos por gravimetría    | 77 |

# CONTENIDO

|          |  |    |
|----------|--|----|
| 5.1.6.   | Concentración de minerales auríferos por flotación | 79 |
| 5.1.7.   | Cianuración  | 81 |
| 5.1.7.1. | Precipitación por el proceso de Merrill Crowe      | 82 |
| 5.1.8.   | Fundición  | 83 |

## **CAPÍTULO 6. ASPECTOS QUÍMICO - AMBIENTALES 84**

|          |  |     |
|----------|--|-----|
| 6.1.     | CONTRIBUCIÓN Y CARACTERIZACIÓN QUÍMICA, CONTROL DE PROCESOS METALÚRGICOS Y QUÍMICO AMBIENTALES               | 86  |
| 6.2.     | FUNDAMENTOS TEÓRICOS: MÉTODOS Y APLICACIONES QUÍMICO - AMBIENTALES   | 87  |
| 6.2.1.   | Contaminación por mercurio en minería  | 87  |
| 6.2.1.1. | Ciclo del mercurio   | 87  |
| 6.2.2.   | Uso del mercurio y su normatividad en Colombia   | 88  |
| 6.2.3.   | Caracterización química y ambiental  | 88  |
| 6.2.3.   | Análisis químicos aplicados para caracterizar y controlar procesos metalúrgicos y ambientales                | 89  |
| 6.2.3.1. | Espectrofotometría de absorción atómica  | 90  |
| 6.2.3.2. | Espectrofotometría de ultravioleta visible   | 90  |
| 6.2.3.3. | Potenciometría del ion cianuro   | 91  |
| 6.2.4.   | Tratamientos para la descomposición de cianuro: formas libre y complejo                                      | 91  |
| 6.2.4.1. | Cianuro y sus formas   | 91  |
| 6.2.4.2. | Tratamientos de descomposición: uso del peróxido de hidrógeno, sulfato ferroso y prueba de control ambiental | 92  |
| 6.3.     | CARACTERÍSTICAS QUÍMICO AMBIENTALES DE LA ZONA MINERA  | 95  |
| 6.3.1.   | Sectores de muestreo   | 95  |
| 6.3.2.   | Ensayos químicos y ambientales   | 97  |
| 6.3.3.   | Observación generalizada   | 102 |
| 6.4.     | CONSIDERACIONES AMBIENTALES  | 103 |

## **CAPÍTULO 7. RUTA METALÚRGICA PROPUESTA PARA LA ZONA MINERA 104**

|         |   |     |
|---------|---|-----|
| 7.1.    | PROCESO DE BENEFICIO DESARROLLADO ACTUALMENTE                       | 106 |
| 7.2.    | PPROCESO DE BENEFICIO SUGERIDO PARA LA UNIDAD GEOMETALÚRGICA 1      | 107 |
| 7.3.    | PROCESO DE BENEFICIO SUGERIDO PARA LA UNIDAD GEOMETALÚRGICA 2 y 3   | 108 |
| 7.4.    | RECOMENDACIONES   | 109 |
| 7.4.1.  | Recomendaciones metalúrgicas  | 109 |
| 7.4.2.  | Recomendaciones ambientales   | 109 |
| 7.5.    | DIAGRAMA DE FLUJO DE OPERACIONES, PROCESOS Y MASA PARA LA UGM 1     | 110 |
| 7.6.    | DIAGRAMA DE FLUJO DE OPERACIONES, PROCESOS Y MASA PARA LA UGM 2 Y 3 | 112 |
| 7.7.    | MONTAJE DE PLANTA DE BENEFICIO SUGERIDA, UGM 1                      | 114 |
| 7.8.    | DIAGRAMA DE FLUJO PARA LA PLANTA DE BENEFICIO SUGERIDA, UGM 1       | 115 |
| 7.9.    | MONTAJE DE PLANTA DE BENEFICIO SUGERIDA, UGM 2 Y 3                  | 116 |
| 7.10.   | DIAGRAMA DE FLUJO PARA LA PLANTA DE BENEFICIO SUGERIDA, UGM 2 Y 3   | 117 |
| 7.11.   | CONSIDERACIONES METALÚRGICAS  | 119 |
| 7.11.1. | Suárez  | 119 |
| 7.11.2. | Buenos Aires  | 120 |
| 7.11.3. | El Tambo  | 121 |

## **CAPÍTULO 8. ESTUDIO ECONÓMICO Y FINANCIERO 123**

|          |   |     |
|----------|---|-----|
| 8.1.     | FUNDAMENTOS TEÓRICOS PARA LA EVALUACIÓN FINANCIERA DEL PROYECTO | 125 |
| 8.1.1.   | Generalidades sobre los proyectos de inversión                  | 125 |
| 8.1.1.1. | Definición  | 125 |
| 8.1.1.2. | Clasificación   | 125 |
| 8.1.1.3. | El ciclo de los proyectos                                       | 125 |
| 8.1.2.   | Estudio y evaluación financiera de proyectos de inversión       | 126 |
| 8.1.2.1. | Propósito del estudio financiero                                | 126 |
| 8.1.2.2. | Etapas del estudio financiero                                   | 127 |
| 8.1.2.3. | Propósito de la evaluación financiera                           | 127 |

# CONTENIDO

|          |  |     |
|----------|--|-----|
| 8.1.2.4. | Etapas de la evaluación financiera   | 127 |
| 8.2.     | METODOLOGÍA PARA EL ESTUDIO Y EVALUACIÓN FINANCIERA DEL PROYECTO EN LA UNIDAD GEOMETALÚRGICA 1               | 129 |
| 8.2.1.   | Estudio financiero   | 129 |
| 8.2.1.1. | Identificación y valoración de la inversión inicial  | 129 |
| 8.2.1.2. | Identificación y valoración de costos de operación   | 131 |
| 8.2.1.3. | Identificación y valoración de ingresos de operación   | 135 |
| 8.2.2.   | Evaluación financiera  | 135 |
| 8.2.2.1. | Construcción del flujo de caja del proyecto  | 136 |
| 8.2.2.2. | Aplicación de métodos para evaluar proyectos   | 137 |
| 8.3.     | ESTUDIO Y EVALUACIÓN FINANCIERA DEL PROYECTO EN LA UNIDAD GEOMETALÚRGICA 1                                   | 138 |
| 8.3.1.   | Resultados e interpretación de indicadores de evaluación financiera de la unidad geometalúrgica 1            | 140 |
| 8.4.     | ESTUDIO FINANCIERO OPERACIÓN ACTUAL Vs OPERACIÓN FUTURA – UNIDAD GEOMETALÚRGICA 1                            | 140 |
| 8.4.1.   | Resultados de la operación actual  | 141 |
| 8.4.2.   | Resumen de indicadores de operación actual vs. operación futura  | 142 |
| 8.4.3.   | Análisis de resultados de indicadores de operación actual vs. operación futura en la unidad geometalúrgica 1 | 142 |
| 8.5.     | CONSIDERACIONES SOBRE LA OPERACIÓN ACTUAL DE LA PLANTA DE BENEFICIO MODELO - UNIDAD GEOMETALÚRGICA 1         | 143 |
| 8.6.     | CONSIDERACIONES SOBRE LA OPERACIÓN FUTURA DE LA PLANTA DE BENEFICIO MODELO - UNIDAD GEOMETALÚRGICA 1         | 144 |
| 8.7.     | METODOLOGÍA PARA EL ESTUDIO Y EVALUACIÓN FINANCIERA DEL PROYECTO EN LA UNIDAD GEOMETALÚRGICA 2               | 145 |
| 8.7.1.   | Estudio financiero   | 145 |
| 8.7.1.1. | Identificación y valoración de la inversión inicial  | 145 |
| 8.7.1.2. | Identificación y valoración de costos de operación   | 146 |
| 8.7.1.3. | Identificación y valoración de ingresos de operación   | 151 |
| 8.7.2.   | Evaluación financiera  | 152 |
| 8.7.2.1. | Construcción del flujo de caja del proyecto  | 152 |
| 8.7.2.2. | Aplicación de métodos para evaluar proyectos   | 153 |
| 8.8.     | ESTUDIO Y EVALUACIÓN FINANCIERA DEL PROYECTO EN LA UNIDAD GEOMETALÚRGICA 2                                   | 154 |
| 8.8.1.   | Resultados e interpretación de indicadores de evaluación financiera en la unidad geometalúrgica 2            | 156 |
| 8.9.     | ESTUDIO FINANCIERO DE LA OPERACIÓN ACTUAL VS. LA OPERACIÓN FUTURA EN LA UNIDAD GEOMETALÚRGICA 2              | 156 |
| 8.9.1.   | Resultados de la operación actual  | 157 |
| 8.9.2.   | Resumen de indicadores de operación actual vs. operación futura  | 158 |
| 8.9.3.   | Análisis de resultados de indicadores de operación actual vs operación futura en la unidad geometalúrgica 2  | 158 |
| 8.10.    | CONSIDERACIONES SOBRE LA OPERACIÓN ACTUAL DE LA PLANTA DE BENEFICIO MODELO - UNIDAD GEOMETALÚRGICA 2         | 159 |
| 8.11.    | CONSIDERACIONES SOBRE LA OPERACIÓN FUTURA DE LA PLANTA DE BENEFICIO MODELO - UNIDAD GEOMETALÚRGICA 2         | 160 |

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.

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 Suárez, Buenos Aires y El Tambo (Cauca), 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.

**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.**

Detalle de quebrada en la zona minera de Suárez, Buenos Aires y El Tambo (Cauca)  
Fotografía tomada por: Viviana Pérez / Servicio Geológico Colombiano

## 1. MARCO DE REFERENCIA



## 1.1. DESCRIPCIÓN DE LA SITUACIÓN ACTUAL

En Buenos Aires la minería tradicional se conoce desde la época prehispánica, cuando los nativos recogían el oro de las quebradas y suelos enriquecidos. Posteriormente, con la colonización española se iniciaron trabajos de explotación superficial intensa con el lavado de suelos y de sedimentos a gran escala, lo que implicó la formación de enormes cárcavas. Desde entonces se ha procedido a la construcción de túneles alrededor del cerro Santa Catalina (cerro La Teta).

La minería en Suárez se intensificó desde el siglo XX con la llegada del ferrocarril y la constitución de la compañía minera Asnazu Gold Dregging para operar en el lecho del río Cauca. En las zonas de La Turbina y Tamboral había actividad minera en el río Cauca. Con la construcción de la represa de La Salvajina, la minería se trasladó hacia la parte alta, donde actualmente se encuentran los principales asentamientos, la mayoría en el Área de Reserva Especial Minera (ARE).

Actualmente en el área minera de Suárez y Buenos Aires se han instalado plantas de beneficio de distintas modalidades. Algunas se pueden ubicar en el rango de la minería artesanal (hasta 500 kilogramos por 8 horas, y con un bajo grado de mecanización), y otras en el rango de la pequeña minería, en la que la mecanización es mayor y, por ende, también el consumo de energía eléctrica.

En los últimos diez años se aprecia la introducción de avances tecnológicos que apuntan al desarrollo de una mediana minería. Por ejemplo, las plantas de las minas La Puchis y Potosí, entre otras, podrían clasificarse en el rango de la mediana minería, por su grado de mecanización, capacidad de producción y desarrollo tecnológico (más de 50 toneladas por 24 horas). En estas se aplica el proceso extractivo de la cianuración en tanque agitado, complementado con operaciones de concentración por flotación y en mesa.

En El Tambo existen dos tipos de plantas de beneficio del mineral: uno de ellos corresponde a molienda primaria en barril, en el que al mismo tiempo se realiza la amalgamación, como ocurre en la mina San Francisco. El otro tipo, representado por minas como El Trío y Chedé, consiste en una planta de beneficio que no emplea mercurio, y que además cuenta con una tecnología más avanzada, que permite la concentración gravimétrica, cianuración agitada y recuperación con cinc, de acuerdo con un modelo sugerido en estudios previos (Ingeominas, 2004).

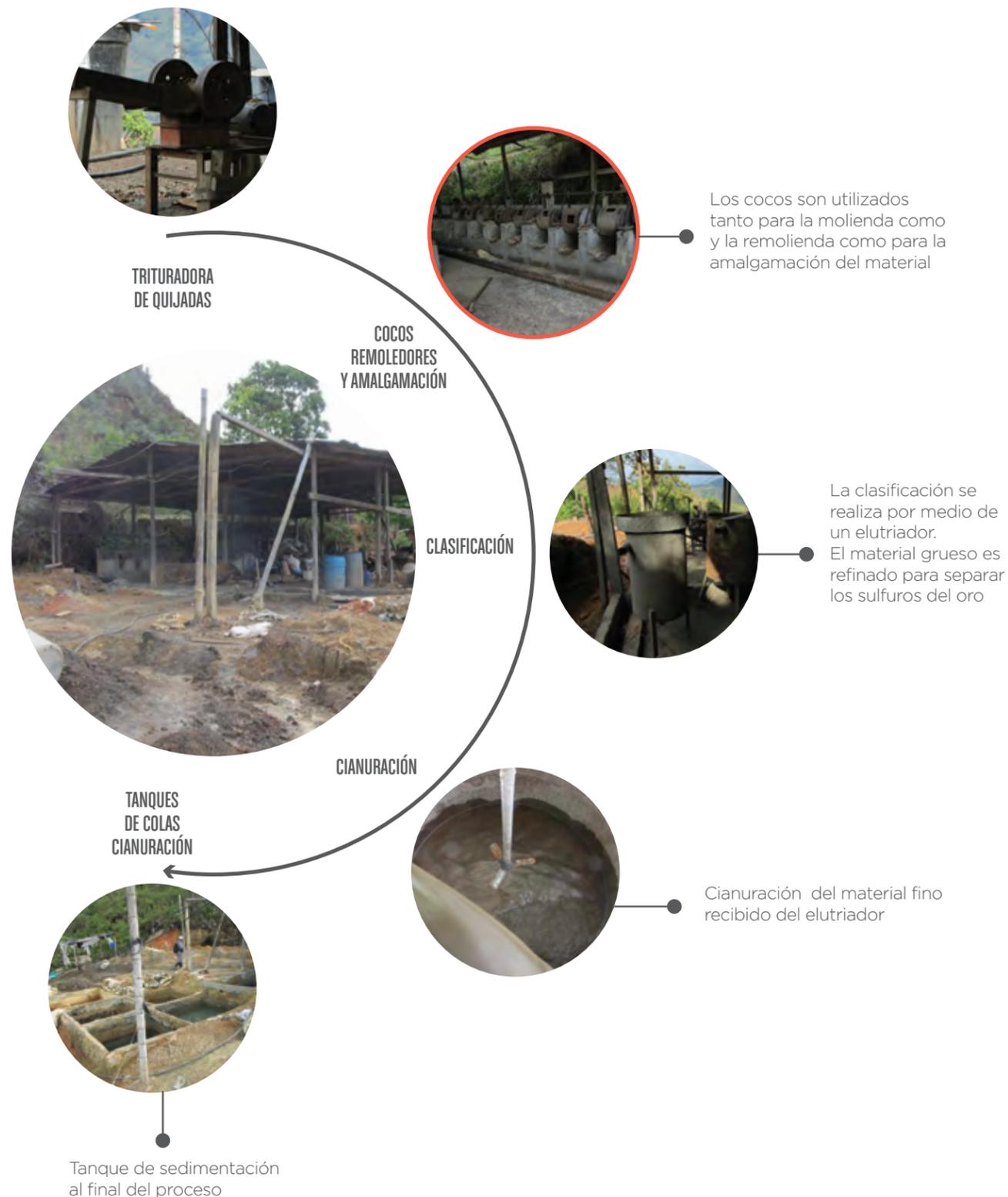
Pese a los esfuerzos institucionales y a la implementación de procesos de beneficio que no usan mercurio, el esquema de amalgamación predomina entre los pequeños mineros.



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

Figura 1.1: Diagrama proceso de beneficio actual en Suárez, Buenos Aires y El Tambo.

Fuente: Propia.



## 1.2. DESCRIPCIÓN DE LA NECESIDAD



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.

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 incurrían los mineros, entre las cuales se encuentran las siguientes:

- 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.

- 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: Serie de "cocos" para amalgamación. Fuente: Propia.



Fotografía 4: Valla compañía minera en Suárez, Buenos Aires y El Tambo (Cauca). 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 Suárez, Buenos Aires y El Tambo (Cauca), 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 Suárez, Buenos Aires y El Tambo (Cauca) 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 Suárez, Buenos Aires y El Tambo.
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 Suárez, Buenos Aires y El Tambo.

## 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, metalogénético, mineralógico, metalúrgico y físico-químico de los depósitos minerales que son aprovechados por las unidades de beneficio de la zona minera de Suárez, Buenos Aires y El Tambo (Cauca) 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.

Bocamina en zona minera de Suárez, Buenos Aires y El Tambo (Cauca)  
Fotografía tomada por: Jorge Iván Londoño / Servicio Geológico Colombiano

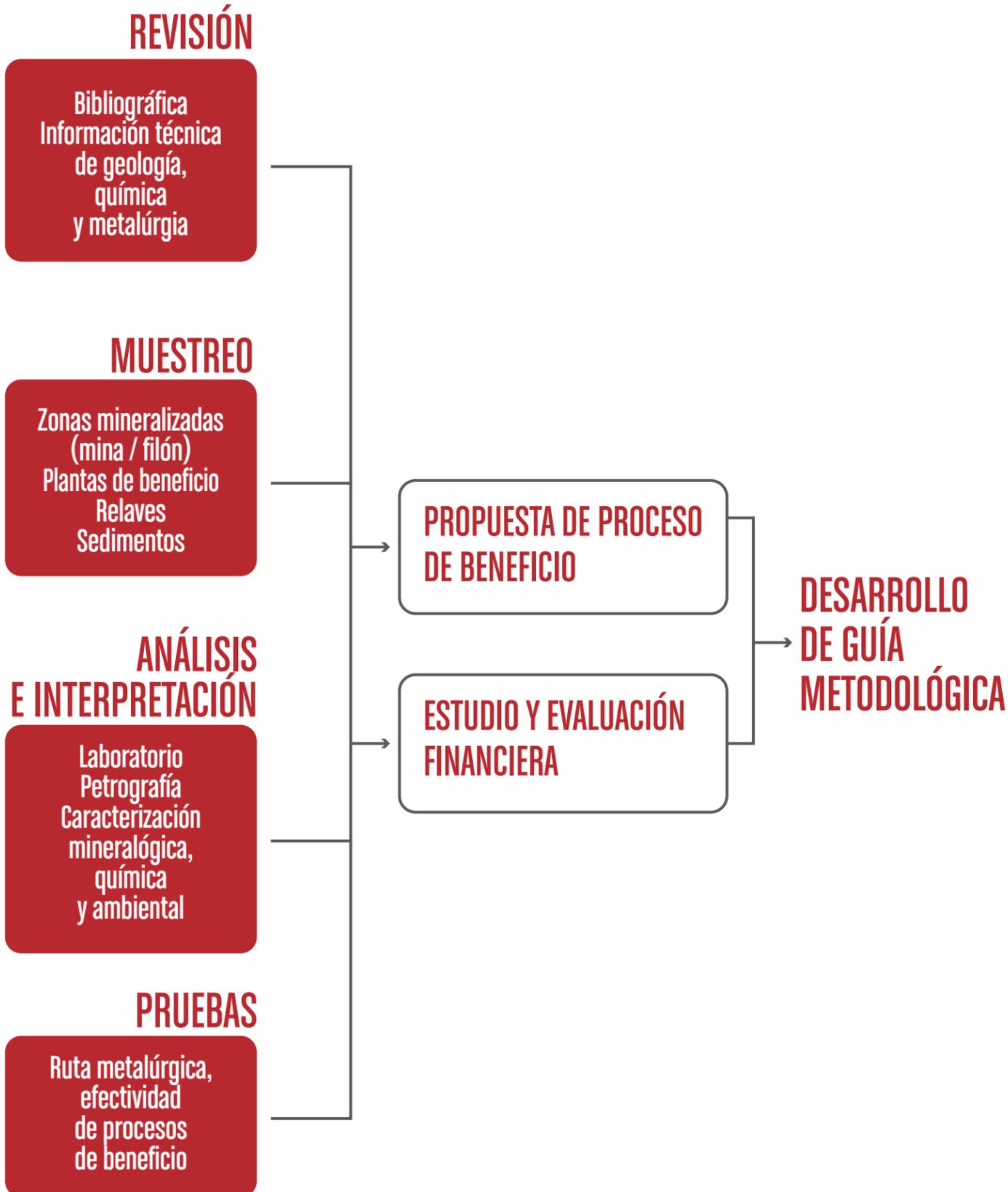


## 2. METODOLOGÍA DE TRABAJO



## 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

Con base en 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, y posteriormente este concentrado se pulió y se brilló para análisis petrográfico y metalográfico.

### ANÁLISIS QUÍMICOS ELEMENTALES:

- Ensayo al fuego: análisis de oro y plata por fundición de 30 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.

Panorámica de la Cordillera Occidental donde se ubica la zona minera de Suárez, Buenos Aires y El Tambo (Cauca), con un entable construido para las plantas de beneficio.  
Fotografía tomada por: Benedicto Galindo / 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.

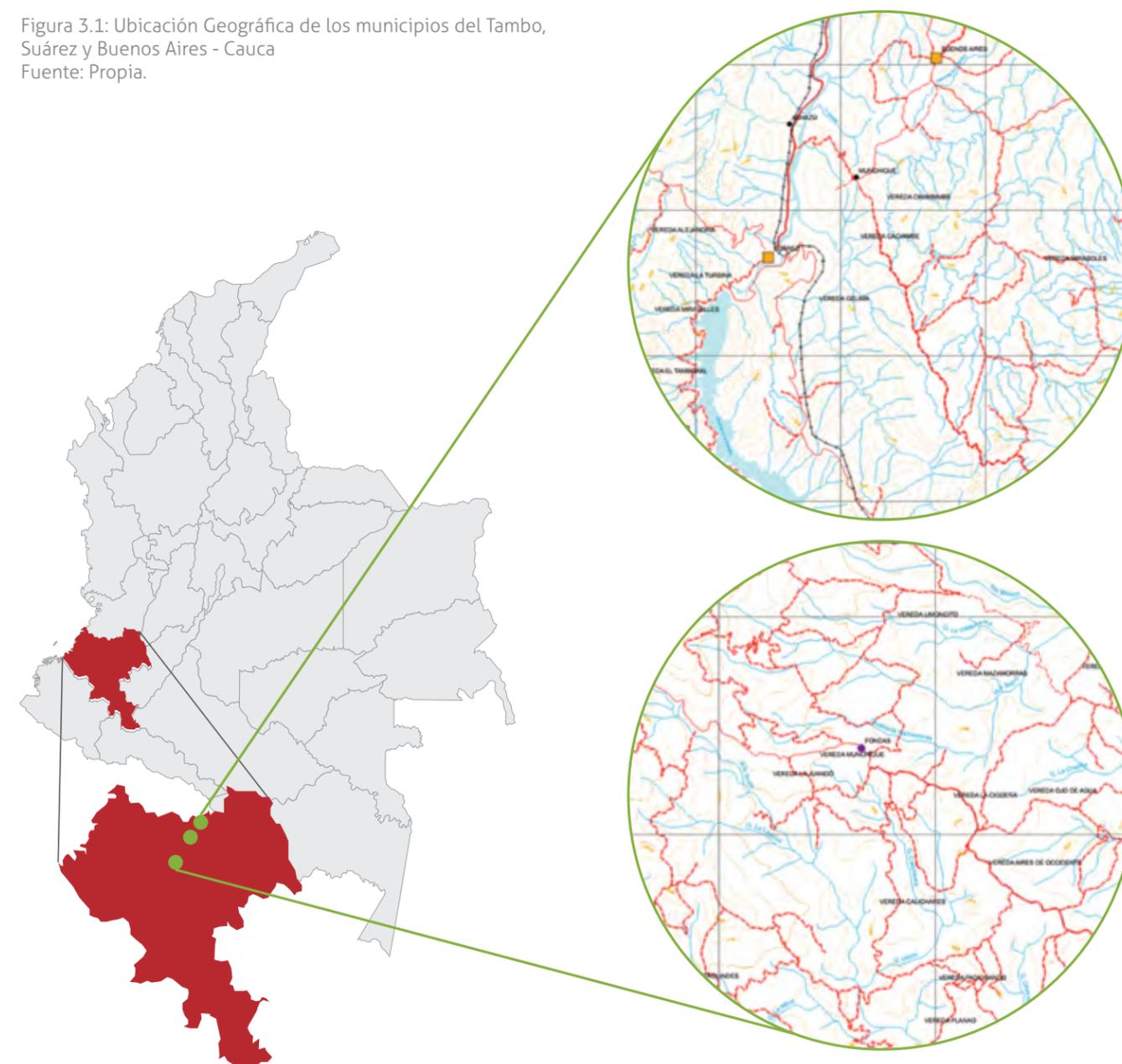
### 3.1. LOCALIZACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO

Los municipios de Suárez, Buenos Aires y El Tambo pertenecen al departamento del Cauca y se ubican en el valle superior del río Cauca, sobre el piedemonte oriental de la cordillera Occidental, y el municipio del Tambo, sobre la divisoria de aguas de los ríos Cauca y Patía.

El área de estudio limita al norte con los municipios de Jamundí y López de Micay; al occidente, con Timbiquí; al sur, con Argelia y Patía, y al oriente, con Morales, Cajibío y Santander de Quilichao.

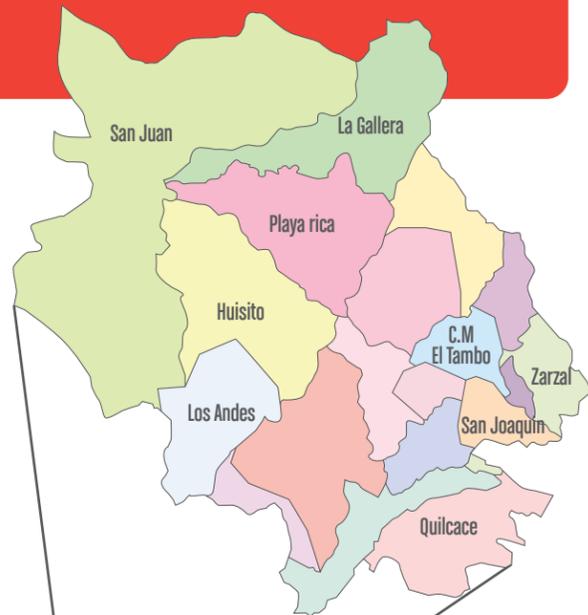
La hidrografía del área se ve representada por las cuencas de los ríos Patía, Micay, Ovejas, Marilopito, Damián y Cauca, sobre el cual se encuentra la hidroeléctrica de La Salvajina, en el municipio de Suárez. Las quebradas secundarias que se desprenden de las cuencas principales son de gran importancia, ya que sobre estas se desarrolla la mayor cantidad de la actividad minera. Además del sector agropecuario, la actividad minera es una de las principales actividades económicas de la región.

Figura 3.1: Ubicación Geográfica de los municipios del Tambo, Suárez y Buenos Aires - Cauca  
Fuente: Propia.



### 3.1.1. MUNICIPIO DE EL TAMBO

|                      |  |
|----------------------|--|
| LOCALIZACIÓN         | Latitud norte: 2° 27' 5"<br>Longitud oeste: 76° 58' 39"  |
| EXTENSIÓN TOTAL      | 3280 km <sup>2</sup>   |
| ALTITUD ZONA URBANA  | 1750 msnm  |
| TEMPERATURA PROMEDIO | 18,2 °C  |
| LÍMITES              | <b>Oriente:</b> con Morales, Cajibío, Popayán, Timbío y Rosas.<br><b>Norte:</b> con López de Micay.<br><b>Occidente:</b> con Guapi.<br><b>Sur:</b> con Patía, La Sierra y Argelia. |



**Economía.** El Tambo, desde el punto de vista de su vocación económica, es un municipio eminentemente agrícola, vocación consecuente con la distribución poblacional: 93% rural y 7% urbana. Su economía está soportada principalmente por la producción cafetera intercalada con plátano, y le siguen, en orden de importancia, la caña panelera, el maíz, frijol, lulo, chontaduro, yuca y fique, entre otros cultivos de menor importancia.

Una de las veredas que más identificadas están con la explotación del oro es la población de Fondas, 50% de cuya población se dedica a la minería, y el porcentaje restante, a la agricultura.

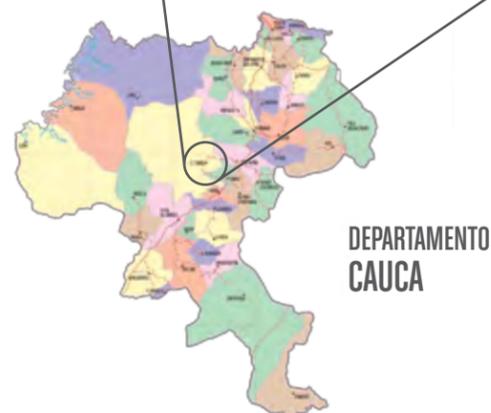
**Ecología.** Un referente importante de identidad y ubicación para la población de la región es el cerro de Muchique, que alberga al parque natural nacional del mismo nombre y es fuente de nacimientos de agua que abastecen los cuatro acueductos del municipio. También son referentes naturales la cascada de Perolindes, en la vereda Los Anayes, importante por su belleza natural y por su potencial para la actividad turística, los ríos Las Piedras, la quebrada San Antonio, el río Hondo, todos ellos, afluentes del río Cauca, y la Laguna, ubicada en la vereda del mismo nombre, importante por su valor histórico y cultural como centro de leyendas y mitos que aún se conservan en el imaginario de la población. Todos estos son lugares de esparcimiento, descanso y contemplación, frecuentados por los habitantes de las veredas cercanas en temporadas de vacaciones y fines de semana.

Aún se conserva una variedad de flora nativa, con especies como la palma de cera, roble, cedrillo, jigua, pino colombiano, cedro, drago, comino, cera de laurel, aliso, cascarillo, cucharo, higuerón, guadua, encenillo y motilón, principalmente.

También hay diversidad de fauna, aunque algunas especies han visto diezmada sus poblaciones por efectos de la cacería, como, por ejemplo, venados, armadillos, chuchas y ardillas, todas ellas utilizadas para la alimentación y la medicina tradicional.

La diversidad de climas y relieves de la región, la riqueza hídrica y biodiversidad han estimulado la expansión de la actividad agrícola, razón por la cual el municipio de El Tambo es reconocido como la despensa del departamento.

**Habitantes según DANE.** Según el Censo Nacional Poblacional de 2005, la población total del municipio del Tambo es de 43682 habitantes, la población de la cabecera municipal es de 2353 habitantes, y en el sector rural hay 41329 habitantes.



DEPARTAMENTO CAUCA

### 3.1.2. MUNICIPIO DE SUÁREZ

|                      |   |
|----------------------|---|
| LOCALIZACIÓN         | Latitud norte: 2° 57' 15"<br>Longitud oeste: 76° 41' 37"  |
| EXTENSIÓN TOTAL      | 389,87 km <sup>2</sup>  |
| ALTITUD ZONA URBANA  | 1050 msnm   |
| TEMPERATURA PROMEDIO | 27 °C   |
| LÍMITES              | <b>Oriente:</b> con Buenos Aires.<br><b>Norte:</b> con Buenos Aires.<br><b>Occidente:</b> con López de Micay.<br><b>Sur:</b> con Morales. |



**Economía.** Está basada fundamentalmente en el sector primario: agricultura (café, yuca, caña panelera, maíz, frijol y frutales, entre otros) y minería. La extracción de oro se realiza en la zona suroriental del municipio, en inmediaciones de los corregimientos de La Toma y Mindalá; esta zona es la principal fuente de explotación. En la zona noroccidental, la producción agropecuaria es la actividad económica más importante, a tal punto que la agricultura participa en un 52% de la producción del municipio, seguida de la actividad minera, con un 27%, el comercio con un 3%, y el 18% restante está representado por actividades como la piscicultura, avicultura y ganadería, entre otras. En algunos sectores Smurfit Cartón de Colombia practica la actividad forestal.

El turismo no es aún una actividad económica importante para el municipio por la deficiente infraestructura y publicidad, pero este sector promete convertirse en una actividad líder si se aprovechan las ventajas escénicas naturales y artificiales que tiene este municipio, sobre todo la representada por el lago o embalse de Salvajina.

**Ecología.** El municipio posee una variedad de recursos naturales que aportan al terreno una geografía cultural más diversa. El municipio de Suárez tiene accidentes orográficos tan variados en su formación física como los cerros Damián, Tijeras, Negro y Comedulce, sobre la cordillera Occidental.

Los turistas suelen visitar la represa El Lago, La Salvajina, La Chorrera, El Salto, Charco Azul, el río Ovejas, El Sapo, y la Bocatoma, lugares con paisajes únicos en el Pacífico.

**Hidrografía.** Cuenta con ríos importantes como el Cauca, Ovejas, Marilopito, Damián, Inguitó, Asnazú, Marilópez y San Miguel, con las quebradas El Chupadero, La Chorrera, Los Pasos, Los Morados, La Laja y El Danubio. Hay un embalse artificial en la hidroeléctrica de La Salvajina, llamado Ciro Molina Garcés.

**Habitantes según DANE.** Según el Censo Nacional Poblacional de 2005, la población total del municipio de Suárez es de 19123 habitantes; la población de la cabecera municipal es de 4669 habitantes, y el sector rural tiene 14454 habitantes.



DEPARTAMENTO CAUCA

### 3.1.3. MUNICIPIO DE BUENOS AIRES

#### LOCALIZACIÓN

Latitud norte: 3° 01' 08"  
Longitud oeste: 76° 38' 37"

#### EXTENSIÓN TOTAL

410 km<sup>2</sup>

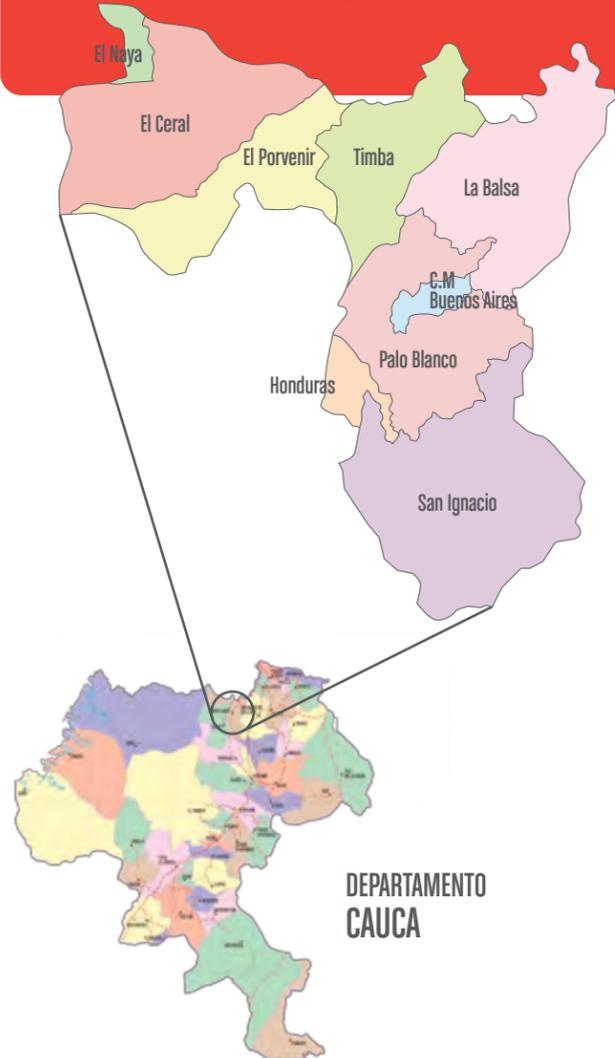
#### ALTITUD ZONA URBANA

1200 msnm

#### TEMPERATURA PROMEDIO

22 °C

**LÍMITES**  
**Oriente:** con Santander de Quilichao.  
**Norte:** con Jamundí y Buenaventura (Valle del Cauca).  
**Occidente:** con Suárez, López de Micay y Buenaventura (Valle del Cauca).  
**Sur:** con Suárez y Morales.



**Economía.** El Municipio de Buenos Aires (Cauca) basa sus principales actividades económicas en los sectores minero y agropecuario, actividades que en muchas ocasiones actúan de modo complementario para asegurar la economía familiar.

Los corregimientos o zonas donde se desarrollan las actividades agropecuarias son La Balsa, San Ignacio y el resguardo las Delicias, El Porvenir, Honduras, La Paila, El Ceral, Paloblanco, EL Naya y Timba. Las actividades agropecuarias en estas zonas son básicamente de subsistencia, con rendimientos del 50%, aproximadamente, con respecto a las explotaciones tecnificadas.

La actividad minera se desarrolla principalmente en las veredas de Chambimbe y Mirasoles, en los corregimientos de Palo Blanco, Honduras y Timba, y con poca dinámica en San Ignacio.

**Ecología.** Como en muchos municipios del país, la fauna en Buenos Aires se ha visto muy afectada por diversos factores antrópicos y de degradación de suelos que han mermado el número de especies y de individuos de diversas especies por la destrucción de sus hábitats naturales. En la llanura costera del Pacífico se presenta una fauna bastante variada y una biodiversidad alta, especialmente de especies asociadas a la vegetación.

Hay varias formas de usar el suelo en esta parte de Buenos Aires: se aprecia bastante influencia de la colonización sobre los suelos, presencia de potreros, cultivos limpios y, producto del buen manejo, la presencia de bosque plantado de pino y eucalipto.

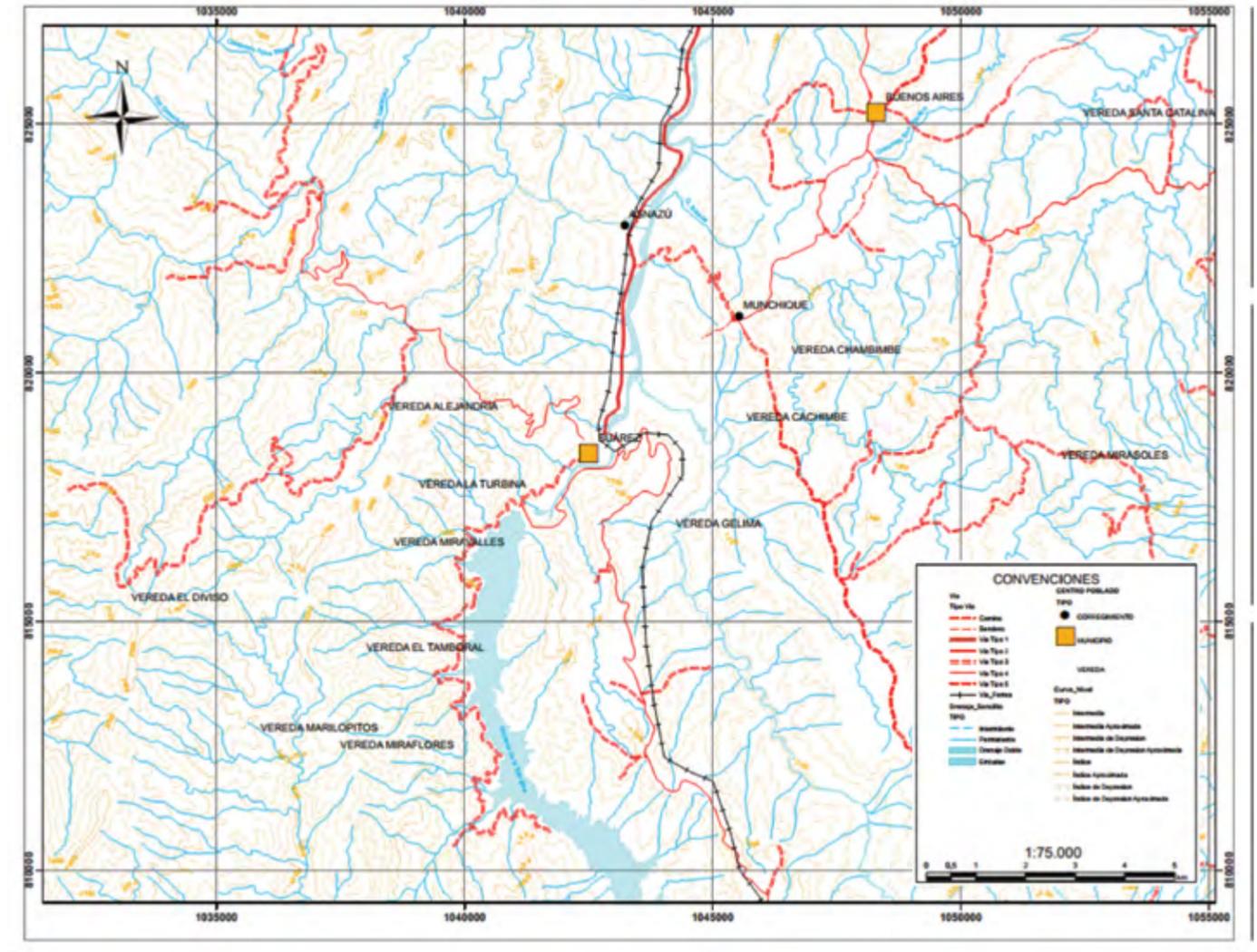
Hacia la parte baja de Patio Bonito se extienden las cuencas del río Naya y sus afluentes, en una gran extensión, con bosques secundarios poco intervenidos que se encuentran presentes hasta una altura de 1000 m. s. n. m.

En adelante hace su presencia la actividad agrícola con presencia de cultivos y pastos, ambos en escasa proporción, y cultivos de coca en gran proporción, lo cual causa graves problemas de uso del suelo y crea en el territorio grandes focos de contaminación de las aguas que alimentan los cursos de los ríos.

**Hidrografía.** El municipio de Buenos Aires está atravesado por el río Cauca, que es el cauce principal. El municipio consta de tres subcuencas: la más grande es la del río Timba, con 157,45 km<sup>2</sup>, seguida por la del río Teta y, en tercer lugar, por el sistema del río Cauca, y finalmente el río Ovejas.

**Habitantes según DANE.** Según datos de 2016, la población total del municipio de Suárez es de 32645 habitantes. La población de la cabecera municipal es de 1863 habitantes, y en el sector rural hay 30782 habitantes.

Figura 3.2: Mapa de localización de la zona de estudio sectores Buenos Aires – Suárez.  
Fuente: Planchas topográficas IGAC 320-II-D y 320-IV-B



### 3.1.4. VÍAS DE ACCESO

La vía de acceso principal es la carretera Panamericana que de Cali conduce a los municipios de Jamundí y Santander de Quilichao. Desde allí se toman vías secundarias hacia la localidad de Timba para acceder a los municipios de Buenos Aires y Suárez, a unos 60 kilómetros de la ciudad de Cali.

Al Tambo se accede desde Cali por la carretera Panamericana hasta Popayán, y de ahí se toma al Tambo a través de la vía destapada que conduce al parque nacional natural Munchique; o desde el municipio de Suárez se ingresa por la vía alterna Morales-Piendamó-Popayán-El Tambo.



Vista en microscopio ocurrencia de oro en la zona minera de El Tambo, Suárez, Buenos Aires.  
Oro asociado e incluido en pirita.

oro (Au)

pirita (Py)

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:

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

**Manto.** Es la capa intermedia y tiene un espesor de 70 a 2900 km de profundidad.

**Núcleo.** Es la parte interna de la Tierra, tiene una profundidad de 2900 a 6000 km. Se cree que en la parte interna está formado por minerales de hierro y de níquel.

La corteza se compone de placas, o fragmentos móviles individuales más o menos rígidos, que se desplazan e interactúan entre ellas. 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. En los límites convergentes de dichas placas, donde estas se mueven hacia un punto común, a veces una placa se hunde (subduce) debajo de otra; estas áreas, 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 fenómenos). 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 y no metálicos. Debido a su extensión, disposición o enriquecimiento, los metales que allí se encuentran pueden recuperarse con beneficio económico. El oro es transportado 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), telurio (Te), y en algunos depósitos, se presenta asociado con hierro (Fe), zinc (Zn), plomo (Pb) y cobre (Cu). El tamaño y tipo del depósito aurífero depende de los factores ya mencionados, así como de la magnitud del evento y el tiempo de ocurrencia.

A continuación se mencionan y describen las generalidades de los principales yacimientos auríferos que han sido descritos a escala 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 Vetas-California, corresponde al tipo epitermal de alta sulfuración, y en general los depósitos epitermales relacionados con cuerpos intrusivos e hipoabisales del Cenozoico, en la cordillera Occidental, sector de Suárez, Buenos Aires y El Tambo (Cauca), 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 mesoocéánicas. 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 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 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 4.1: Depósitos auríferos y su relación con la tectónica de placas.  
Fuente: Modificado de Lydon, 2007.

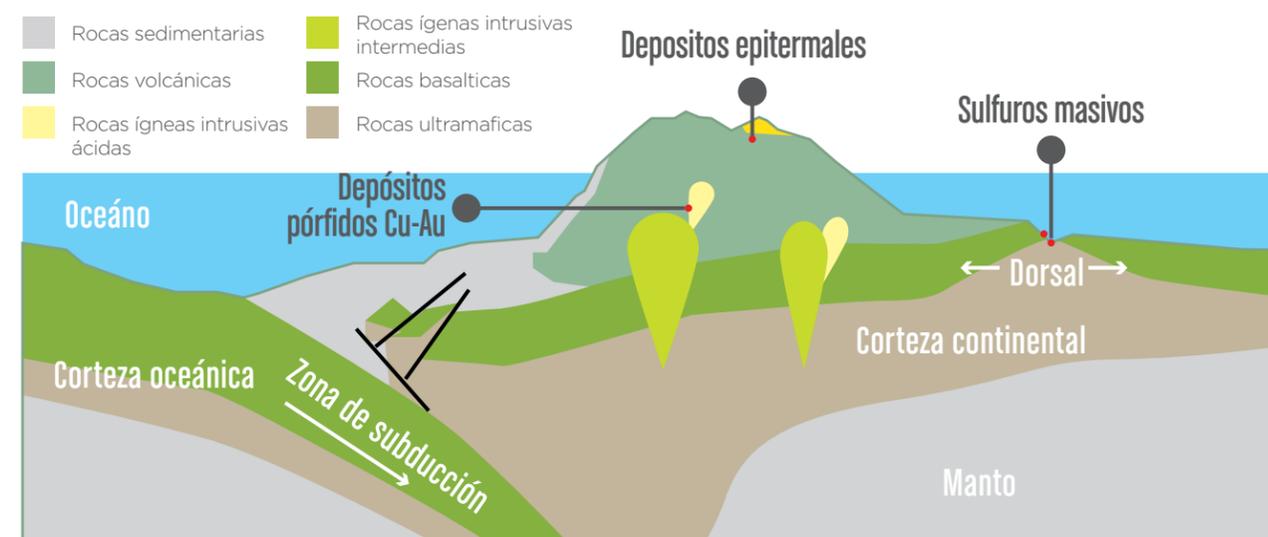
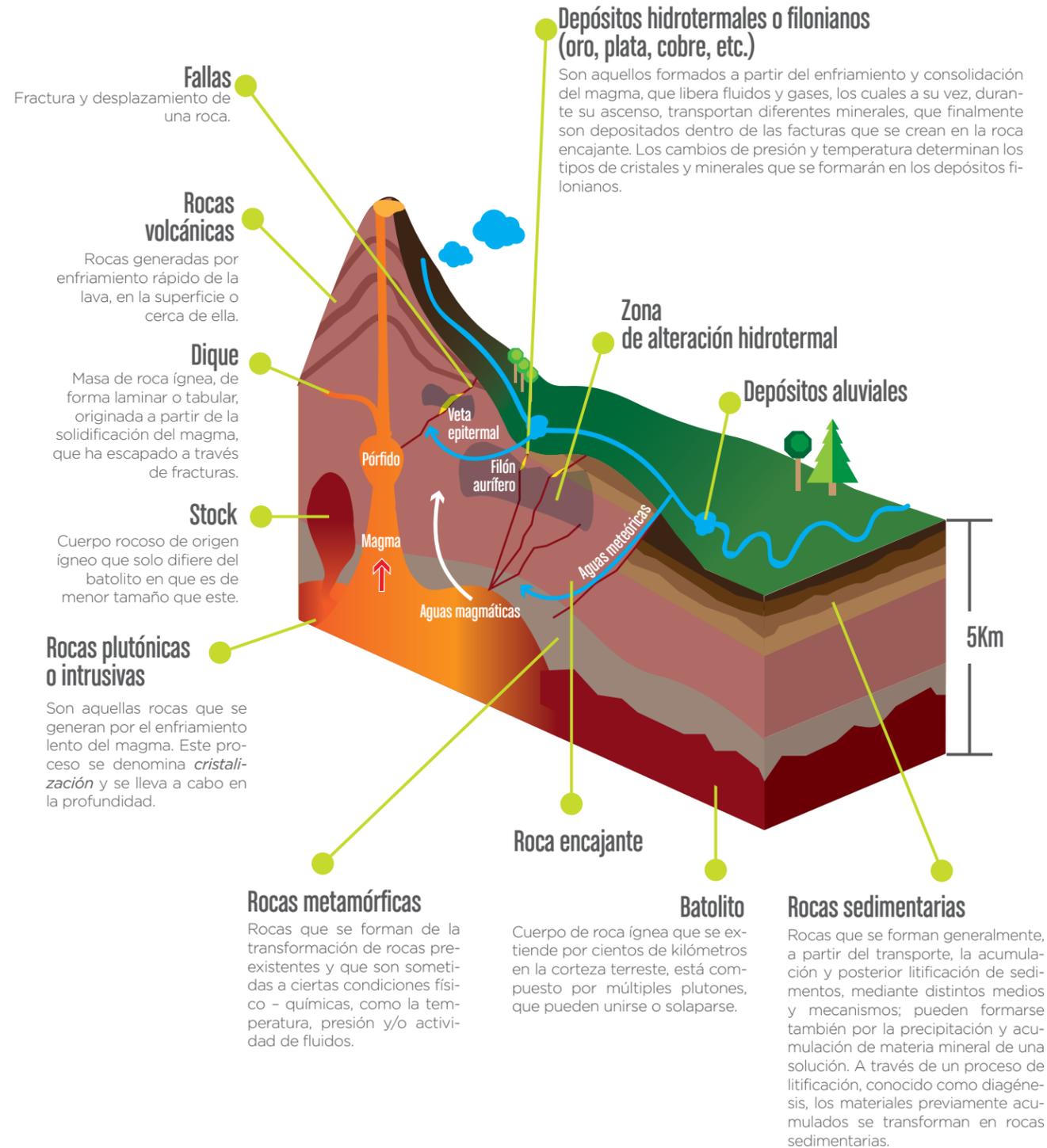


Figura 4.2: Perfil generalizado de la corteza terrestre indicando los principales elementos que intervienen en la formación de depósitos hidrotermales filonianos.  
Fuente: Propia.



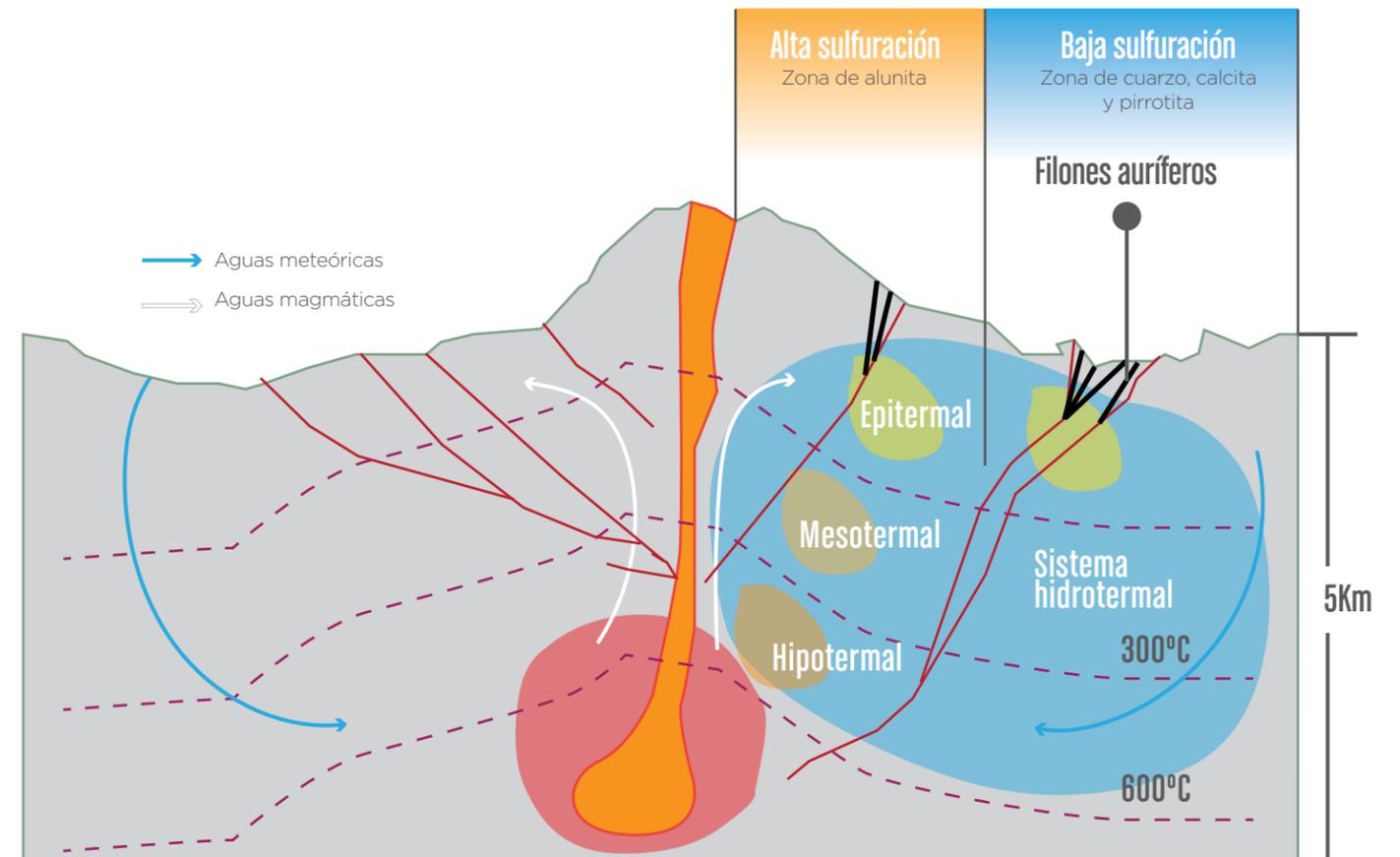
Los sistemas hidrotermales dan lugar a variados depósitos auríferos que han sido clasificados según la profundidad, las condiciones de presión y la temperatura como hipotermas (los más profundos), mesotermas (los intermedios) y epitermas (los más someros) (Lindgren, 1933).

Los depósitos epitermas 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 (SO<sub>2</sub>), conocidos como de alta sulfuración, y aquellos en los cuales el azufre se encuentra más reducido (HS, H<sub>2</sub>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<br>pH - neutro, meteórico | ALTA SULFIDACIÓN<br>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 Suárez, Buenos Aires y El Tambo).  
Fuente: Propia.



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

Para la zona minera de Suárez, Buenos Aires y El Tambo, se han definido tres 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 sección 4.2.

Figura 4.4: Diagrama frente de mina unidad geometalúrgica 1.  
Fuente: Propia.



### BOCA MINA

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.

SULFUROS METÁLICOS ENRIQUECIDOS CON ORO

### FILÓN

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

ROCA ENCAJANTE SILICIFICADA

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



FILÓN

SULFUROS METÁLICOS ENRIQUECIDOS CON ORO

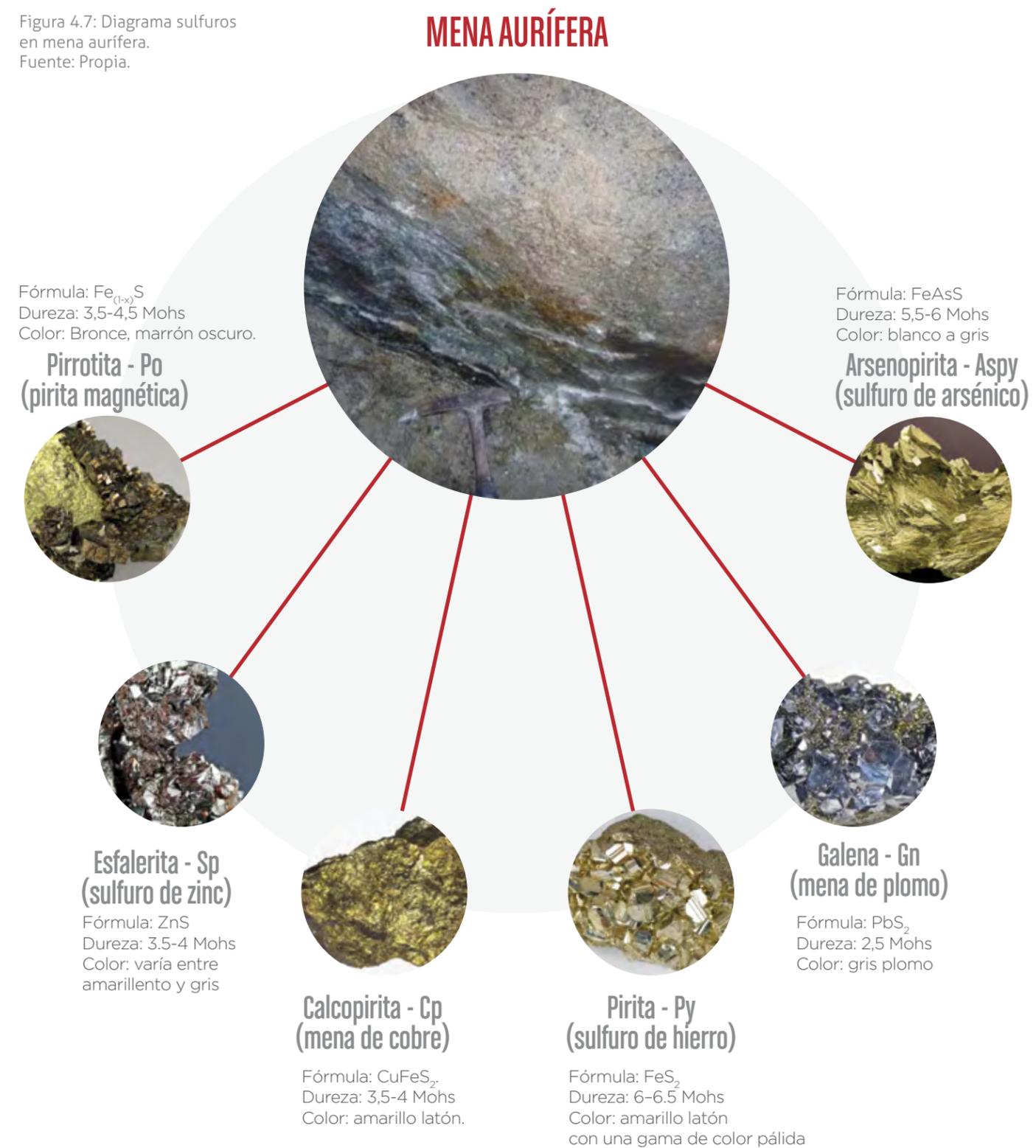
ROCA ENCAJANTE

Figura 4.6: Diagrama frente de mina unidad geometalúrgica 3.  
Fuente: Propia.



### 4.1.3. SULFUROS METÁLICOS ASOCIADOS A LA MENA

Figura 4.7: Diagrama sulfuros en mena aurífera.  
Fuente: Propia.



### 4.1.4. TIPOS OCURRENCIA DE ORO

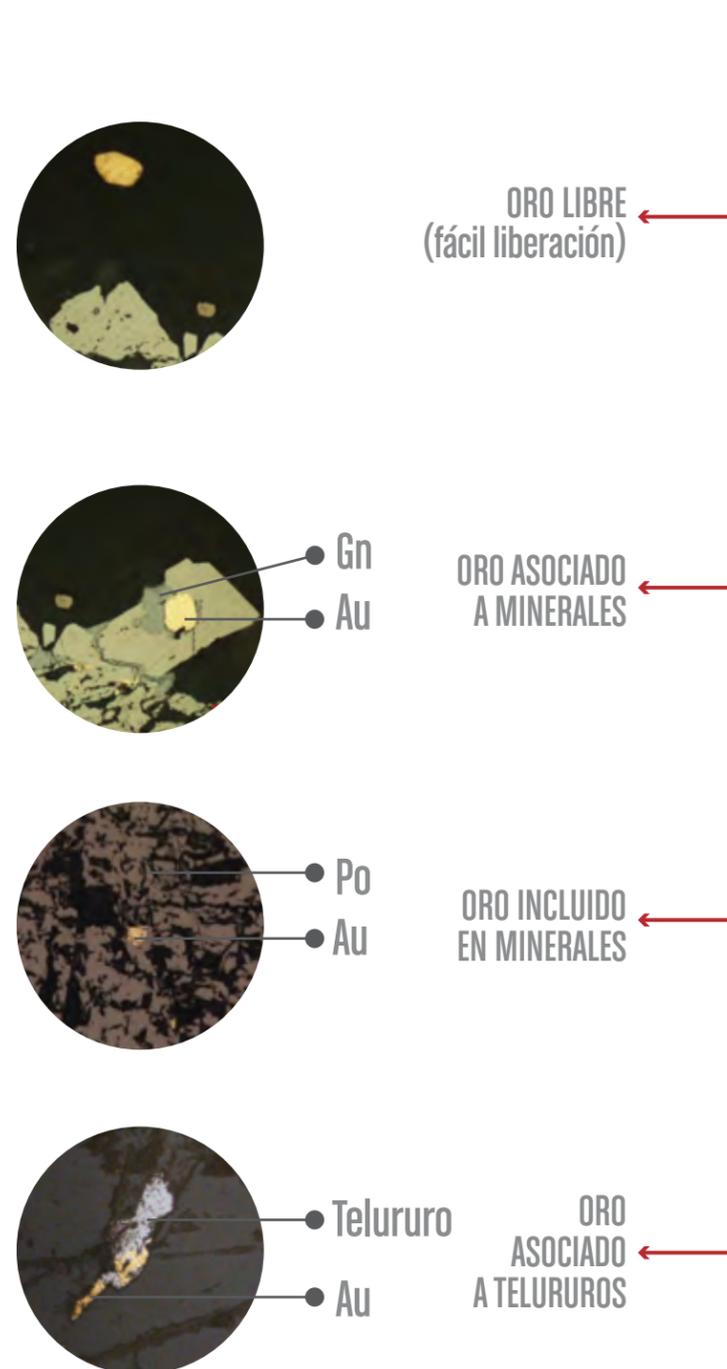
Figura 4.8: Tipos de ocurrencia de oro.  
Fuente: Propia.

Los tipos de ocurrencia de oro encontrados con mayor frecuencia en la zona minera de Suárez, Buenos Aires y El Tambo son oro asociado a arsenopirita e incluido en piritita, irrotina o calcopirita.

En la zona de Suárez, Buenos Aires y El Tambo es frecuente encontrar oro asociado a telururos (sulfuros de telurio que contienen plata y oro).

#### 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 SUÁREZ, BUENOS AIRES Y EL TAMBO

El marco geológico regional está relacionado con la dinámica orogénica que condujo a la formación de la cordillera Occidental de Colombia y la depresión tectónica correspondiente a la cuenca Cauca-Patía. En la zona estudiada hay un basamento de corteza oceánica compuesta por basaltos que soportan potentes secuencias sedimentarias de origen marino, que fueron conjuntamente adosadas al continente, y posteriormente replegadas y levantadas, para dar origen a la cordillera Occidental. La cordillera Occidental es el resultado de los esfuerzos compresivos en la corteza por el hundimiento del fondo oceánico (zona de subducción) generado en el océano Pacífico, al oeste de Buenaventura.

Una cuenca sedimentaria formada durante este proceso orogénico (formación de montañas, magmatismo y procesos de metamorfismo) se consolidó durante el Paleoceno, para formar el valle del río Cauca, cuyo límite sur marca el inicio de la zona mineralizada de Suárez y Buenos Aires.

Los depósitos auríferos de la zona minera de interés se localizan hacia el borde occidental de la cuenca sedimentaria Cauca-Patía, y su origen se relaciona con la interacción de fallas de rumbo noreste, con fallas de rumbo oeste-noroeste que afectan las anteriores, y en cuya intersección se presenta el emplazamiento de cuerpos magmáticos subvolcánicos, considerados stocks, por su forma circular y su extensión, que se emplazaron a través de estas zonas de debilidad tectónica.

### 4.2.1. GEOLOGÍA REGIONAL

El basamento, conformado por basaltos y por rocas sedimentarias muy deformadas, se encuentra dispuesto estructuralmente en cuñas limitadas por fallas interdigitadas en dirección noreste. Este conjunto de rocas se reconoce regionalmente como Provincia Litosférica Oceánica Cretácica Occidental (Ploco) (Nivia, 2001). Los basaltos están identificados en unidades litoestratigráficas conocidas localmente como grupo Diabásico (Kv) (Nelson, 1962, y Barrero, 1979), complejo Barroso-Amaime y formación volcánica, entre otros, se encuentran en contacto fallado y discordante con secuencias sedimentarias marinas poco deformadas (formaciones Marilopito y Aguaclara) y rocas sedimentarias moderadamente deformadas por los esfuerzos tectónicos, este último denominado grupo o complejo Dagua. Todo este conjunto rocoso se viene apilando hacia el este con esfuerzos tangenciales en dirección noreste.

La disposición estructural permite que se forme una cuenca sedimentaria conocida como cuenca Cauca-Patía, que se haya limitada al oeste por el sistema de fallas Cali-Patía, con movimiento de rumbo sinistral y componente inversa, y por el este, la cuenca limita con el sistema de fallas Cauca-Romeral, también de componente y naturaleza inversa. Como consecuencia del hundimiento del fondo oceánico en procesos de subducción, ocurre la fusión parcial de las rocas que ascienden como magmas y cristalizan como rocas ígneas intrusivas neógenas, de composición intermedia a ácida, que corresponden a cuerpos subvolcánicos tardíos que cortan la secuencia estratigráfica y están ubicados en las zonas de debilidad cortical por intersección de sistemas de fallas oeste y noroeste, con el predominante noreste. Posteriormente se depositan unidades sedimentarias de origen marino, hasta continental en la cuenca Cauca-Patía, y corresponden a las unidades litológicas del grupo Cauca (formaciones Chimborazo, Guachinte y Ferreira). Finalmente, el vulcanismo del Neógeno de la cordillera Central cubre parte de las sedimentitas del grupo Cauca, y se consolidan las formaciones Esmita y Popayán.

### 4.2.2. GEOLOGÍA LOCAL Y MINERALOGÍA DE LA MENA

En el área se han identificado numerosos afloramientos de rocas ígneas de composición calco-alcalina, con altos contenidos de metales preciosos. Los depósitos auríferos se caracterizan por la presencia de numerosos filones encajados en dioritas porfiríticas, pórfidos dacíticos, andesitas de grano fino y tonalitas. (Ingeominas, 1998).

En el sector de Buenos Aires, rocas ígneas del denominado stock de Santa Catalina (Tcd), de edad Mioceno, intruyen rocas sedimentarias clásticas de la formación Esmita (Tes) de edad Neógeno.

En el sector de Suárez, rocas ígneas del stock de Pasobobo-Damián y el stock de Betulia intruyen los flujos basálticos de Timba, y de manera discordante las secuencias sedimentarias cretácicas de origen oceánico y continental correspondientes a las formaciones Marilopito y Agua Clara, respectivamente. El contacto con estas unidades frecuentemente es fallado. Al sur, en el municipio de El Tambo, el stock de California aflora en una amplia zona del área de estudio e intruye rocas cretácicas basálticas del grupo Diabásico. En el sector de la zona mineralizada las unidades están en contacto fallado.

Hacia la parte oriental del área las rocas ígneas se encuentran parcialmente cubiertas por depósitos vulcano-sedimentarios recientes de tobas y arenitas de la formación Popayán.

#### 4.2.2.1. GEOLOGÍA ESTRUCTURAL LOCAL

Los eventos tectónicos que han afectado la zona estudiada están relacionadas con la aproximación de la denominada Ploco (Provincia Litosférica Oceánica Cretácica Occidental) al continente suramericano, que trajo como consecuencia el levantamiento de la cordillera Occidental, el emplazamiento de intrusivos granitoides y el desarrollo de fallas de rumbo dextralaterales en dirección noreste (Nivia, 1997).

En la zona de Suárez-Buenos Aires la disposición estructural de las rocas está dominada por un sistema de fallas oblicuas con dirección noreste, entre las que sobresalen las fallas de Bella Vista y Cali-Patía; esta última lleva su trazo a lo largo del río Cauca. Este sistema de fallas se entrecorta con otro sistema en dirección noroeste, que desplaza los bloques tectónicos en sentido sinetral. Las fallas más notables de este sistema son las de Paso de Bobo y Montaña Perdida. Localmente se observan fallamientos menores en direcciones N-S y E-W. La mineralización aurífera se concentra en los bordes de contacto entre las rocas ígneas intrusivas y las unidades rocosas hospedantes.

Figura 4.9: Mapa Geológico estructural del municipio de Buenos Aires.  
Fuente: Plancha 320 - Suárez.

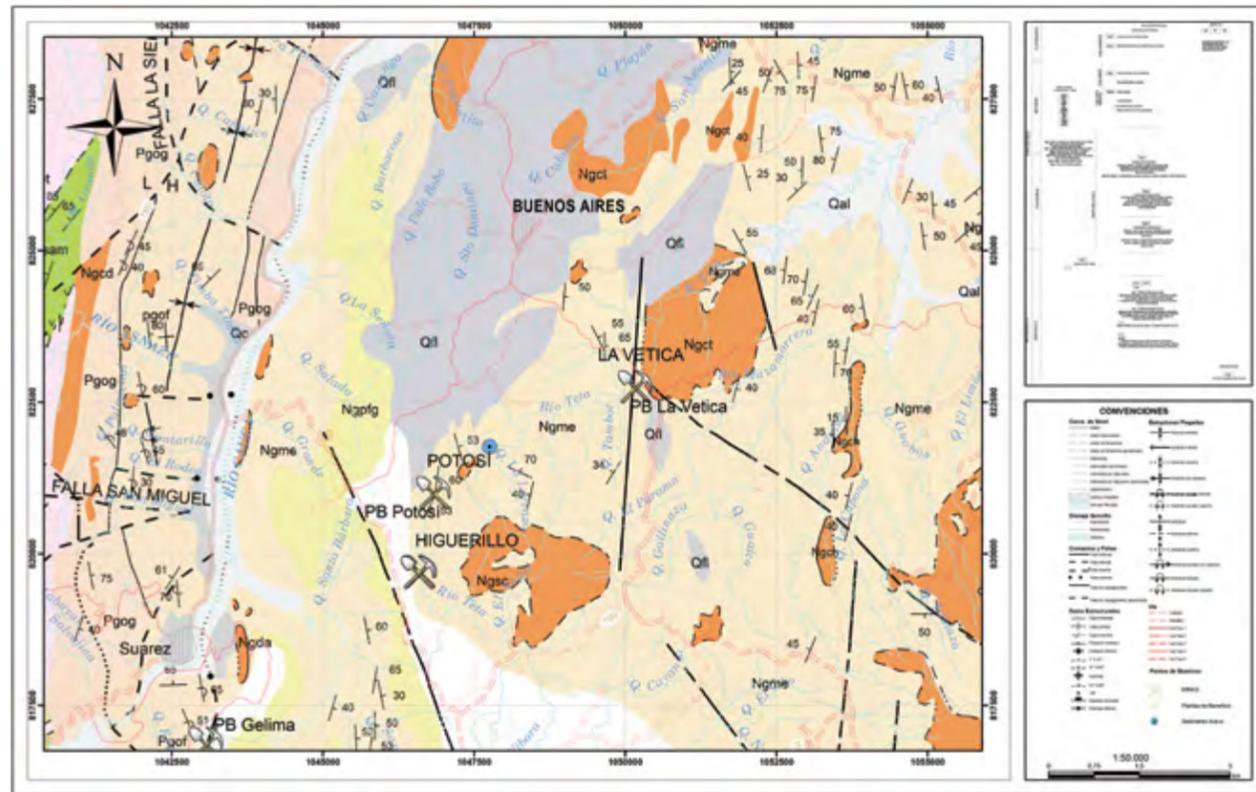


Figura 4.10: Mapa geológico estructural del municipio de Suárez.  
Fuente: Plancha 320 Suárez.

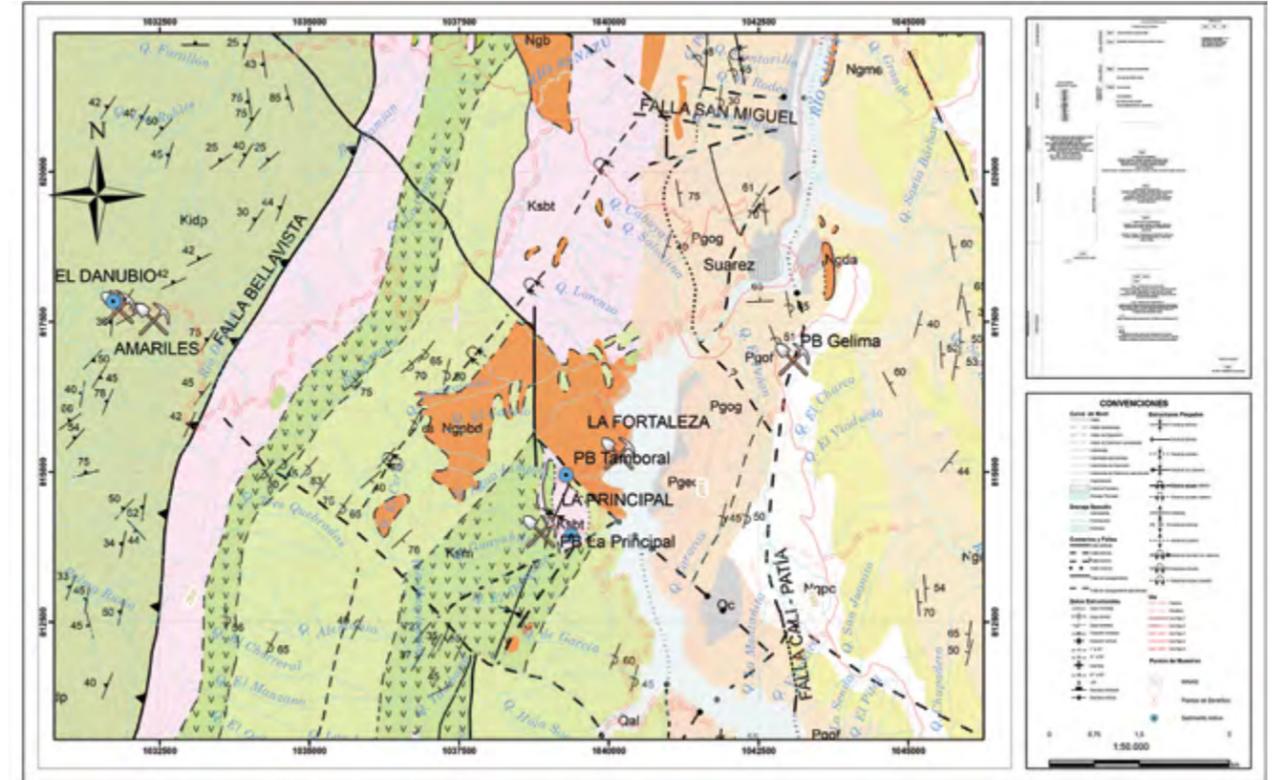
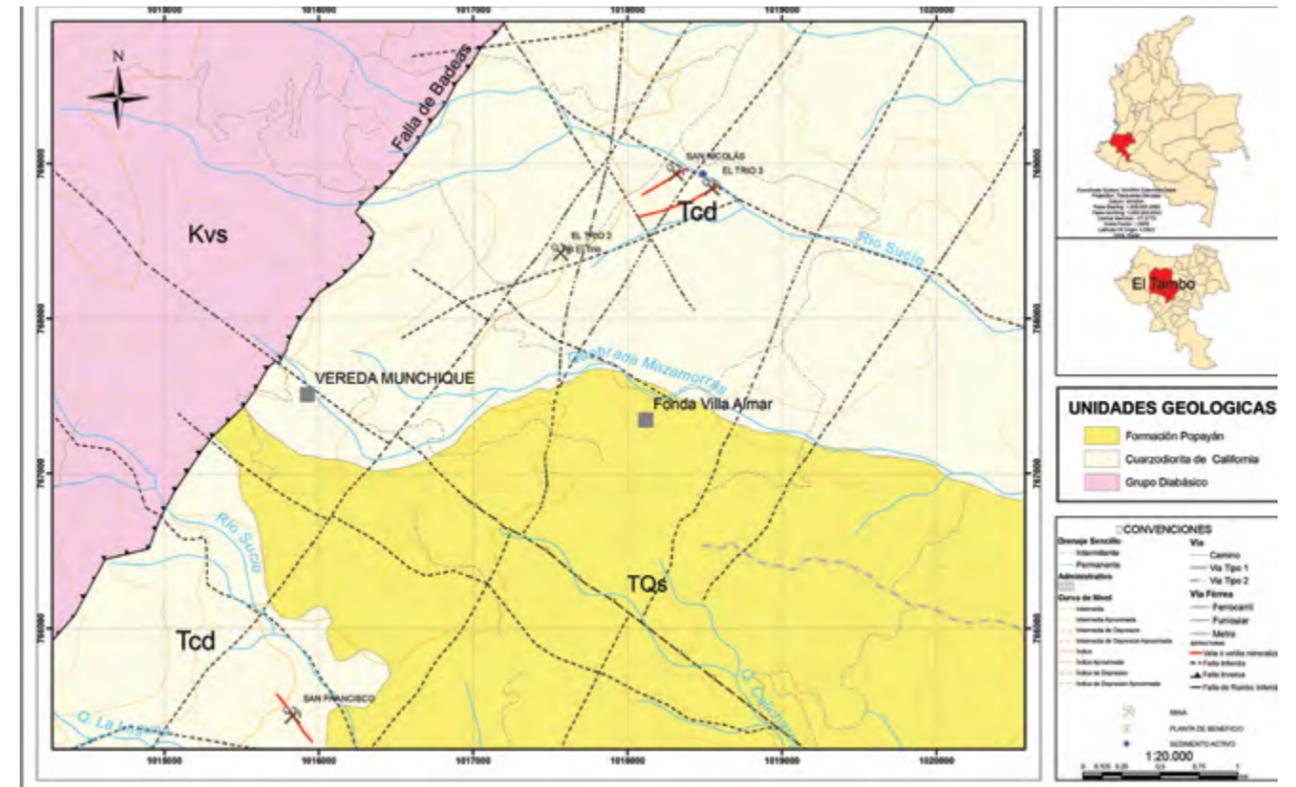


Figura 4.11: Mapa geológico estructural del municipio de El Tambo.  
Fuente: Ingeominas CRC 1998.



El sistema de fallas NW corresponde a zonas de transtensión o estructuras de extensión; a través de estas zonas de apertura se facilita la movilización de flujos mineralizantes y el emplazamiento de cuerpos intrusivos, diques y vetas. En estos sistemas estructurales de zonas de cizalla y de contacto entre cuerpos intrusivos, y su respectiva roca encajante, se presenta la principal mineralización aurífera.

En la zona de El Tambo, la disposición estructural regional es similar. El sistema noreste subparalelo a la falla Cali-Patía, con fracturas y fallas como la de Barajas es representativo. Esta falla pone en contacto basaltos y rocas ígneas del stock de California, que se encuentra segmentado por el sistema de fallas NW. Las fallas del Río Sucio y una falla inferida por la quebrada Río Sucio son las más representativas de este sistema.

#### 4.2.2.2. ALTERACIÓN HIDROTHERMAL

Los procesos de mineralización aurífera han generado alteración hidrotermal en los alrededores de las franjas de mineralización. La alteración más significativa corresponde a la presencia de carbonatos de calcio, clorita y epidota típicos de alteración propilítica. Esta alteración ocurre alrededor de zonas mineralizadas hospedadas en rocas magmáticas de los intrusivos de Santa Catalina, en Buenos Aires, Pasobobo, en Suárez, y California, en Fondas-Tambo.

La alteración propilítica se presenta también en rocas basálticas de la vereda Maravélez, de Suárez, que son hospedantes en las minas del sector, como la mina La Principal.

Los filones auríferos formados por fracturamiento y relleno a partir de la inyección de fluidos hidrotermales generan halos de alteración de poca extensión. En las zonas de cizalla o gouge con espesores que oscilan entre los 0.4 m y 1.5 metros se observa alteración filica o cuarzo-sericítica, con presencia de cuarzo, pirita y sericita. Esta alteración ocasionalmente se extiende unos pocos centímetros en la roca caja. En varias minas visitadas esta alteración local es observable.

Los análisis composicionales de espectroscopía infrarroja del muestreo superficial realizado en zonas aledañas a los principales sectores mineros arrojaron resultados asociados a alteración supérgena de la roca, lo cual evidencia ausencia de procesos hidrotermales, lo que confirma que la alteración se encuentra restringida a las estructuras de falla y zonas de contacto por donde ascendieron los cuerpos intrusivos y los fluidos mineralizantes.

**Con la espectroscopía infrarroja se confirma que la alteración hidrotermal se encuentra restringida a las zonas de contacto con cuerpos intrusivos y zonas de falla; por el contrario, en el resto del área, la alteración de la roca es supérgena (meteorización superficial).**

Figura 4.12: Diagrama de alteración hidrotermal en la zona minera.  
Fuente: Propia.



Veta con relleno de cuarzo y alteración filica asociada a la estructura con relleno de gouge y desarrollo de clorita en basaltos de la roca caja.

Municipio de Suárez, mina La Principal



Veta con relleno de cuarzo y alteración filica asociada a la estructura con relleno de gouge y desarrollo de clorita en la roca caja.

A medida que disminuye la temperatura del flujo, la paragénesis mineralógica cambia a minerales arcillosos tipo caolín, motmorillonita illita, típicos de la alteración argílica.

Municipio del Tambo, mina San Nicolás



Vetilleo con relleno de óxidos de Fe (Gohetita, hematita, jarosita) con halos de 1 cm de alteración argílica y altos porcentajes de arcillas. Nótese la alteración supérgena de la roca caja.

Municipio de Buenos Aires, a un costado de la bocamina.



Vetilleo irregular cortando secuencia de rocas sedimentarias levemente propilitizada, Nótese los halos de alteración argílica fuertemente oxidada.

Asociados a zonas de mayor extensión y alejadas de la fuente principal se observa presencia de carbonatos de calcio, clorita y epidota típicos de alteración propilítica.

Municipio de Suárez, mina El Danubio.



Alteración propilítica pervasiva. Nótese la tonalidad verde de la roca caja marcada por la presencia de cloritas, +/- epidota y carbonatos con alto contenido de sericita asociada a alteración filica en estructuras.

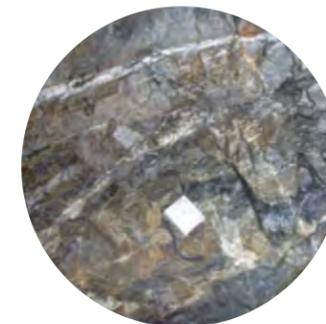
Municipio de Buenos Aires, mina Potosí.



Alteración propilítica pervasiva. La tonalidad verde de la roca caja marcada por la presencia de cloritas, +/- epidota, carbonatos y hematita con alteración filica en vetillas.

La intrusión de los diferentes stocks generó metamorfismo de contacto en las rocas sedimentarias encajantes sobre las cuales se desarrolló fracturamiento o vetilleo en rejilla.

Municipio de El Tambo, mina San Francisco.



Vetilleo paralelo en roca caja cortando secuencia de rocas sedimentarias silicificadas, Nótese la tonalidad grisácea de la roca.

Municipio de Suárez, mina El Danubio.

Figura 4.13: Mapa de alteraciones hidrotermales sector Suárez – Buenos Aires.  
Fuente: Plancha 320 - Suárez.

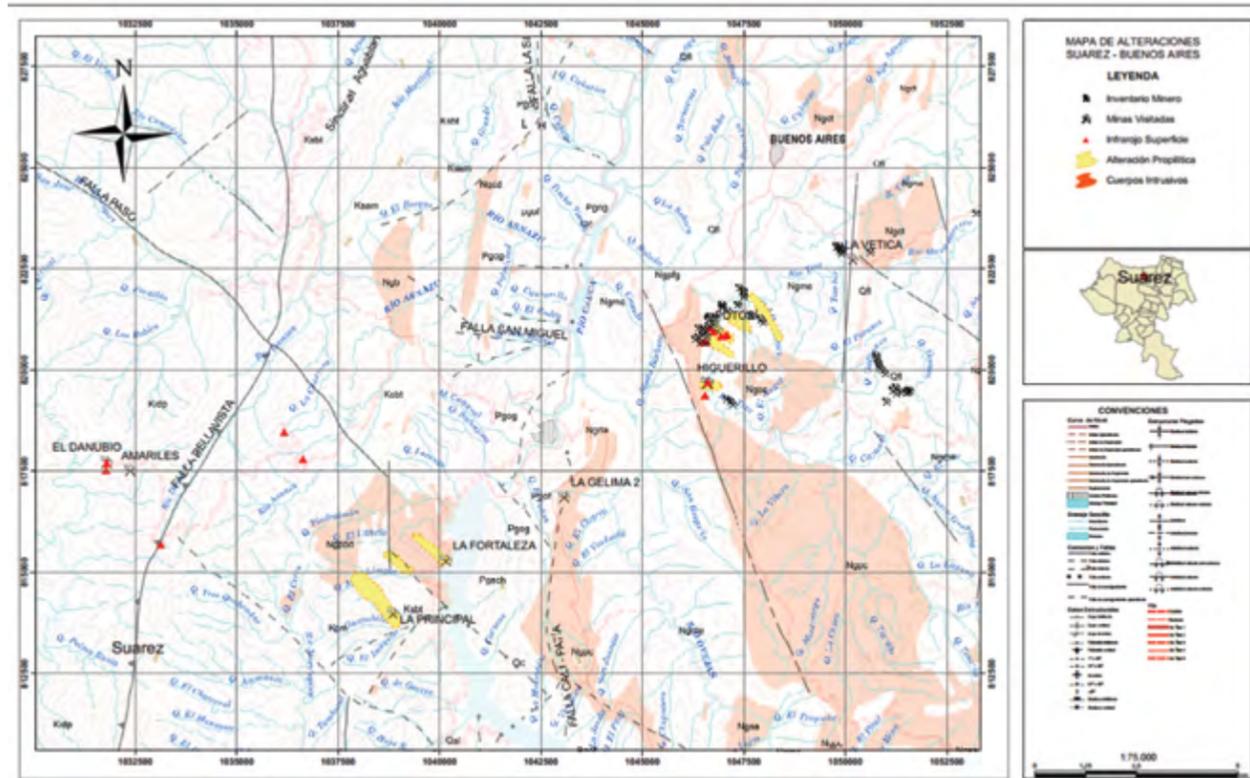
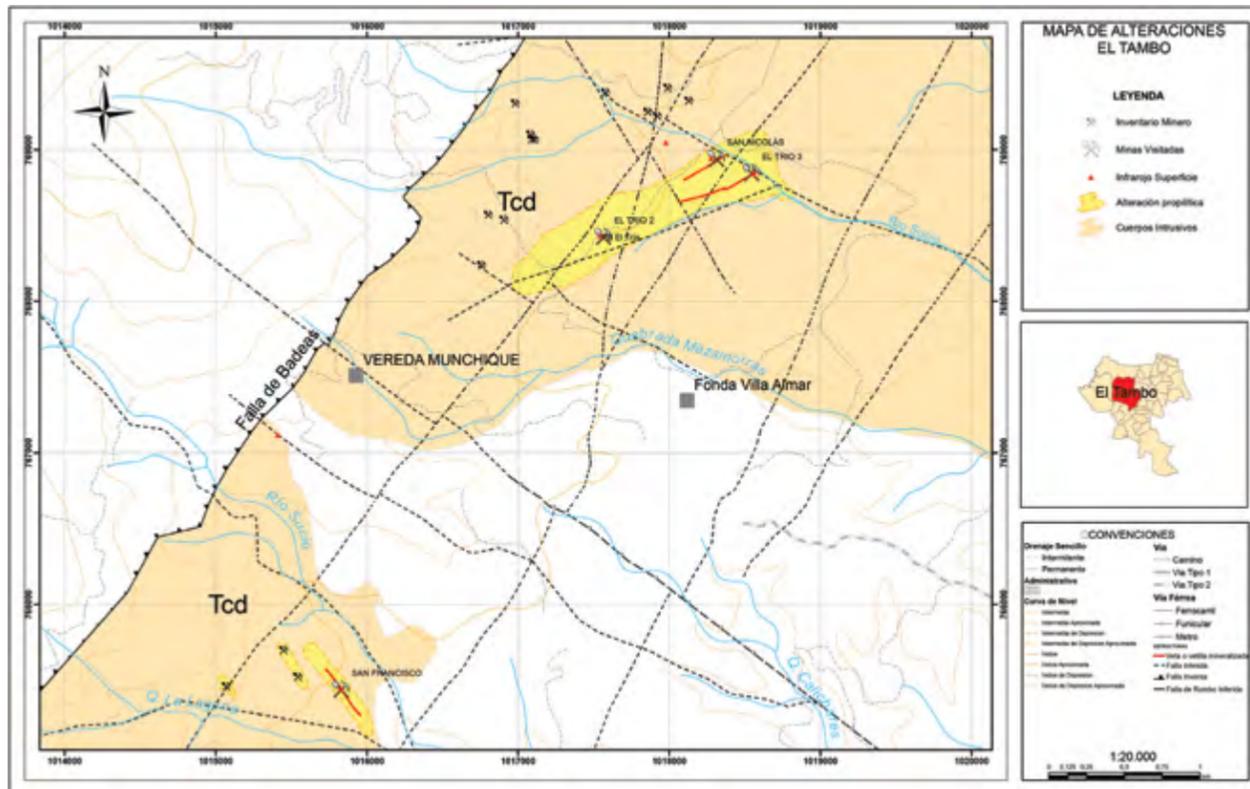


Figura 4.14: Mapa de alteraciones hidrotermales sector El Tambo.  
Fuente: Plancha 320 Suárez.



### 4.2.2.3. METALOGÉNESIS Y MINERALIZACIÓN AURÍFERA

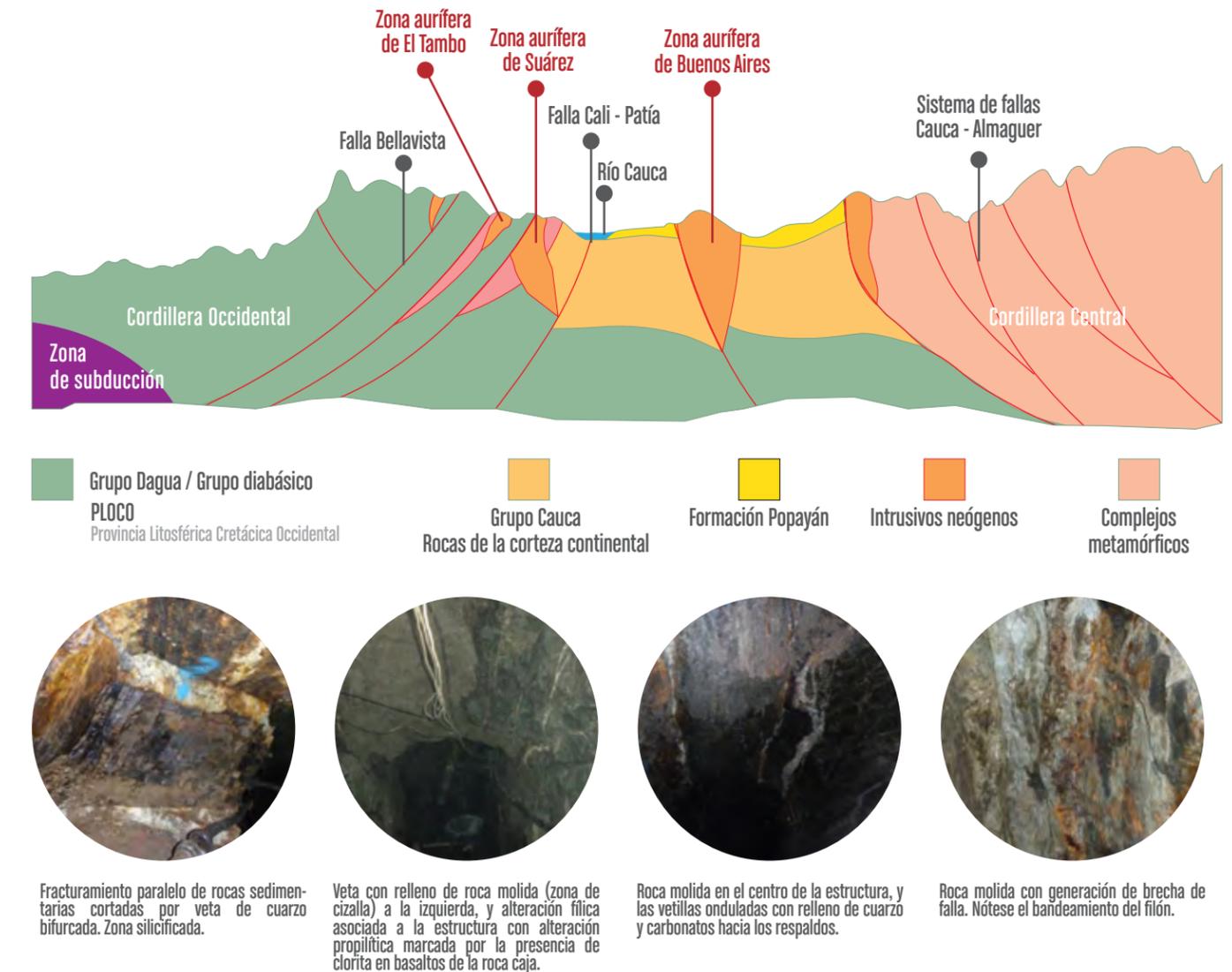
La mineralización aurífera que tiene lugar en los municipios de Buenos Aires y Suárez está restringida a los bordes de los diferentes cuerpos intrusivos que afloran en el área, en cercanía a las zonas de contacto con rocas sedimentarias como la formación Esmita, en Buenos Aires, o las formaciones Marliopito y Agua Clara, en Suárez. También se presenta en las zonas de contacto con rocas basálticas en el área de Maravélez, en Suárez.

La mineralización aurífera se concentra en franjas con dirección NW-SE, especialmente en las zonas de fallamiento intenso y zonas de cizalla, donde las características de permeabilidad de las rocas facilitan la circulación de fluidos hidrotermales derivados de eventos magmáticos tardíos de composición dacítica emplazados en los bordes de los cuerpos intrusivos a manera de diques de poca extensión. La removilización de metales y oro tiene lugar través de fracturas profundas orientadas en dirección NE, NW, y en algunos sectores, E-W.

Producto de la fuerte influencia estructural y de los cambios composicionales de las rocas hospedantes causados por los fluidos hidrotermales, se presentan procesos mineralizantes o metalogenéticos de Fe, Cu, Pb Zn y Au que generan filones tabulares o lenticulares de cuarzo y sulfuros ricos en oro, emplazados en fracturas y zonas de cizalla.

El enriquecimiento en metales y oro a lo largo de la margen occidental de la cuenca del río Cauca puede corresponder con un ambiente metalogenético relacionado con el denominado cinturón terciario de oro y cobre del río Cauca, y reconocido como el sistema Cauca-Romeral de Sillitoe, (1982).

Figura 4.15: Modelo geológico del área de interés.  
Fuente: Propia.



Las zonas mineralizadas son generalmente cuerpos tabulares formados en zonas de cizalla preexistentes en estructuras tipo dúplex, frecuentemente de forma lenticular por fallamiento interno. Algunos filones presentan zonas de brecha y se encuentran bandeados. Las paredes exhiben zonas de bandeamiento de alteraciones, respaldos con relleno de gouge y fuerte silicificación, con intenso multifracturamiento distribuido en forma de rejilla.

Por lo general los filones están conformados por cuarzo y sulfuros polimetálicos, entre los que sobresale esencialmente la arsenopirita y la pirrotina, en el sector de Buenos Aires; arsenopirita, pirrotina, calcopirita, con cantidades menores de bornita, en Suárez, y pirita, calcopirita, esfalerita, en El Tambo. La composición mineralógica de la mena y la relación entre los sulfuros presentes indica un origen epitermal de intermedia a baja sulfuración.

La mineralización aurífera es similar en cada uno de los sectores evaluados. La diferencia entre las menas es la proporción de pirrotina y arsenopirita.

Las minas que se encuentran en bordes de cuerpos magmáticos contienen mayor cantidad de pirrotina y pirita, mientras que las minas alejadas de rocas magmáticas, con filones encajados en rocas sedimentarias, presentan incremento en la cantidad de arsenopirita.

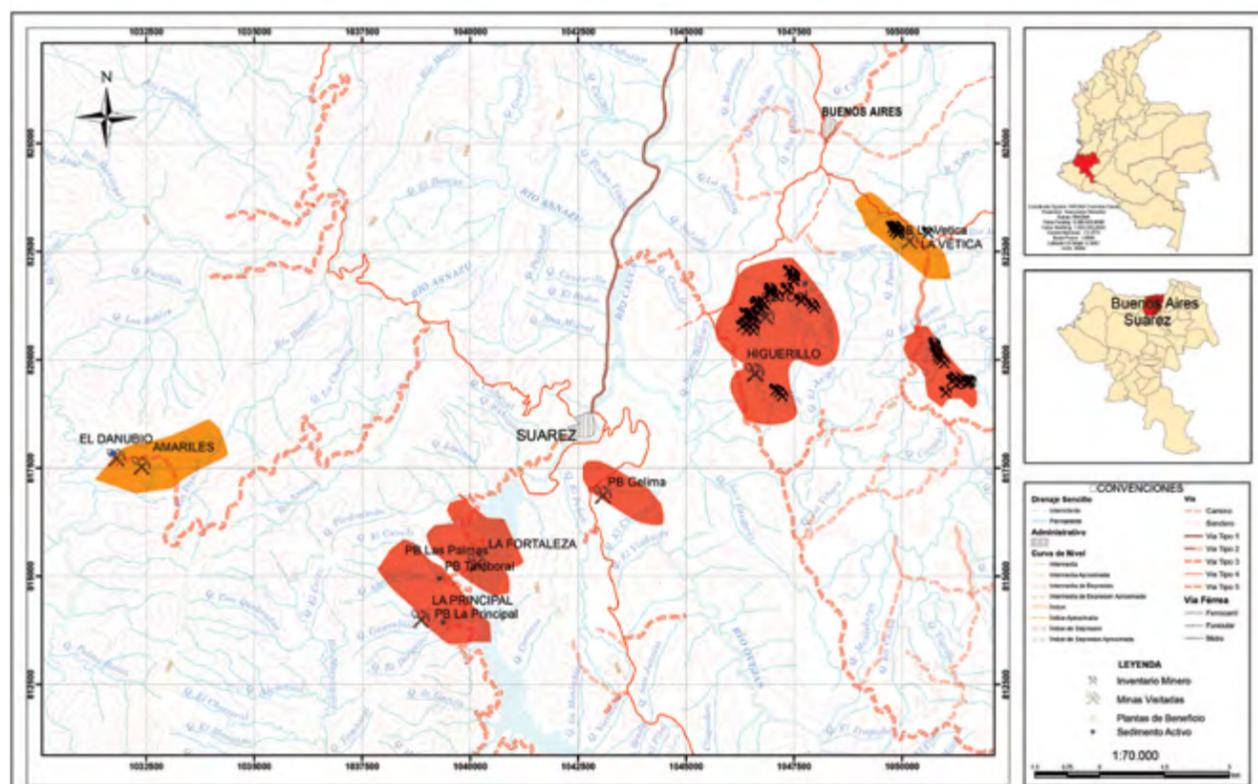
La ocurrencia de oro se asocia a la fase inicial de mineralización con pirrotina, arsenopirita y esfalerita, mientras que en las fases tardías de la mineralización, el oro se asocia con arsenopirita y cuarzo o carbonatos. Estos se acompañan de eventual ocurrencia de oro en calcopirita y esfalerita.

La distribución del oro corresponde con oro de tamaño fino menor a 100 micrones, y algunos granos individuales de mayor tamaño, que alcanzan hasta los 330 micrones.

La distribución por peso indica que el 80% de las partículas son mayores a 100 micrones, y el número mayoritario de partículas solo alcanza el 20% del total hallado.

Las tendencias de mineralización observadas pueden ser sectorizadas: la primera, considerada de alta complejidad mineralógica, corresponde a aquellas menas con altos contenido de pirrotina, pirita framboidal, calcopirita y arsenopirita. A este grupo pertenecen las minas de Buenos Aires del sector de Higuerillos, Pailas y Loma Alta, localizadas a lo largo del río La Teta, sobre el borde occidental del cuerpo ígneo de Santa Catalina. Se incluyen en este grupo las minas del Guaico, del

Figura 4.16: Mapa de UGM 1 y UGM 2  
Fuente: Propia.



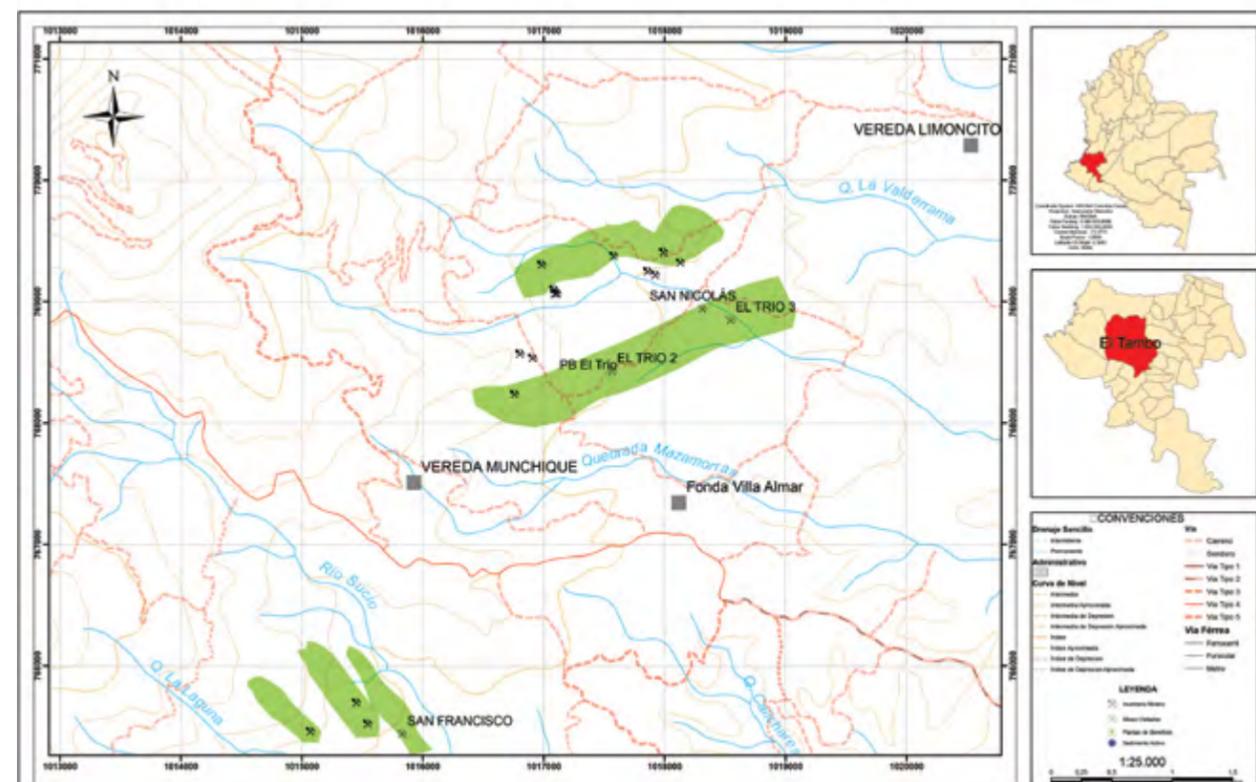
sector oriental de Santa Catalina. En Suárez se incluyen en este grupo las minas del borde oriental del cuerpo magmático de Pasobobo, en la vereda La Turbina.

La segunda tendencia de mineralización, compuesta por una menor proporción de pirrotina, calcopirita y arsenopirita, y mayor cantidad de pirita, cuarzo y carbonatos, contiene menos minerales reactivos en cianuración, y corresponde con menas auríferas de menor complejidad. A este grupo pertenecen las minas alejadas de los focos principales de mineralización. Se incluyen en este grupo la mina La Vetica, en Buenos Aires, y las minas de Maravéz y El Danubio, en Suárez.

La tercera y última tendencia de mineralización se encuentra en las minas de El Tambo, consideradas con mineralología relativamente simple, compuesta principalmente de pirita y cuarzo, salvo la presencia de telururos asociados con oro que pueden generar retardos en la lixiviación del oro, y están incluidas las minas del sector de California y San Francisco.

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 puede representar una unidad geometalúrgica (UGM), que puede definir una ruta metalúrgica específica.

Figura 4.17: Mapa de UGM3.  
Fuente: Propia.



#### 4.2.2.4. SECUENCIA PARAGENÉTICA

En los sectores de Suárez y Buenos Aires, la metalogénesis es similar, muy rica en sulfuros, con variaciones relacionadas esencialmente con el contenido de arsenopirita y pirrotina, que dependen, al parecer, del tipo de roca que encaja la mineralización y la cercanía a cuerpos magmáticos.

En la zona de Suárez, en las minas La Principal y Fortaleza, donde las rocas encajantes son de composición ígnea, basáltos y cuarzodioritas, el contenido de pirrotina es alto, de alrededor del 10% en las muestras tomadas en veta intacta, mientras que en Gelima, donde la roca encajante es sedimentaria, el contenido de pirrotina es escaso (menor al 1%), siendo muy abundante la arsenopirita o pirita arseniosa, y la calcopirita. En el sector de Buenos Aires la pirrotina también se presenta en porcentajes menores al 1%, siendo muy abundante la arsenopirita. Por ejemplo, en la muestra tomada en el Pozo de Sebas (El Higuerillo), la arsenopirita alcanzó el 19% de concentración en veta intacta; los demás minerales de mena se encuentran en proporciones que varían entre el 1% y el 3%, en promedio.

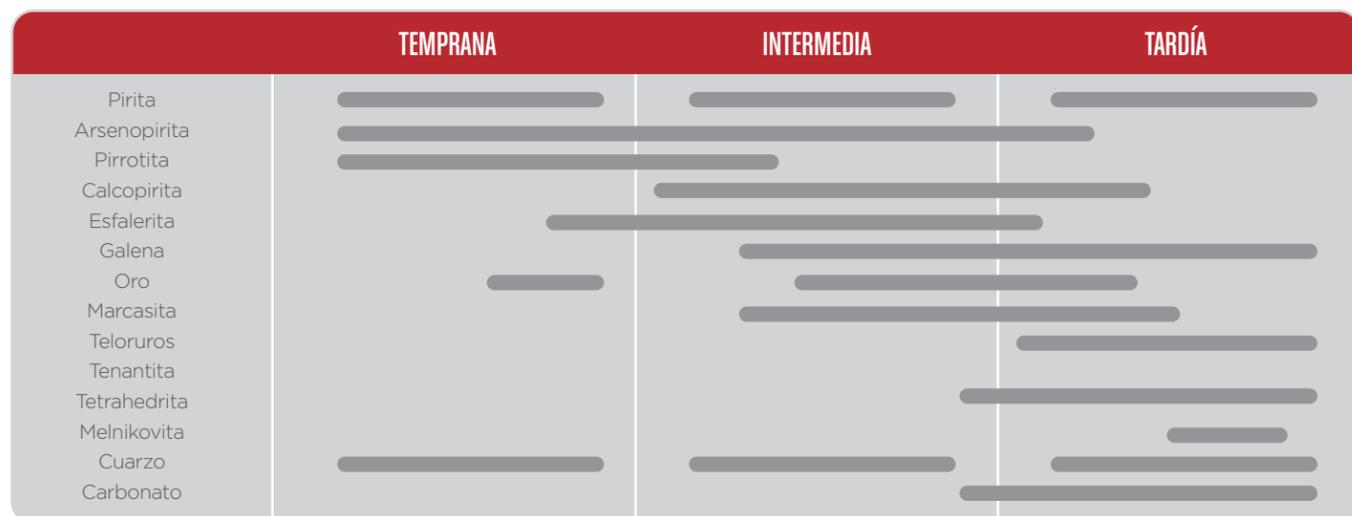
La metalogénesis se inicia con la cristalización de un cuarzo inicial con textura masiva y drusiforme, que viene acompañado de pirita (temprana) subhedral de grano fino a grueso y pirrotina, ocasionalmente galena y calcopirita. El oro se encuentra en ambos sulfuros. Simultáneamente precipita arsenopirita euahedral y anhedral acompañadas de abundantes partículas de oro incluidas y asociadas. Este evento es el de mayor interés económico. En las muestras tomadas en la mina La Principal, donde la arsenopirita es escasa, el oro se observa incluido en pirrotina.

Posteriormente se presenta cristalización de cuarzo en mosaico con pirita anhedral asociada a marcasita, producto de alteración de pirrotina, en ocasiones esfalerita en exsolución con calcopirita y galena. El oro se encuentra incluido en calcopirita y en pirita.

Finalmente se produce el último pulso de enriquecimiento, que incluye la cristalización de pirita cúbica, galena en fracturas de pirita y transformación de marcasita a pirita framboidal (melnikovita), tetraedrita-tenantita y telururos (identificados por análisis de microsonda) en fracturas, cuarzo euahedral y carbonatos; el oro se encuentra asociado a pirita y telururos, en grietas de contracción a melnikovita y libre.

En la zona de El Tambo la mineralogía es similar a la de los sectores de Suárez y Buenos Aires, pero difiere principalmente en el bajo contenido de pirrotina (menor al 1%), y por lo tanto la ausencia de marcasita.

Figura 4.18: Secuencia paragenética de los sectores de Suárez, Buenos Aires y El Tambo  
Fuente: Propia.



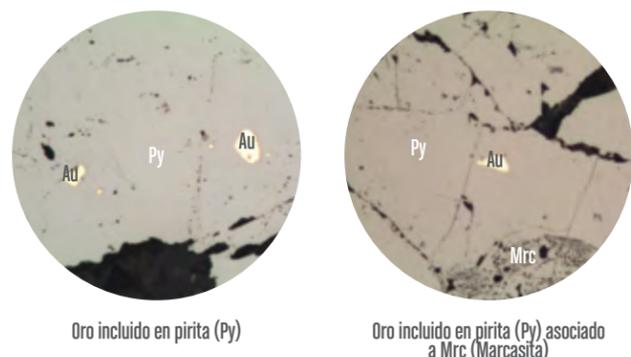
**4.2.2.5. OCURRENCIA DE ORO EN LA VETA**

Para la evaluación de la ocurrencia de oro en veta se tuvieron en cuenta los minerales a los que se encuentra asociado el oro, su composición química mediante el análisis puntual con microsonda electrónica y el tamaño de las partículas. Para mayor claridad, a continuación, se explicará la ocurrencia de oro por sectores:

**SECTOR DE BUENOS AIRES**

El oro observado en general ocurre por debajo de 50 µm. Con los análisis de microsonda realizados a un grano se determinó que es oro nativo con una fineza de 764.1 (75.106% wt de oro y 23.18% wt de plata). En este estudio solo se identificó oro en la muestra tomada en el Pozo de Sebas, procedente de la mina El Higuerrillo, y se observó incluido en pirita y en pirita asociada a marcasita. En estudios anteriores realizados por el Ingeominas (1998) se identificó oro fino asociado a telururos e incluido a cuarzo, incluido en pirita, asociado a pirita y cuarzo, y en menor proporción oro incluido en minerales como arsenopirita, galena, calcopirita y tetraedrita.

Figura 4.19: Ocurrencia de oro Buenos Aires  
Fuente: Propia.



Oro incluido en pirita (Py)

Oro incluido en pirita (Py) asociado a Mrc (Marcasita)

**SECTOR DE SUÁREZ**

En este sector el oro ocurre principalmente en tamaños que varían entre 10 y 70 µm, con distribución de porcentajes en peso bastante amplia. El oro se encuentra incluido en pirita, arsenopirita, pirrotina y esfalerita, asociado a cuarzo y galena, asociado e incluido en calcopirita, relleno de fracturas en arsenopirita, intercrecido con telururos, y en ocasiones libre.

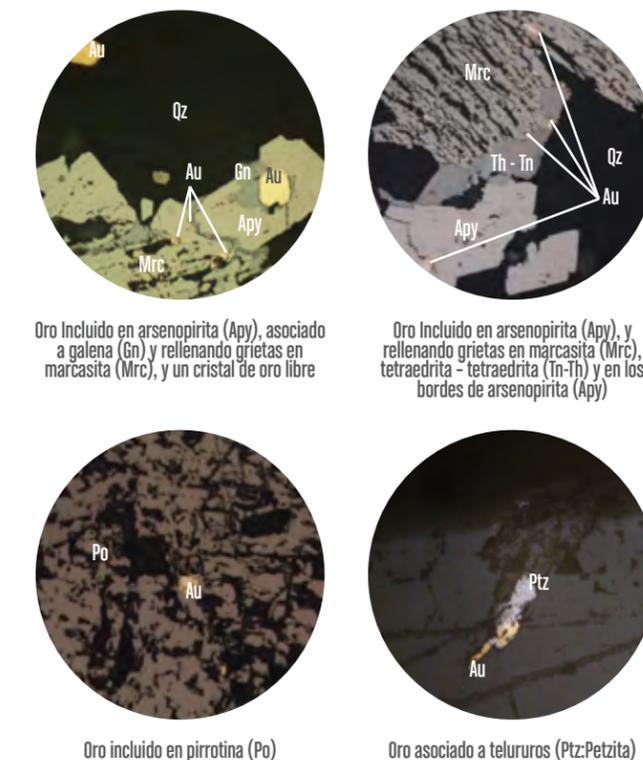
En esta zona, de acuerdo con los análisis de microsonda, se identificaron dos tipos de oro: un oro tipo electrum, con contenido detectable de mercurio. En la mina La Fortaleza, además, la plata varía entre el 27 al 31%, y el oro tiene una fineza situada entre 591 y 729 (45.46% wt y 71.5% wt de oro). En el caso de las minas La Principal y La Gelima se encontró oro con una fineza que variaba entre 633 y 846 (62.3% y 84.8% de oro). Otros elementos identificados como anómalos en los granos de oro fueron el bismuto, con valores que oscilaban entre 0.45% wt y 1.08% wt, y alto contenido de telurio (7%), identificado en la partícula de oro de la muestra tomada en la mina La Fortaleza, que además es rica en mercurio. Además se detectó alta concentración de cobalto dentro de arsenopirita, en los granos analizados de la mina La Gelima.

**SECTOR DE EL TAMBO**

El oro se caracteriza por tener un tamaño menor a 250 µm, estando la mayoría de los granos por debajo de 50 µm. Ocasionalmente se pueden encontrar granos de mayor tamaño. La distribución de porcentajes en peso es variable. En general, el oro se encuentra relleno de fracturas en cristales de pirita, asociado con galena, esfalerita o con telururos. Ocasionalmente, el oro se encuentra incluido en pirita y granos de oro libre. Los análisis de microsonda de los granos de oro identificados en las minas Trío 2 y Trío 3 mostraron la presencia de oro nativo y electrum con finezas de entre 678 y 832, y con contenidos de plata que varían entre 16.5% wt y 31% wt. En la mina San Francisco, el grano de oro analizado tiene una fineza de 787, con valores de plata de 20.475%. Otros elementos importantes identificados en los granos de oro fueron mercurio de hasta 2,9% wt, y bismuto de hasta 0,9% wt.

Los análisis de microsonda de las partículas de oro estudiadas indican una variación constante en la relación Au/Ag, que varía entre el 60% y 82% de oro. Por lo tanto, el oro de la zona se encuentra enriquecido con plata hasta en un 35%.

Figura 4.20: Ocurrencia de oro Suárez  
Fuente: Propia.



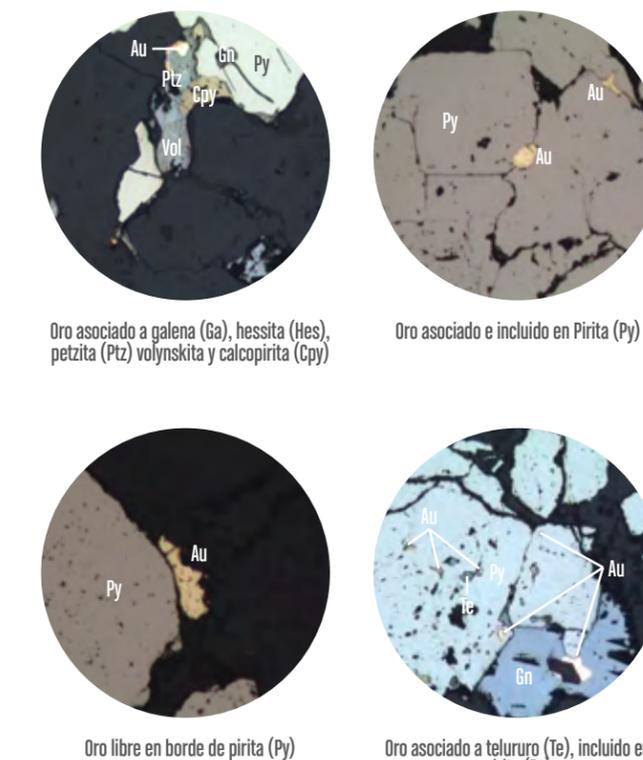
Oro incluido en arsenopirita (Apy), asociado a galena (Gn) y relleno de grietas en marcasita (Mrc), y un cristal de oro libre

Oro incluido en arsenopirita (Apy), y relleno de grietas en marcasita (Mrc), tetraedrita - tetraedrita (Th-Th) y en los bordes de arsenopirita (Apy)

Oro incluido en pirrotina (Po)

Oro asociado a telururos (Ptz:Petzita)

Figura 4.21: Ocurrencia de El Tambo  
Fuente: Propia.



Oro asociado a galena (Ga), hessita (Hes), petzita (Ptz) volynskita y calcopirita (Cpy)

Oro asociado e incluido en Pirita (Py)

Oro libre en borde de pirita (Py)

Oro asociado a telururo (Te), incluido en pirita (Py)

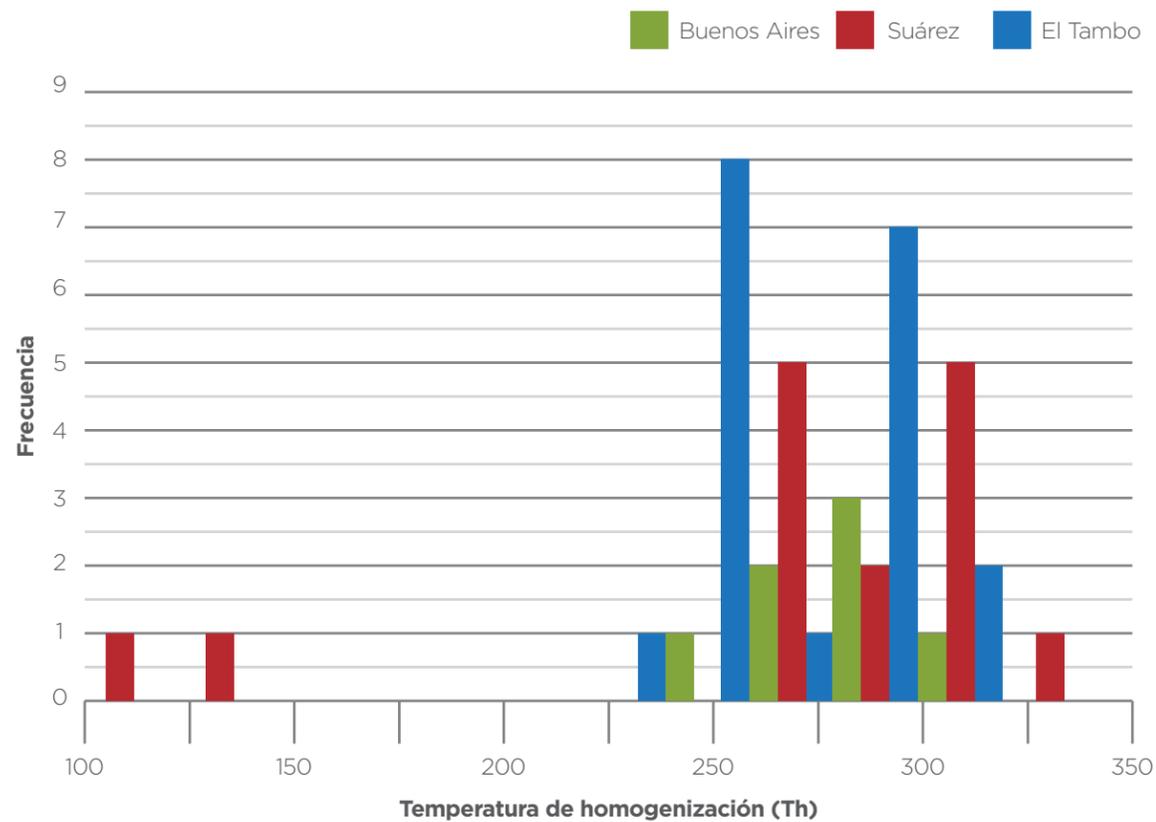
4.2.2.6. MICROTERMOMETRÍA

Los análisis microtermométricos para cada sector contribuyen a establecer variaciones en las condiciones de transporte de fluidos mineralizantes, precipitación de metales y condiciones fisicoquímicas de los gases. Los análisis termomicrométricos de inclusiones fluidas fueron realizados en los laboratorios de la Universidad Nacional.

En la zona de Suárez, específicamente en la mina La Fortaleza, se presentan las temperaturas más altas en los fluidos mineralizantes, y varían entre 270 °C y 330 °C, excepto temperaturas muy bajas de 100 °C y 125 °C, que significan presencia de fluidos tardíos de baja temperatura.

La menor temperatura de homogeneización se observa en las minas alejadas de Suárez, como la mina El Danubio.

Figura 4.22: Temperatura de homogenización de inclusiones fluidas.  
Fuente: Propia.



La salinidad encontrada en las diferentes muestras analizadas indica que en la zona de Suárez la salinidad es mayor (33% Eq peso de NaCl). En Buenos Aires la salinidad varía de 1% a 16%, y en la zona de El Tambo la salinidad es relativamente constante, y varía alrededor de 9% (Eq peso NaCl) (diagrama 4.23).

Para la zona de El Tambo se encontraron las temperaturas menos bajas (-72 °C y -52 °C), lo que indica contenidos altos de CO2 favorables para condiciones de ebullición de fluidos y precipitación de metales. Le siguen en interés la zona de Suárez, y finalmente, Buenos Aires (diagrama 4.24).

Las inclusiones se caracterizan por ser bifásicas (mezcla de líquido y gas). En algunas, como en la mina La Fortaleza, se presentan cristales de halita, lo cual indica mayor salinidad de los fluidos a catiónica, como metales y oro.

Figura 4.23: Salinidad de inclusiones fluidas.  
Fuente: Propia.

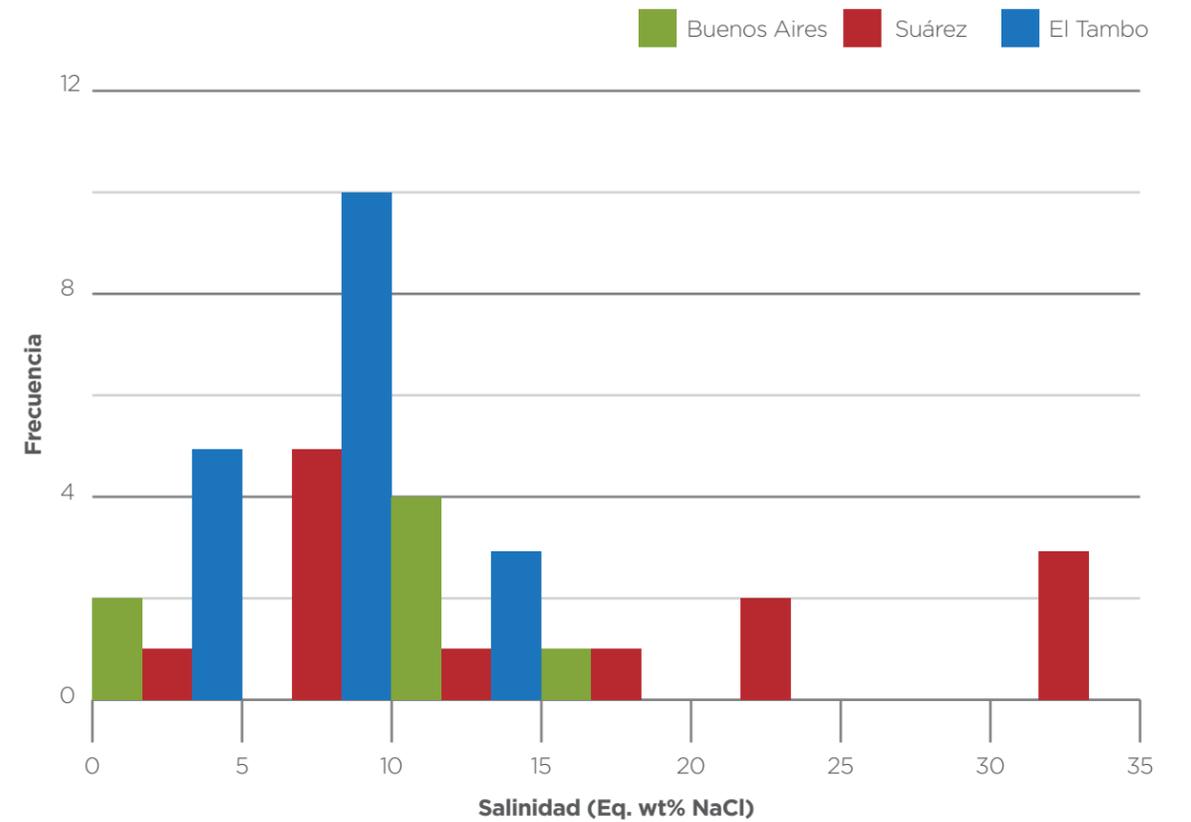
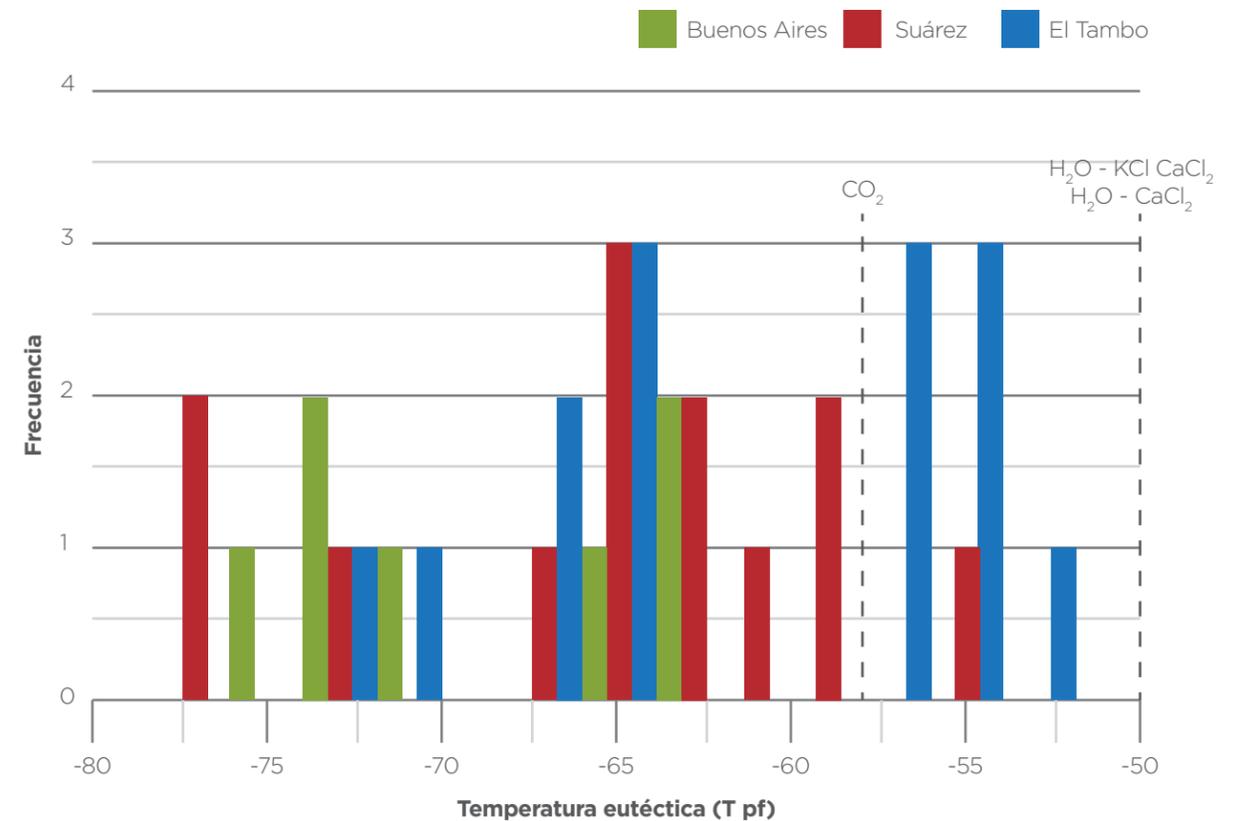


Figura 4.24: Temperatura de equilibrio de los gases disueltos.  
Fuente: Propia.



4.2.2.7. LIBERACIÓN DE SULFUROS

LIBERACIÓN DE SULFUROS Y ORO EN MATERIAL DE CABEZA EN LA UNIDAD GEOMETALÚRGICA 1

La distribución mineralógica del material de cabeza de la UGM 1 representado en porcentaje por número de partículas indica una participación significativa de pirita, arsenopirita, pirrotina y calcopirita, con cantidades menores de esfalerita y hematita, mientras que la ganga está representada por cuarzo y carbonatos hasta un 34%.

La distribución en porcentaje en peso incrementa la proporción de sulfuros con pirrotina (30%) y pirita (23%) mayoritarios, seguidos de arsenopirita (11%) y calcopirita (10%); la ganga de cuarzo representa el 11%, y la de carbonatos, 9%.

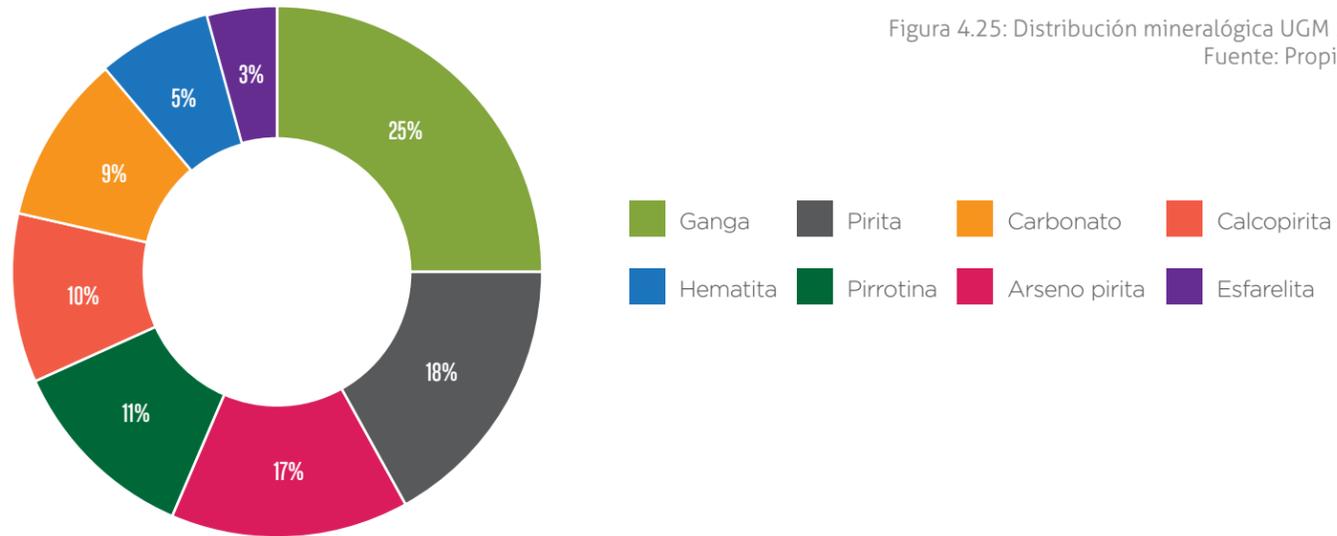


Figura 4.25: Distribución mineralógica UGM 1. Fuente: Propia.

El grado de liberación de sulfuros es alto, si se considera el tamaño de molienda de 1.4 milímetros tenido en cuenta para realizar la prueba de liberación. Se observa que pirita, arsenopirita y pirrotina presentan asociación a ganga por debajo de 300 micras, y la asociación pirita secundaria-pirita framboidal es prominente.

La tasa de liberación permanece aproximadamente constante a medida que disminuye el tamaño del grano, se incrementa en el rango de 500 a 300 micras, mientras que por debajo de 300 micras solo alcanza el 90% de liberación máxima.

La ocurrencia de oro en la UGM 1 está estrechamente relacionada con la ocurrencia de arsenopirita; el 87% se encuentra libre por debajo de 150 micras, mientras que el 13% restante mayor de 150 micras se encuentra asociado e incluido en arsenopirita, con el 9.9% y 2.9%, respectivamente.

Figura 4.26: Porcentaje de liberación de sulfuros acumulado UGM 1. Fuente: Propia.

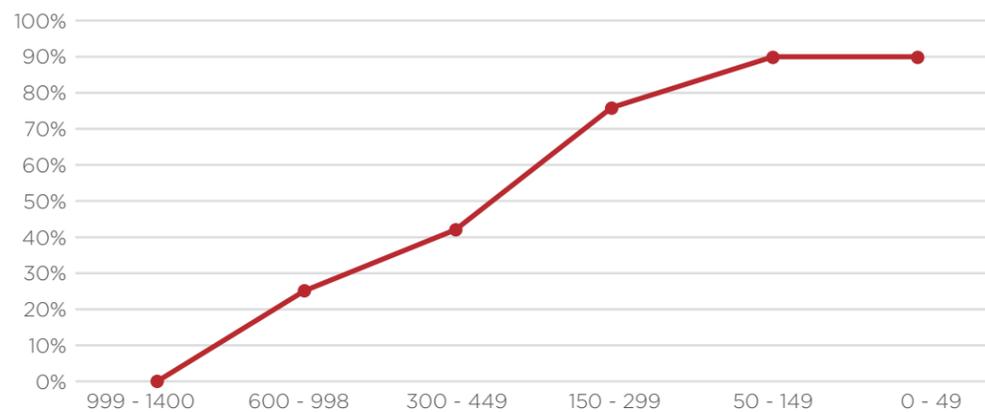
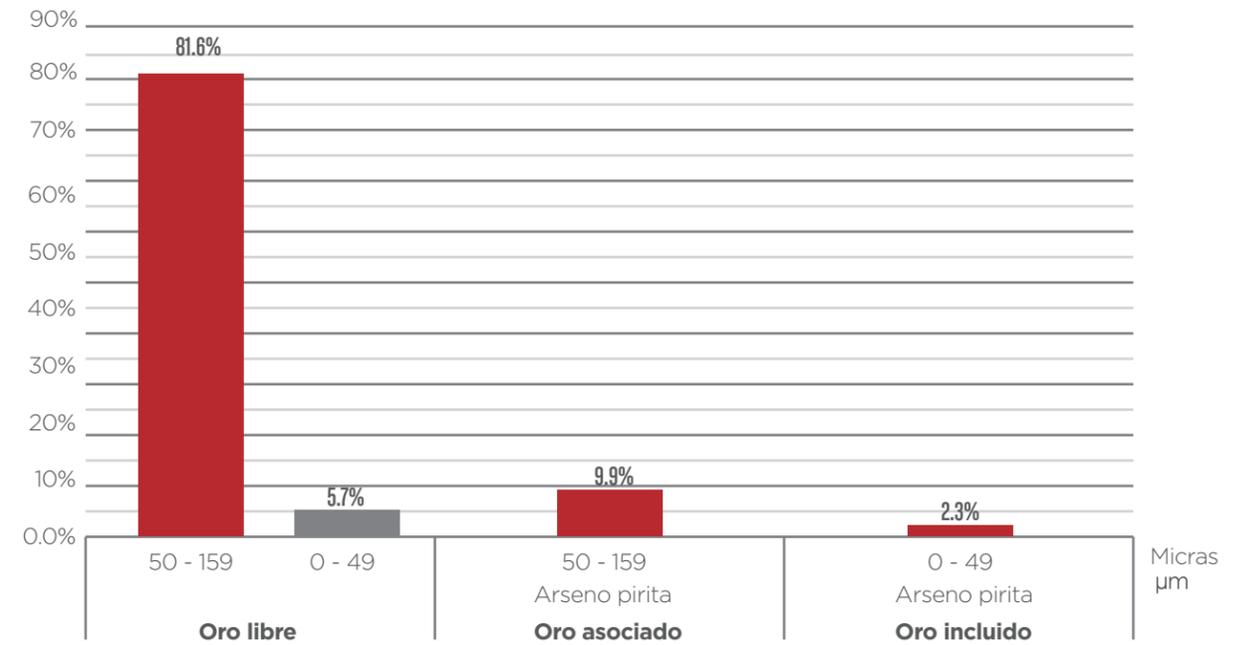


Figura 4.27: Asociación oro en material de proceso (% peso) UGM 1. Fuente: Propia.



LIBERACIÓN DE SULFUROS Y ORO EN MATERIAL DE CABEZA EN LA UNIDAD GEOMETALÚRGICA 2

La distribución mineralógica de material de proceso de la UGM 2 está representada en número de partículas de la siguiente manera: predominan partículas de ganga (cuarzo y feldespatos) en un 75%; sulfuros con pirita mayoritaria (13%), y le siguen pirrotina (5%), calcopirita (2%), arsenopirita (1%), esfalerita (1%), galena (1%) y carbonatos (2%).

Considerando la distribución en porcentaje en peso, la proporción de ganga disminuye al 58.8%, y la proporción de pirrotina se incrementa al 15.4%, pirita 13.2%, pirita framboidal 8.5%, calcopirita 2.2%, arsenopirita 0.6%, esfalerita 0.2% y galena 0.2%. En estas condiciones se espera baja refractariedad de la mena en los procesos de beneficio.

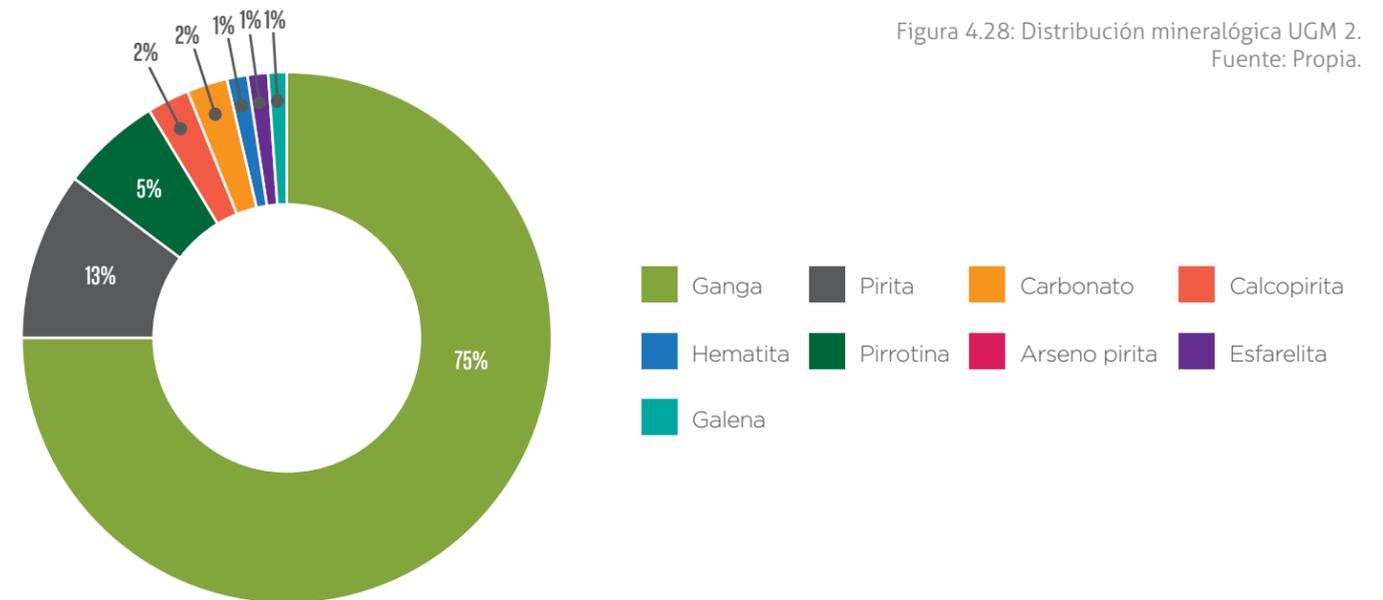
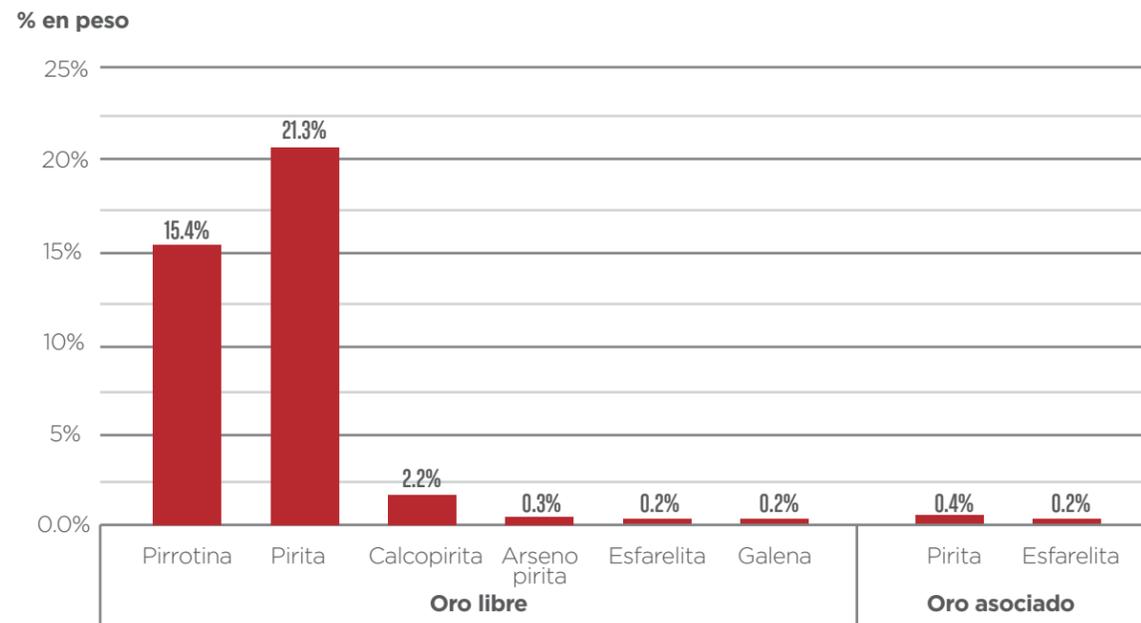


Figura 4.28: Distribución mineralógica UGM 2. Fuente: Propia.

Considerando únicamente sulfuros, en el proceso de liberación se observa que estos se encuentran liberados en su mayoría, especialmente pirrotina con 53% y pirita con 40%. Asociados a ganga solamente se observan pirita y arsenopirita en proporción menor de 2%.

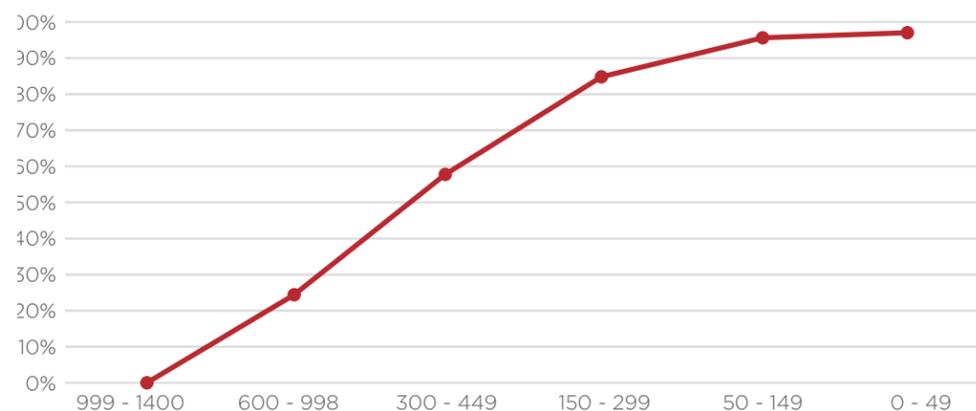
En su mayoría, los sulfuros se hallan libres, lo cual indica también un alto grado de liberación, mientras que la asociación mineralógica con ganga indica una estrecha relación con pirita y arsenopirita, con valores por debajo del 1%.

Figura 4.29: Asociación de sulfuros UGM 2.  
Fuente: Propia.



El grado de liberación es relativamente alto; la tasa de liberación se mantiene constante hasta 300 micras. En el rango de 150-300 micrones se libera entre el 84% y 98%; por debajo de 50 micras no se registra liberación de partículas adicionales.

Figura 4.30: Grado de liberación de sulfuros UGM 2.  
Fuente: Propia.



### LIBERACIÓN DE SULFUROS Y ORO EN MATERIAL DE CABEZA EN LA UNIDAD GEOMETALÚRGICA 3

Un total de 29 partículas fueron halladas en la cabeza de proceso de una muestra preparada bajo 212 micras y concentrada en batea. La distribución de tamaño de oro, considerando su diámetro equivalente, indica que entre 20 y 100 micras se encuentra la mayoría de los granos, y esporádicamente aparecen partículas de hasta 220 micras.

La distribución es peso y su asociación indica que la mayoría del oro (82%) se halla liberado, y una fracción (3%) del rango menor de 50 micras se halla asociado a arsenopirita.



### 4.3. CONSIDERACIONES GENERALES EN GEOLOGÍA Y MINERALOGÍA

- Los análisis de infrarrojo en muestreo superficial arrojan resultados asociados a alteración supérgena, lo cual pone en evidencia la ausencia de procesos hidrotermales por fuera del área de influencia. Esto confirma que la alteración se encuentra restringida a las estructuras de falla y a zonas de contacto por donde ascendieron los cuerpos intrusivos responsables de la mineralización.

- El yacimiento está conformado por filones subparalelos y lenticulares de cuarzo y sulfuros polimetálicos, entre los que sobresale esencialmente arsenopirita y pirrotina en el sector de Buenos Aires; arsenopirita, pirrotina, calcopirita, con cantidades menores de bornita, en Suárez, y pirita, calcopirita y esfalerita en El Tambo.

- Las minas que se encuentran en bordes de cuerpos magmáticos contienen mayor cantidad de pirrotina y pirita, mientras que las minas alejadas de rocas magmáticas, con filones encajados en rocas sedimentarias presentan incremento en la cantidad de arsenopirita o pirita arseniosa.

- En la zona de Suárez y Buenos Aires la ocurrencia de oro se asocia en la fase inicial de mineralización con pirrotina, arsenopirita y esfalerita, mientras que, en las fases tardías de la mineralización, el oro se asocia con arsenopirita y cuarzo o carbonatos, acompañados de eventual ocurrencia de oro en calcopirita y esfalerita.

- En Suárez, el oro se encuentra incluido en pirrotina. El evento de mayor interés económico corresponde con abundantes partículas de oro incluidas y asociadas a arsenopirita euhedral y anhedral; también se encuentra incluido en calcopirita y en pirita. Finalmente, se halla libre y asociado a pirita y telururos en grietas de contracción a melnikovita.

- En la zona de El Tambo, en las etapas iniciales el oro se encuentra incluido en la pirita; también se deposita pirrotina en muy baja proporción y galena inicial con

oro asociado. La esfalerita se observa en exsolución con calcopirita, e inicia la precipitación de tenantita-tetraedrita, telururos y galena en fracturas, donde se observa oro asociado a esfalerita y pirita. Finalmente, el oro se precipita en oro libre, y además se asocia tanto a telururos como galena.

- La distribución del oro en veta corresponde con oro de tamaño fino menor de 100 µm, y algunos granos individuales de mayor tamaño, que alcanzan hasta los 250 µm en Buenos Aires, 150 µm en Suárez y menor de 250 µm en El Tambo.

- La distribución por peso indica que el 80% de las partículas son mayores de 100 µm, y el número mayoritario de partículas solo alcanza el 20% del total hallado.

- Los análisis de microsonda detectaron la presencia de mercurio nativo en el oro, a pesar de que se encuentra identificado en pequeñas partículas. Su ocurrencia a nivel de depósito es poco representativa, pero pone en evidencia mercurio que no es de origen antrópico en la zona, y la velocidad de recuperación del oro durante el beneficio.

- La presencia de oro en la estructura de pirita, detectado por microsonda, indica que no es posible recuperar una parte del oro por métodos convencionales.



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

La presencia de pirrotina, arsenopirita y calcopirita en proporciones considerables, le imprime un carácter de alta complejidad al depósito para el beneficio de las menas del sector de Buenos Aires y Suárez. Es previsible que se presenten dificultades en las operaciones de beneficio, principalmente en cianuración.

- El tamaño del oro predominante es menor de 100  $\mu\text{m}$ , y una gran cantidad de partículas de tamaños menores de 10  $\mu\text{m}$ , incluidos en la matriz de sulfuros. Estos tamaños establecen limitaciones para el diseño de las plantas, en cuanto a los tamaños que se deben alcanzar en la molienda para lograr una buena liberación.
- Frecuentemente se presenta oro en zonas de fractura, lo que favorece su liberación a condiciones de molienda de tamaño de partícula grueso, generalmente alrededor de las 400  $\mu\text{m}$ .
- La presencia de telururos de oro y plata implicaría tiempos prolongados en la recuperación del oro en cianuración, debido a la íntima relación que tienen estos minerales con las partículas de oro.
- Algunas minas donde predomina la carbonatización de la roca encajante favorecería la neutralización de drenajes ácidos, y se podrían evitar gastos excesivos de cal durante el beneficio. En contraste, en las minas donde predomina la silicificación en la roca encajante se incrementarían los costos en reducción de tamaño.
- El contacto de los filones con la roca de caja está principalmente relacionado con la abundancia de carbonatos y sílice, y presentan contenidos bajos de minerales arcillosos. Este factor es benéfico para clarificar con facilidad las aguas provenientes del beneficio.

· La presencia de oro elemental (oro invisible) en la estructura atómica de la pirita, detectado por microsonda, indica que una parte del oro no se puede recuperar por métodos convencionales, y solo se alcanzaría bajo una disolución total del sulfuro.

· En general, el grado de liberación de sulfuros observado en las minas de la zona es relativamente alto, lo cual obedece a la alta proporción de sulfuros de gran tamaño, como en Buenos Aires, mientras que en el sector de El Tambo, la presencia de sulfuros de pequeño tamaño incluido en cuarzo restringe la liberación, lo cual incrementa los costos de molienda.

· La presencia de mercurio en la estructura atómica del oro determinada bajo microsonda implica que en la zona minera existe un background natural de mercurio, que es necesario cuantificar, y podría ser tenido en cuenta en las políticas de manejo de mercurio en Colombia.

Molino de bolas en la planta de beneficio.  
Fotografía tomada por: Benedicto Galindo / Servicio Geológico Colombiano

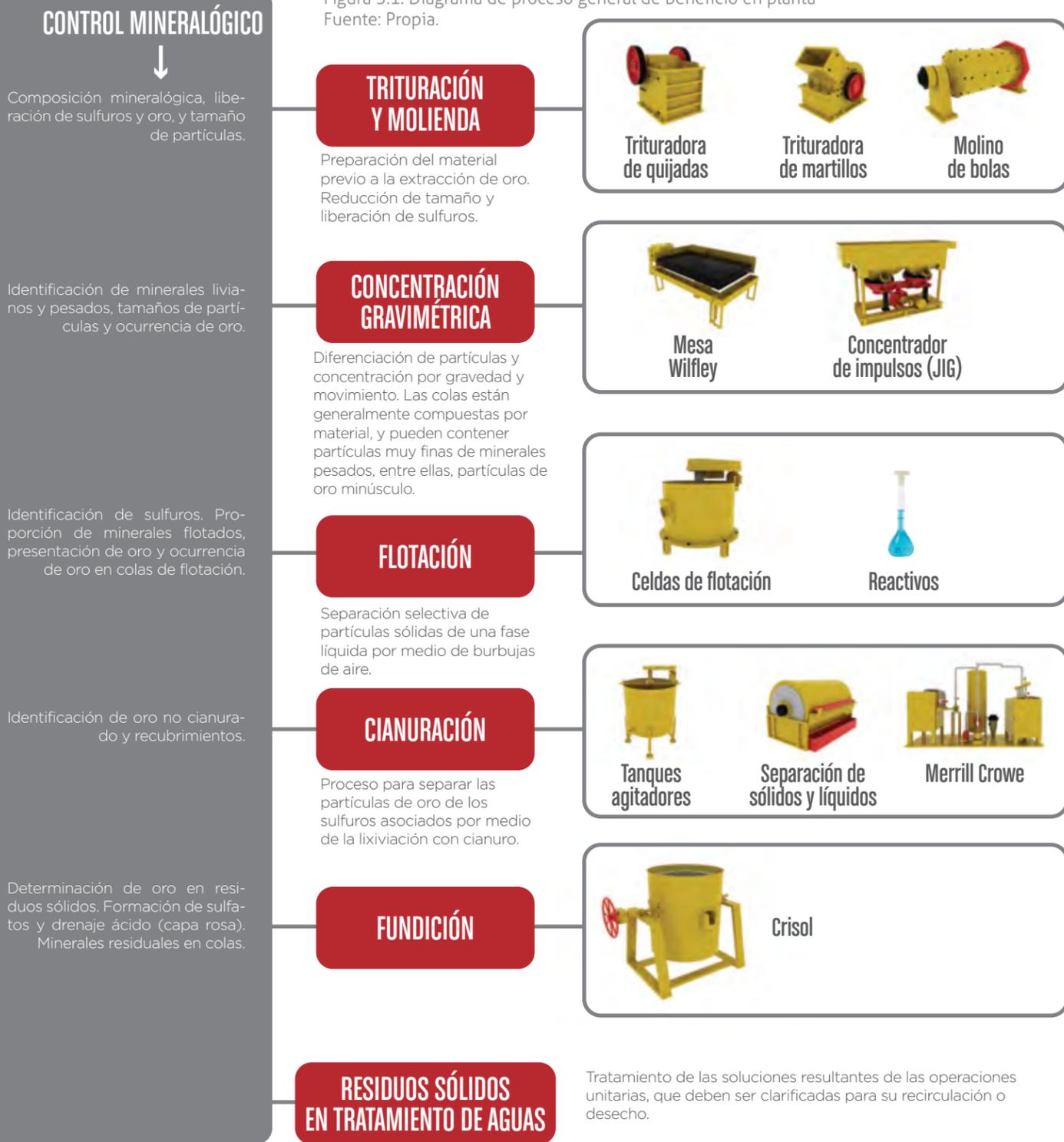
## 5. ASPECTOS METALÚRGICOS

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

Figura 5.1: Diagrama de proceso general de beneficio en planta  
Fuente: Propia.



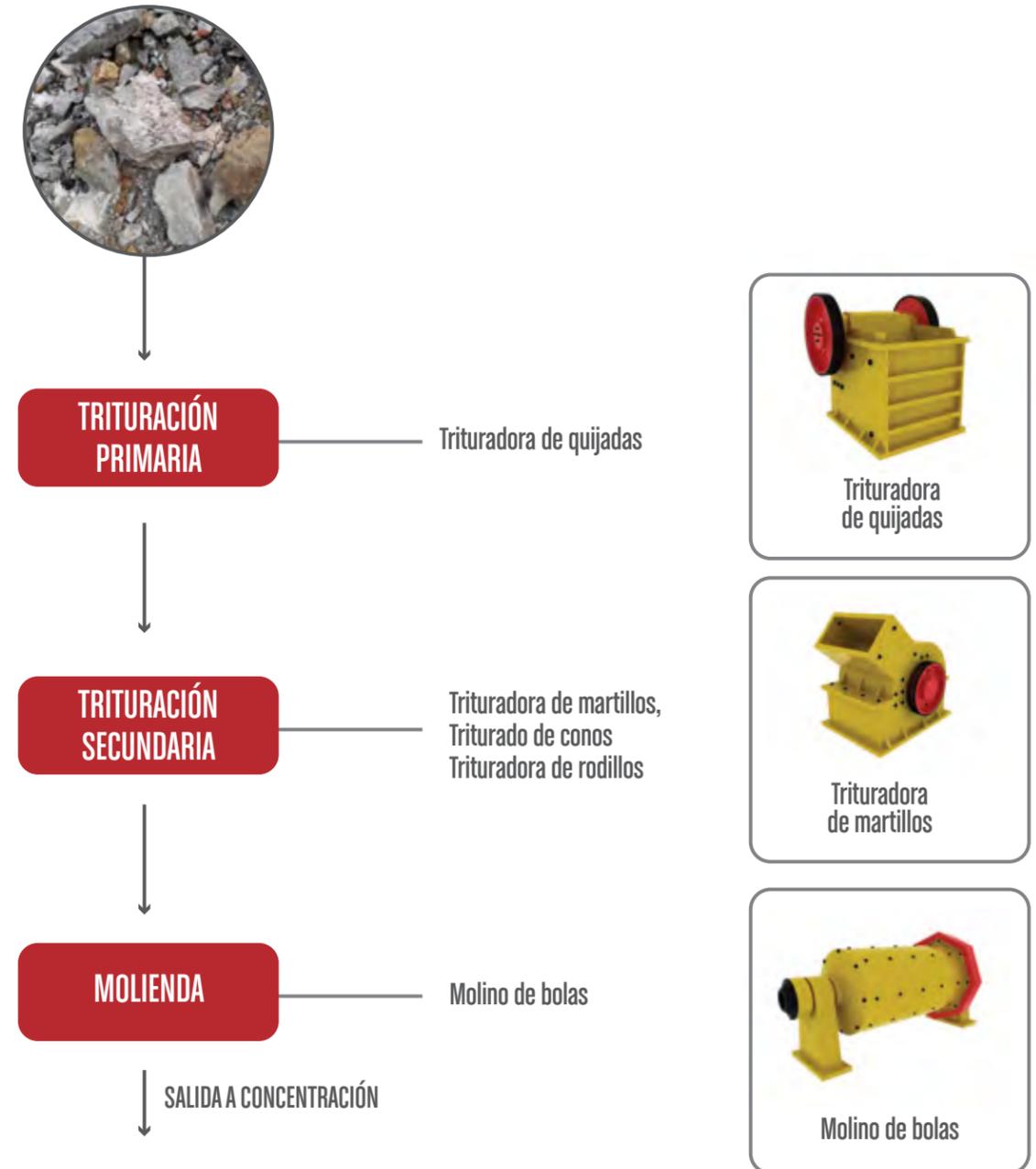
## 5.1.2. PROCESO DE CONMINUCIÓN (TRITURACIÓN Y MOLIENDA)

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.

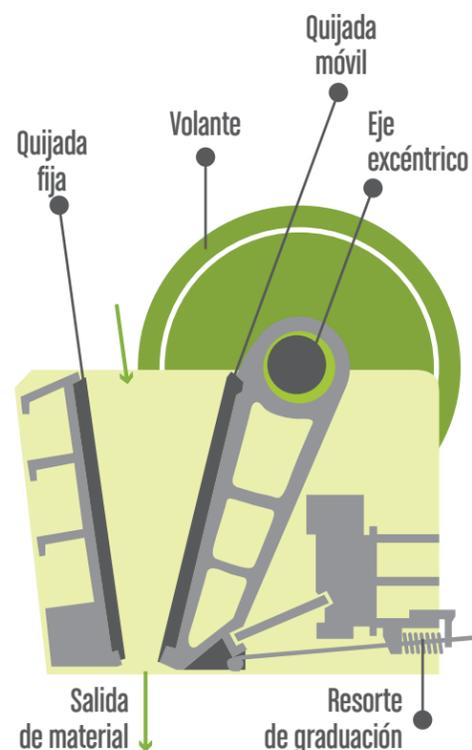
#### TRITURADORA DE QUIJADAS

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.

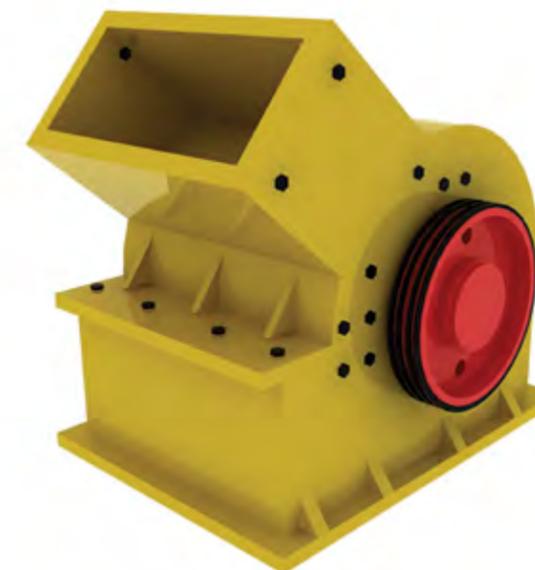


| VARIABLES DE ENTRADA                         |
|--|
| · Ángulo de pellizco                         |
| · Diámetro mineral inicial                   |
| · Diámetro mineral final                     |
| · Índice de Bond (kWh/t)                     |
| · Coeficiente de variación de peso           |
| · Densidad mineral                           |
| · Eficiencia                                 |
| · Múltiplo de variación de longitud de boca. |

| VARIABLES DE OPERACIÓN         |
|--------------------------------|
| · Ancho de abertura de la boca |
| · Longitud de la boca          |
| · Altura de la pared delantera |
| · Capacidad (t/h)              |
| · Velocidad (rpm)              |
| · Velocidad crítica (rpm)      |
| · Velocidad óptima (rpm)       |
| · Potencia requerida (HP)      |

**No se aplica la trituración secundaria en el proceso de beneficio. Es muy importante que se lleven a cabo las dos operaciones unitarias, para que se complementen, lo cual evita gastos innecesarios de energía, demoras en tiempo de operación y bajo control de la molienda.**

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



### 5.1.2.2. TRITURACIÓN SECUNDARIA (FINA)

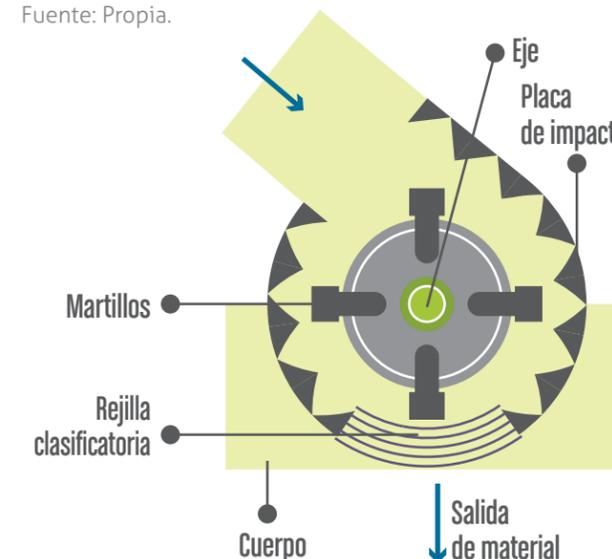
Después de la trituración gruesa, el material se somete con frecuencia a una trituración siguiente, en las máquinas de trituración media y fina, en las cuales el proceso se realiza con el tamaño de salida de la trituración primaria hasta tamaños tan pequeños como de 10 mm. Para la trituración media y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

#### TRITURADORA DE IMPACTO (MARTILLOS)

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

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

Figura 5.4: Diagrama de funcionamiento de trituradora de martillos. Fuente: Propia.



| MODELO      | TAMAÑO DE ALIMENTACIÓN (mm) | TAMAÑO DE DESCARGA (mm) | CAPACIDAD (t/h) | POTENCIA DEL MOTOR (kw) | PESO (kg) |
|-------------|-----------------------------|-------------------------|-----------------|-------------------------|-----------|
| 400 x 300   | < 100                       | <10                     | 5-10            | 11                      | 800       |
| 600 x 400   | <120                        | <15                     | 10-25           | 18.5                    | 1500      |
| 800 x 600   | <120                        | <15                     | 20-35           | 55                      | 3100      |
| 1000 x 800  | <200                        | <13                     | 20-40           | 115                     | 7900      |
| 1000 x 1000 | <200                        | <15                     | 30-80           | 132                     | 8650      |
| 1300 x 1200 | <250                        | <19                     | 80-200          | 240                     | 13600     |

### 5.1.2.3. MOLIENDA

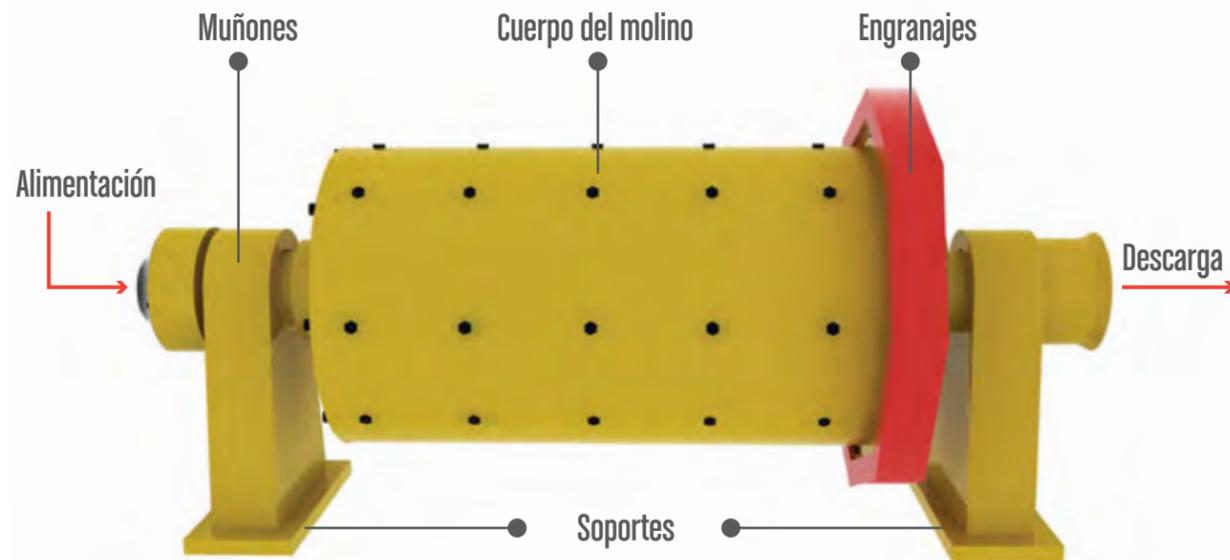
Es la operación final del proceso de conminución, y consiste en reducir de tamaño partículas procedentes de la trituración media o fina (con dimensiones por debajo de 20 mm) hasta un tamaño que se encuentra en el rango 28-200 mallas Tyler en la molienda gruesa, y menores de 325 mallas en la molienda 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 moledores (bolas de acero, barras y cilindros de acero o guijarros, etc.). Durante la rotación del tambor, los medios moledores son arrastrados conjuntamente por la superficie de las paredes bajo la acción de la fuerza centrífuga y la fuerza de rotación a una altura determinada, y luego se deslizan o caen libremente y muelen el material por impacto, aplastamiento y fricción.

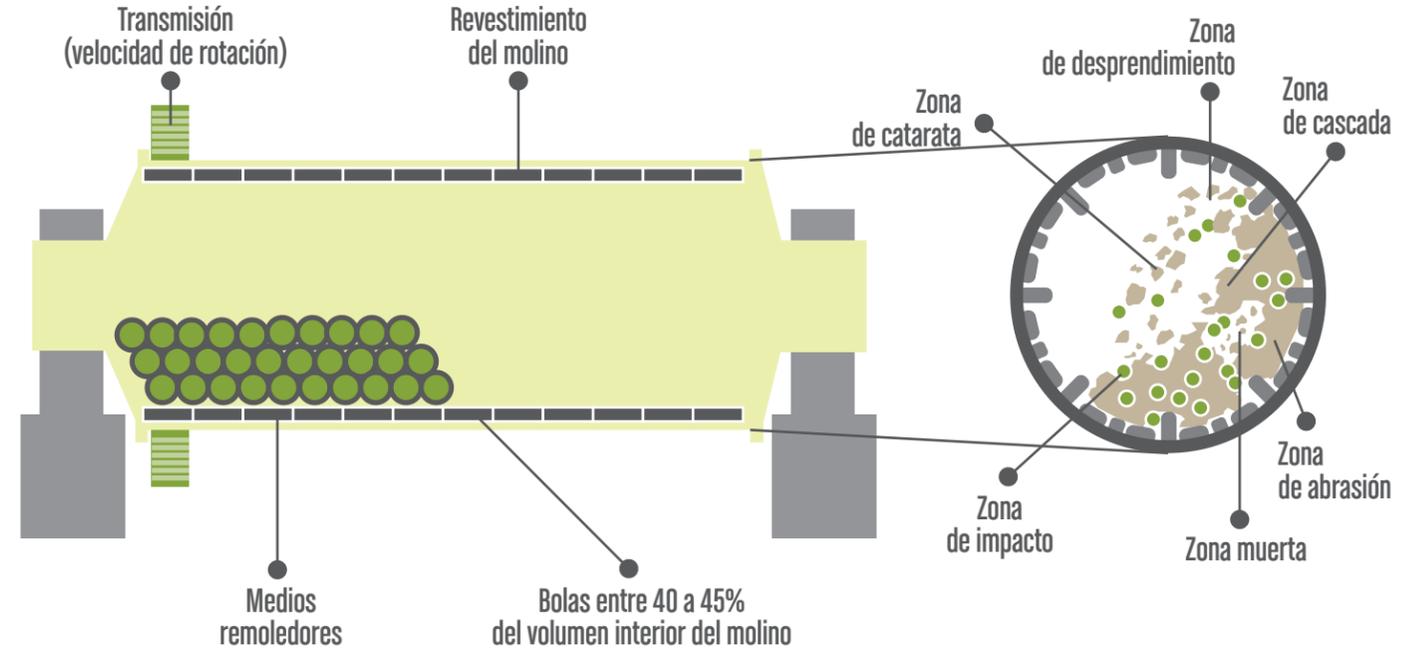
Las bolas (cuerpo moledor) están completamente sueltas, móviles y son relativamente grandes o pesadas, comparadas con las partículas de material que se molerá. Los medios moledores (bolas) son arrastrados y levantados por la rotación del tambor, en un ángulo tal que la fuerza de gravedad (su propio peso) 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 moledores se mantengan adheridos a la pared del molino y no caigan antes de dar un giro completo.**

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

V<sub>c</sub> = Velocidad crítica del molino, rpm  
D<sub>c</sub> = 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 evidencia que el sistema de molienda utilizado en esta planta son barriles moledores o, en algunos casos, un molino chileno. El proceso no funciona como un proceso continuo. Esto obliga a incurrir en gastos de tiempo y personal para la carga del molino.

Con un tamaño de partícula en un rango de 106 a 75 micrones se encontró que el 75% de los sulfuros estaban liberados. En un tamaño de 45 micrones se habían liberado el 90% de ellos. La remolienda ultrafina (< 20 micras) es fundamental para alcanzar recuperaciones superiores al 90% en la 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

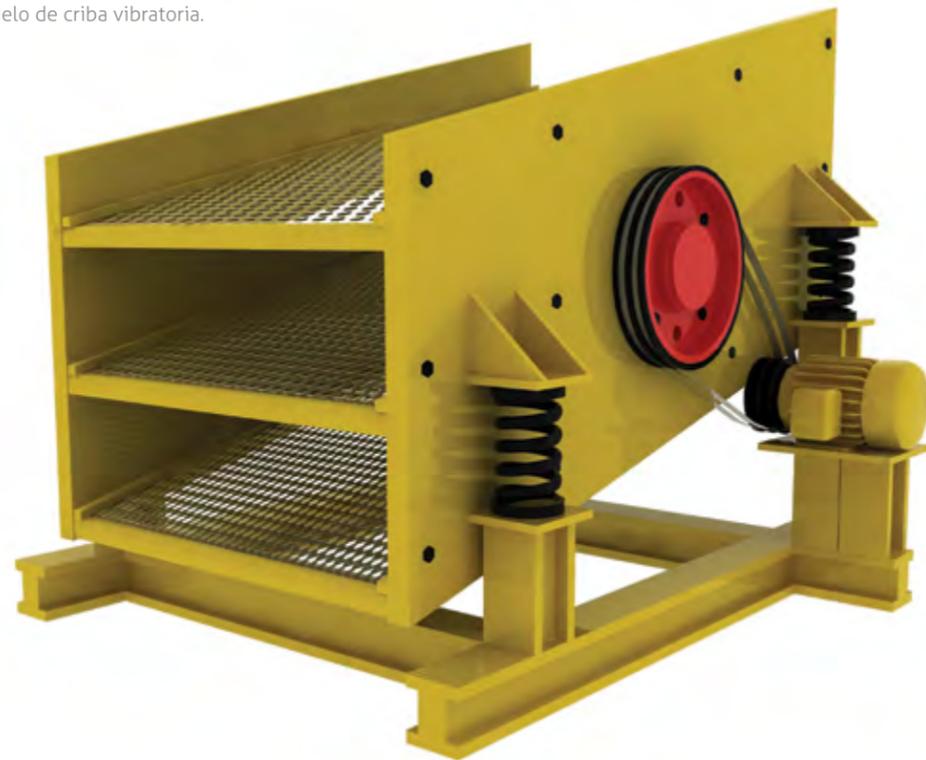
#### VARIABLES DE OPERACIÓN

- 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.



#### HIDROCICLÓN

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 evacuarse el material fino, mientras que por la descarga saldrán las partículas más gruesas de la distribución granulométrica que ingreso al equipo.

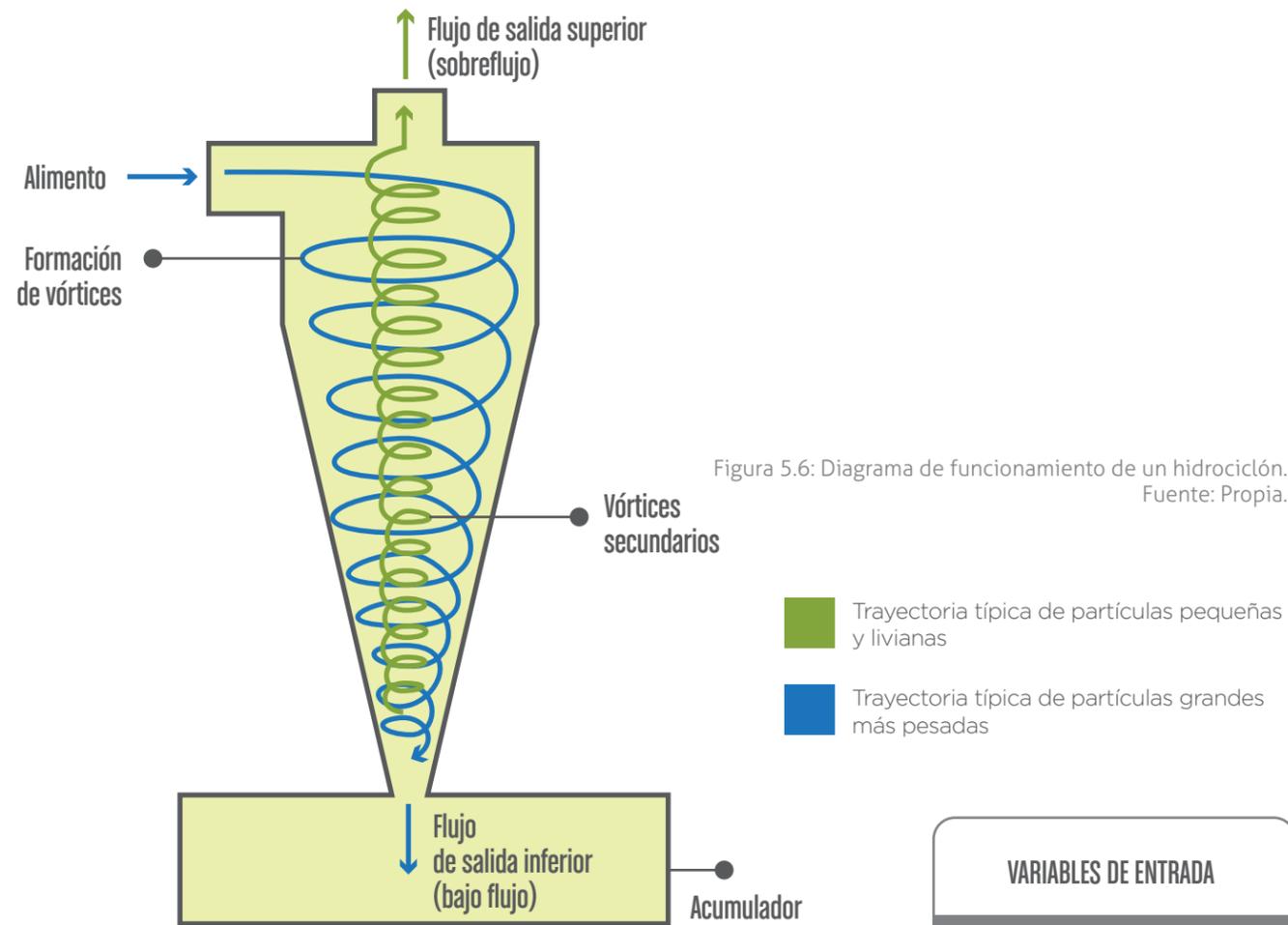


Figura 5.6: Diagrama de funcionamiento de un hidrociclón. Fuente: Propia.

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

| VARIABLES DE OPERACIÓN |                            |
|------------------------|----------------------------|
| · Peso de la pulpa     | · Diámetro rebosadero      |
| · Densidad de la pulpa | · Diámetro de alimentación |
| · Caudal de pulpa      | · Diámetro de descarga     |
| · Diámetro cilíndrico  |                            |

| 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 (m³) | CAUDAL (m³/h) | PRESIÓN MÁX: (Kg/cm²) |
|----------|---------------|-------------|-----------|--------------|---------------|-----------------------|
| 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

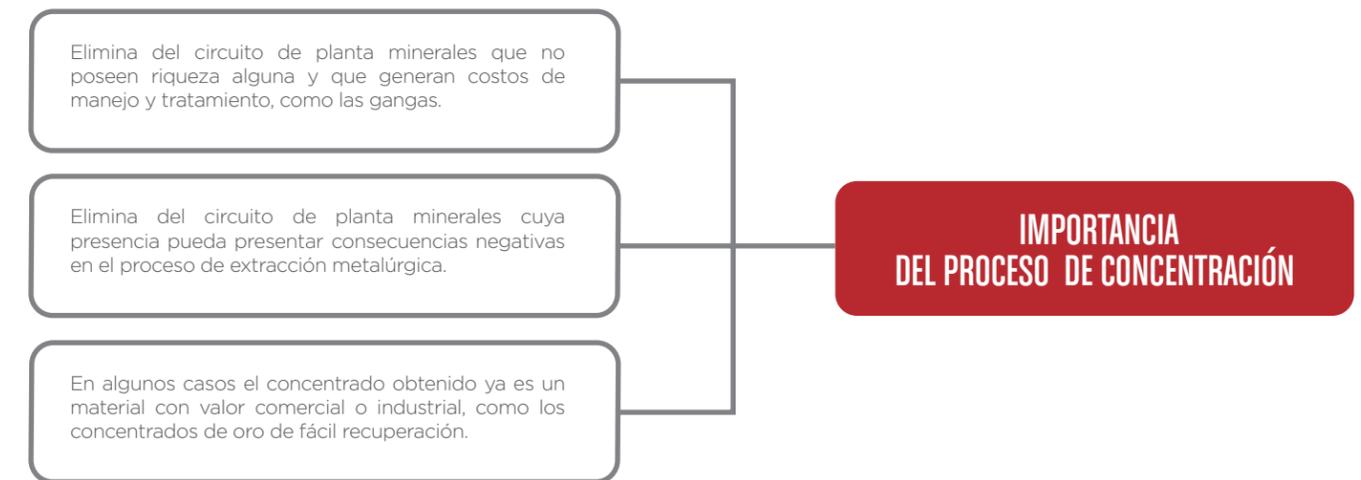
El objetivo principal de la concentración es el de enriquecer el mineral eliminando la ganga y minimizando en lo posible la pérdida de mineral.

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/m³).

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

Ahora, el objetivo de la concentración es elevar el tenor de una especie mineralógica de un metal u otro material en el concentrador, partiendo del tenor de alimentación.

En el caso ideal, el tenor del material útil en 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.



### 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 = | SEPARACIÓN  |
|---------------|-------------|
| + 2.50        | Fácil       |
| 1.75-2.50     | Posible     |
| 1.50-1.75     | Difícil     |
| 1.25-1.50     | Muy difícil |
| <1.25         | No posible  |

### MESAS DE CONCENTRACIÓN (MESA WILFLEY)

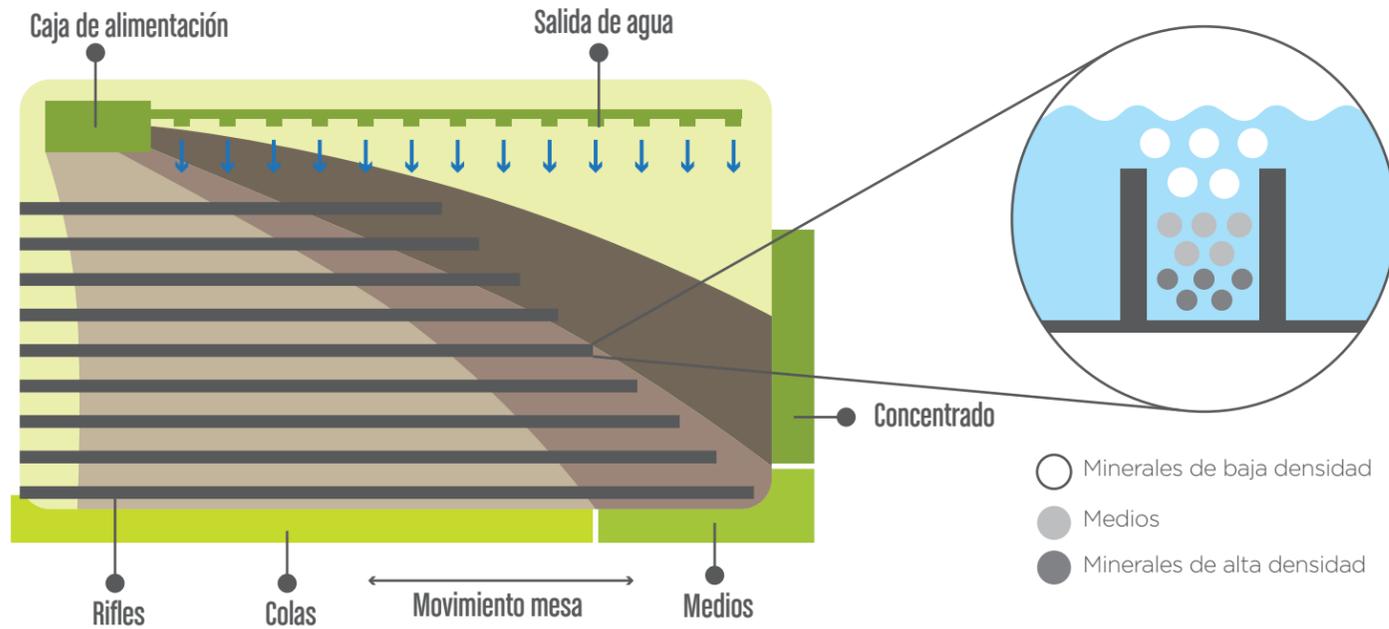
Este concentrador consiste en una mesa ligeramente inclinada, sobre la cual la alimentación con un porcentaje de casi un 25% en peso de sólidos se introduce en la caja de alimentación y se distribuye por medio del agua de lavado que se introduce a lo largo de la superficie por el lado de la alimentación. 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 10: Modelo de mesa de concentración. Fuente: Propia.



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



| TAMAÑO EN MICRONES | CAPACIDAD (t/h) |
|--------------------|-----------------|
| 750-250            | 1.5-3           |
| 400-150            | 1-2             |
| 200-75             | 0.5-1           |
| 100-40             | 0.2-0.5         |

| VARIABLES DE DISEÑO             |
|---------------------------------|
| · Geometría de la mesa          |
| · Material de la superficie     |
| · Rifles (forma y distribución) |
| · Aceleración de sacudidas      |
| · Velocidad del motor           |

| VARIABLES DE OPERACIÓN                |
|---------------------------------------|
| · Inclinación e la mesa               |
| · Densidad de la pulpa alimentada     |
| · Caudal de agua de lavado            |
| · Ubicación del punto de alimentación |

### 5.1.6. CONCENTRACIÓN DE MINERALES AURÍFEROS POR FLOTACIÓN

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



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

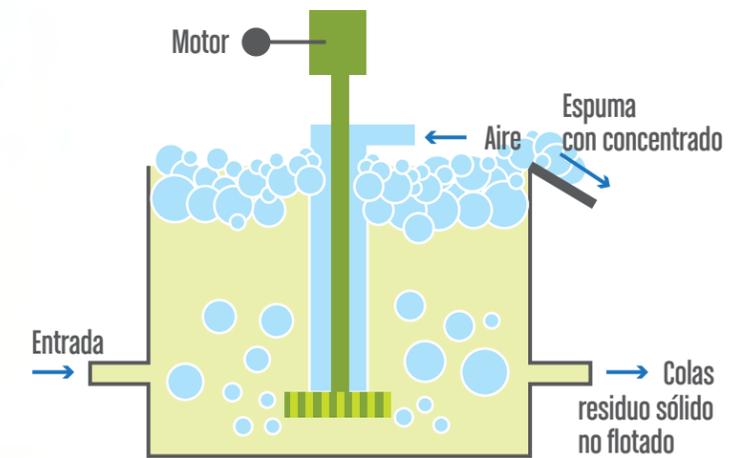


La flotación espumante se basa en la capacidad que tiene la superficie de un sólido de ser humectada o no por el agua.

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



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

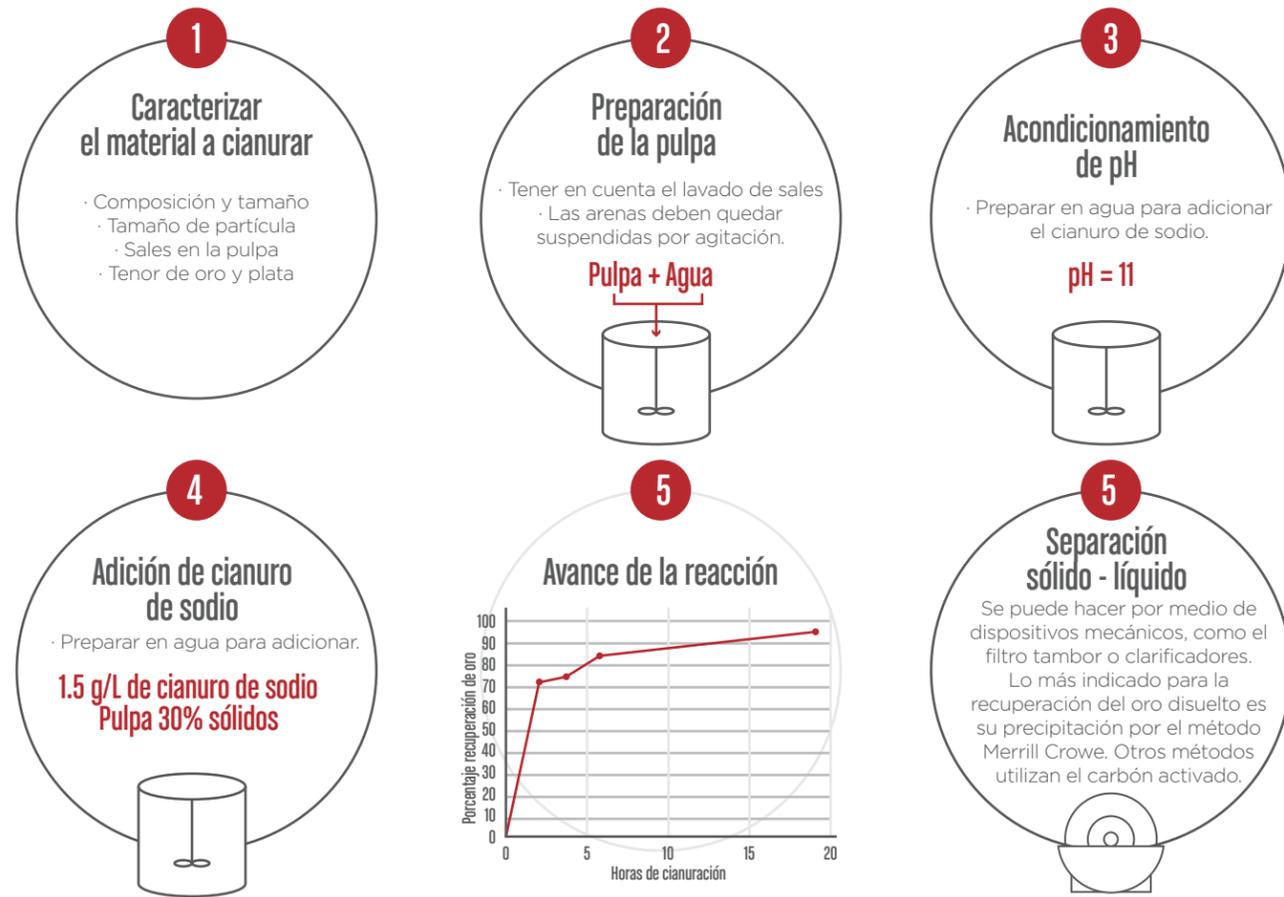
## 5.1.7. CIANURACIÓN

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



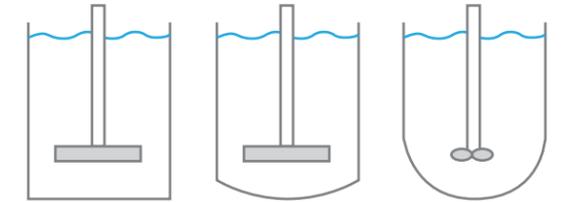
La cianuración es fuertemente afectada por el pH de la solución. Es esencial que la solución de cianuro se mantenga alcalina (altos pH) durante la lixiviación del oro, por las siguientes razones:

- 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

**Para lograr recuperaciones superiores al 90% en la cianuración es fundamental realizar pretratamientos oxidativos y de lavado de sales. Los tiempos de cianuración se pueden incrementar hasta en tres veces respecto de los de cianuraciones normales.**

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

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



### VARIABLES DE ENTRADA

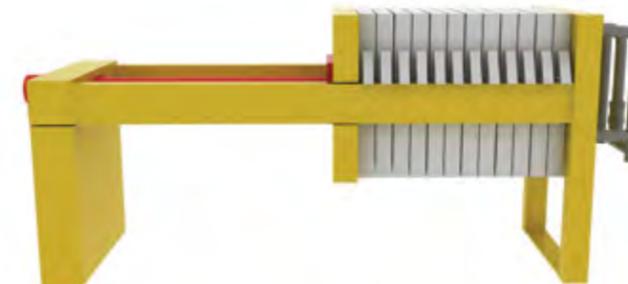
- Densidad del sólido (kg/m<sup>3</sup>)
- Densidad del fluido (kg/m<sup>3</sup>)
- Volumen de la solución (l)
- Velocidad del impulsor (rpm).
- Tipo de fondo del tanque: plano, plato, esférico
- Tipo de impulsor: Hélice paso cuadrado, 3 palas; Hélice paso de 2, 3 palas; Turbina, 6 palas planas; Turbina,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

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



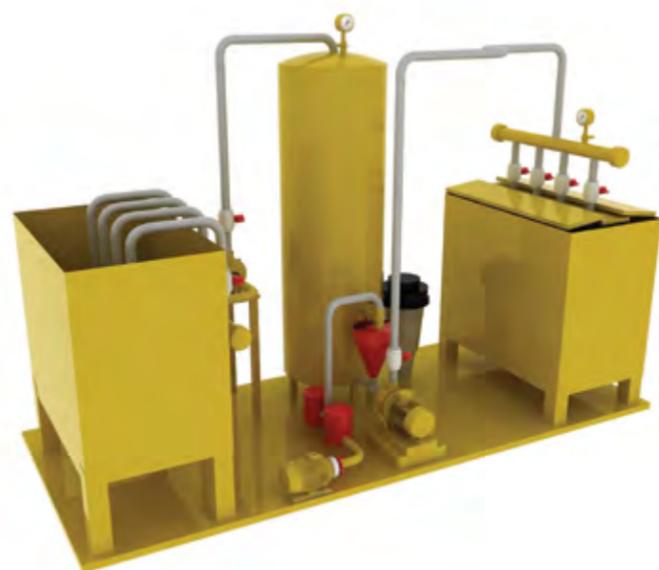
### 5.1.7.1. PRECIPITACIÓN POR EL PROCESO DE MERRIL CROWE

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.

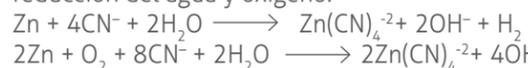
Durante la precipitación de oro en zinc, la solución aurífera entra en contacto con el zinc y, espontáneamente, dado que el zinc es mucho más electropositivo que el oro, ocurre un intercambio por medio del cual el zinc metálico se va solubilizando en la solución, mientras el oro se va precipitando desde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



Fotografía 15: 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:



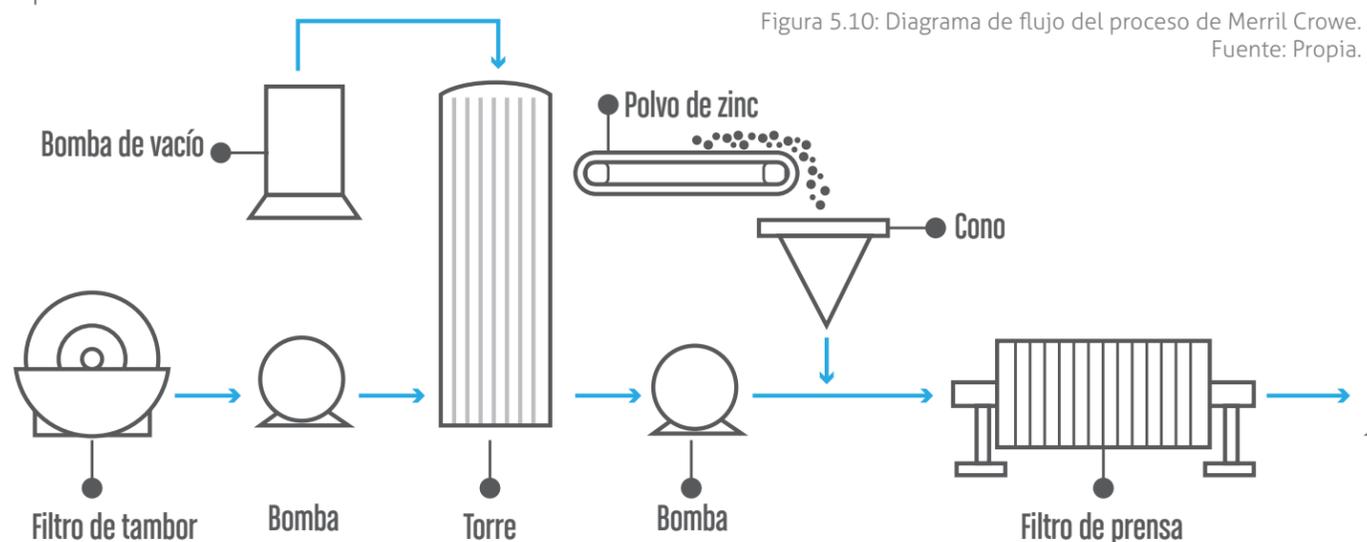
En las condiciones que se aplican típicamente en la industria se ha encontrado que la transferencia de masa es el paso determinante para el proceso de precipitación. Por ello es fundamental que el zinc presente una extensa y limpia superficie de reacción (se recomienda zinc en polvo).

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 5.10: Diagrama de flujo del proceso de Merrill Crowe.  
Fuente: Propia.



### 5.1.8. FUNDICIÓN

El objetivo de esta operación es procesar los cementos (precipitados de cianuración) de metales preciosos para obtener barras (lingotes) comerciales de oro 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

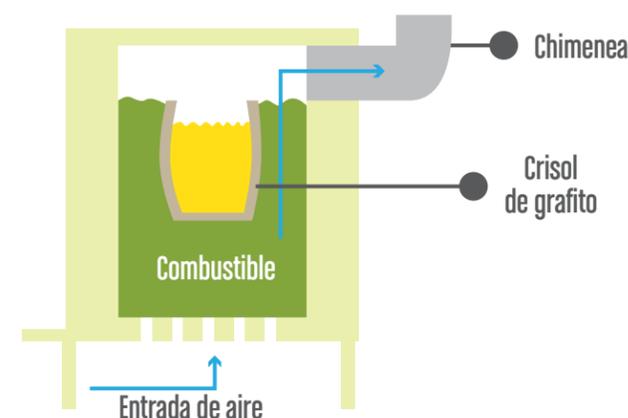
#### FUNDICIÓN DIRECTA

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



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

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

## 6. ASPECTOS QUÍMICO-AMBIENTALES

En el campo de la metalurgia en Colombia, el beneficio de metales preciosos, principalmente el oro, tiene un impacto negativo sobre el medio ambiente, que se refleja especialmente en la contaminación de suelos y fuentes hídricas por la presencia de compuestos tóxicos y metales pesados (específicamente el mercurio como fuente primaria de contaminación) resultantes de las diferentes técnicas de beneficio que no son controladas. Para remediar tal impacto ambiental se debe seguir una serie de procesos que incluyan la identificación y cuantificación de los compuestos contaminantes y su posterior tratamiento y eliminación, acompañados de una propuesta metalúrgica de beneficio sostenible, implementando metodologías con un adecuado manejo ambiental.

Para esta implementación, el estudio químico-ambiental se concentra en la evaluación del impacto que la actividad minera tiene sobre el equilibrio del medio ambiente, especialmente se concentra en la información obtenida a través de análisis relacionados, sobre todo, con la caracterización del contenido de metales pesados, como el mercurio, y la presencia de otros agentes contaminantes presentes en muestras sólidas y líquidas obtenidas de los sedimentos activos tomados de las zonas donde hay una mayor incidencia de la actividad de beneficio de oro. La estructura del estudio ambiental va de la mano de la caracterización geometalúrgica de la zona. Esto se debe a que el aporte de algunos elementos tóxicos o compuestos contaminantes puede tener origen en la formación geológica, y no en la explotación minera para el beneficio de los metales preciosos.

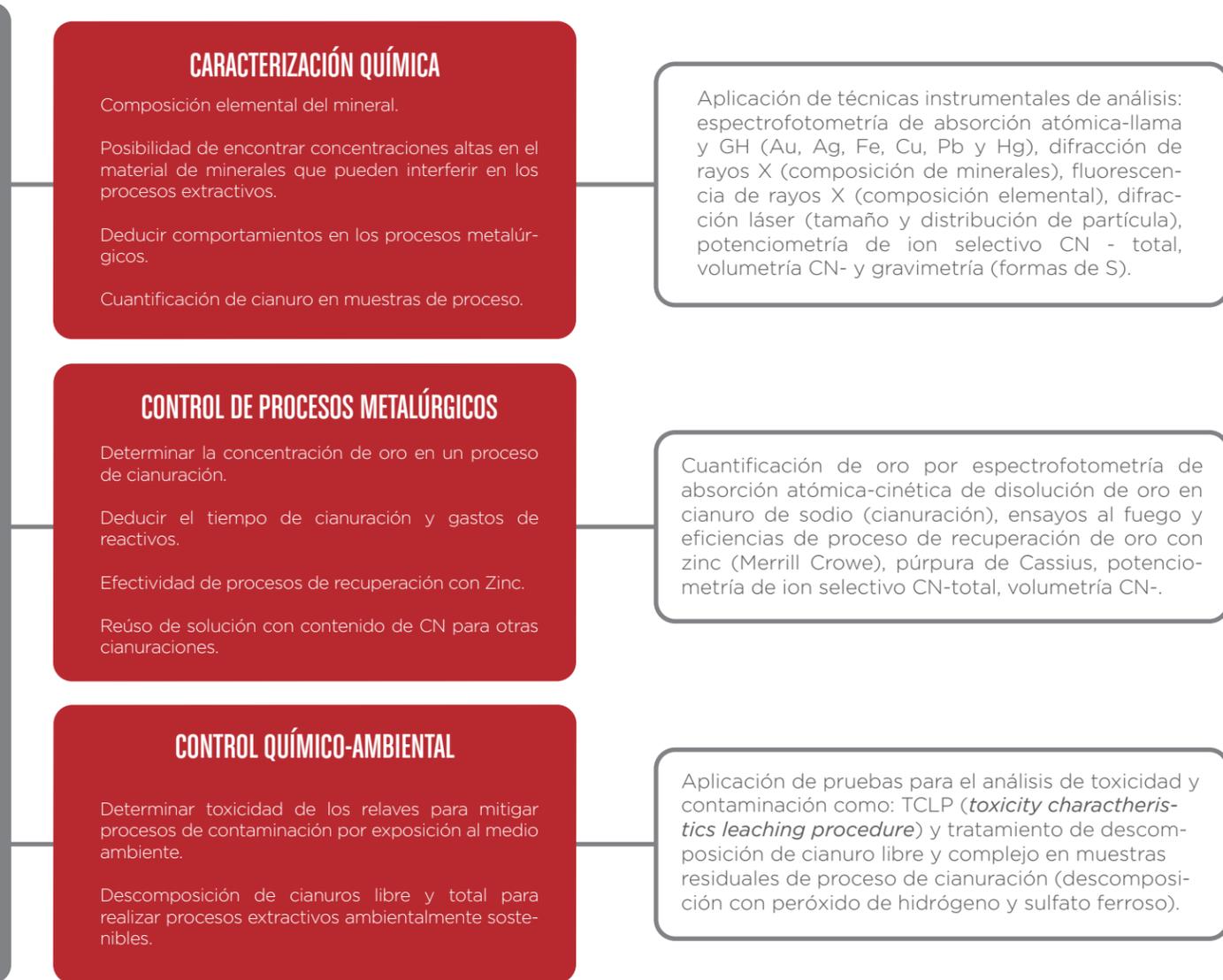
## 6. ASPECTOS QUÍMICO - AMBIENTALES

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.



## 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 (Hg<sup>0</sup>), las de tipo inorgánico (Hg<sup>+</sup>, Hg<sup>2+</sup>) y las orgánicas. El metilmercurio (HgCH<sub>3</sub>) y el dimetilmercurio (Hg(CH<sub>3</sub>)<sub>2</sub>) 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 (Hg(CN)<sub>2</sub> y Hg(CN)<sub>4</sub>). La lixiviación de complejos cianuro-mercurio (usualmente en forma Hg+2) incrementa la concentración de mercurio en las aguas subterráneas (Coles y Cochrane, 2006).

#### 6.2.1.1 CICLO DE MERCURIO

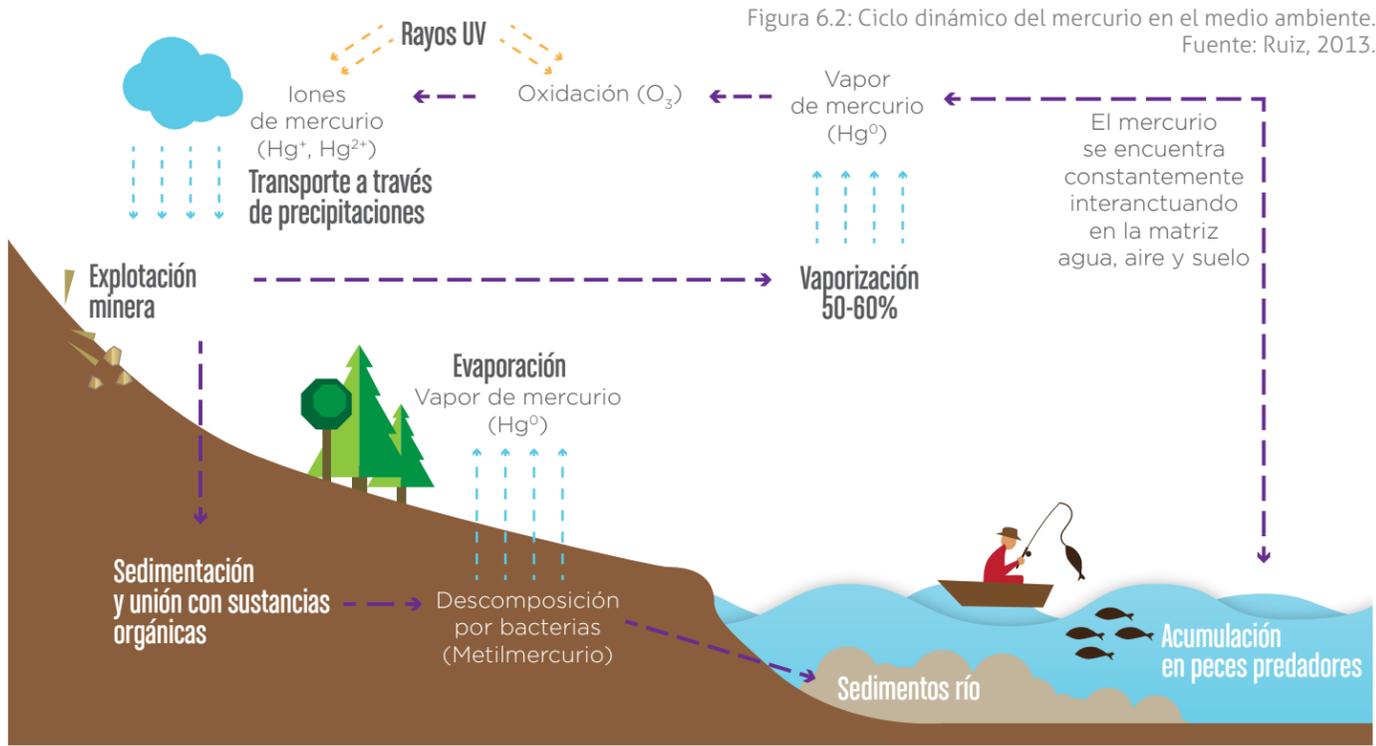


Figura 6.2: Ciclo dinámico del mercurio en el medio ambiente.  
Fuente: Ruiz, 2013.

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.

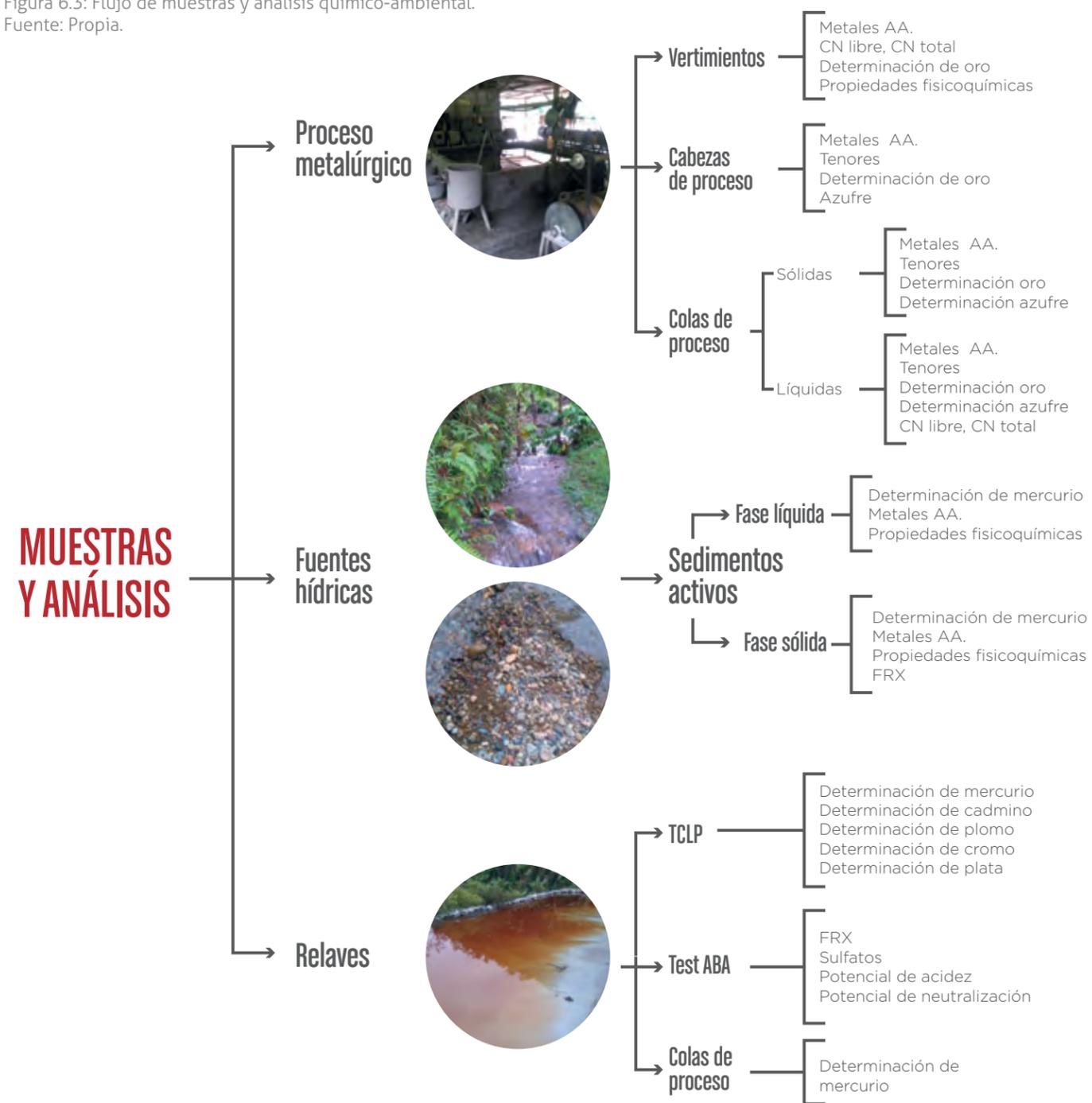
La ley establece incentivos focalizados en el sector minero, con los que se busca eliminar el uso del mercurio. Cabe resaltar que los dueños de las plantas de beneficio de oro podrán solicitar créditos blandos al Banco Agrario y Finagro, u otra agencia del Estado especializada, para reducir y eliminar 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 influenciadas 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.

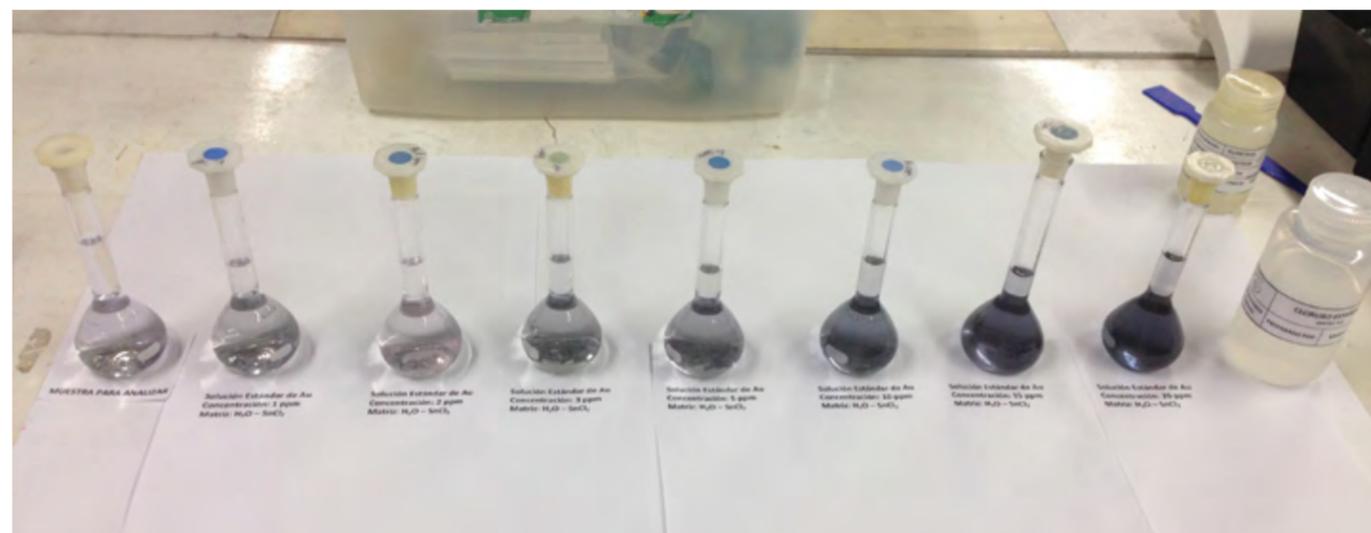
Generalmente, las muestras provienen de diversos orígenes, y las más frecuentes son las muestras de aguas, efluentes, rocas, suelos, etc. Como todas las matrices varían, son diferentes en su composición intrínseca y en su respuesta al tratamiento previo de adecuación a la medición por llama.

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

### 6.2.4.3. POTENCIOMETRÍA DEL ION CIANURO

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

Una de estas 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.

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.

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.



TITULACIÓN DE CIANURO LIBRE

DESTILACIÓN DE LA SOLUCIÓN

RESULTADO E INTERPRETACIÓN

## 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.

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

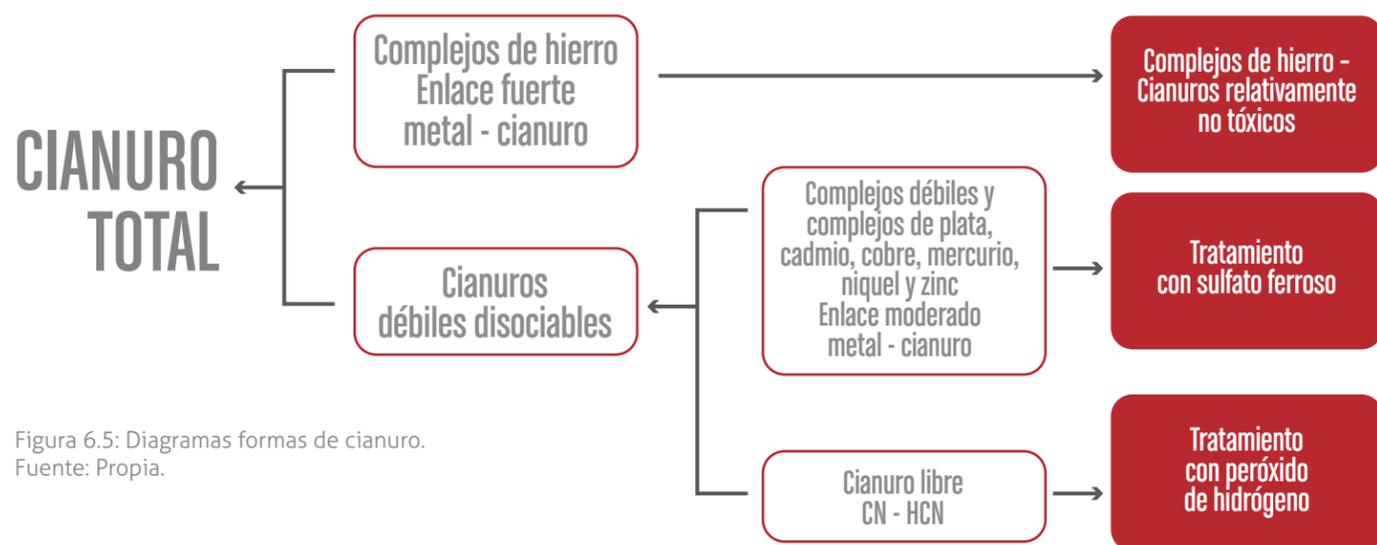


Figura 6.5: Diagramas formas de cianuro. Fuente: Propia.

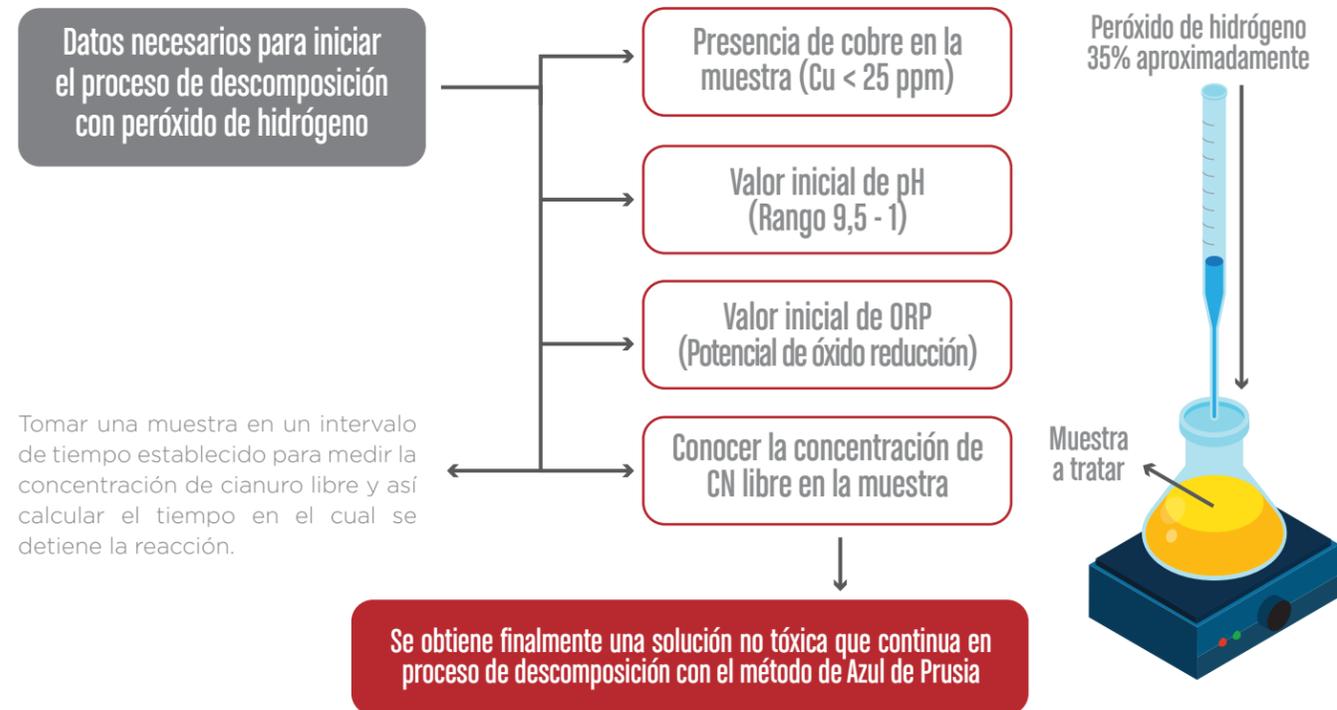
### 6.2.5.2. TRATAMIENTOS DE DESCOMPOSICIÓN: USO DEL PERÓXIDO DE HIDRÓGENO Y SULFATO FERROSO

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.

Se obtiene finalmente una solución no tóxica que continúa en proceso de descomposición con el método de Azul de Prusia

### 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:

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

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

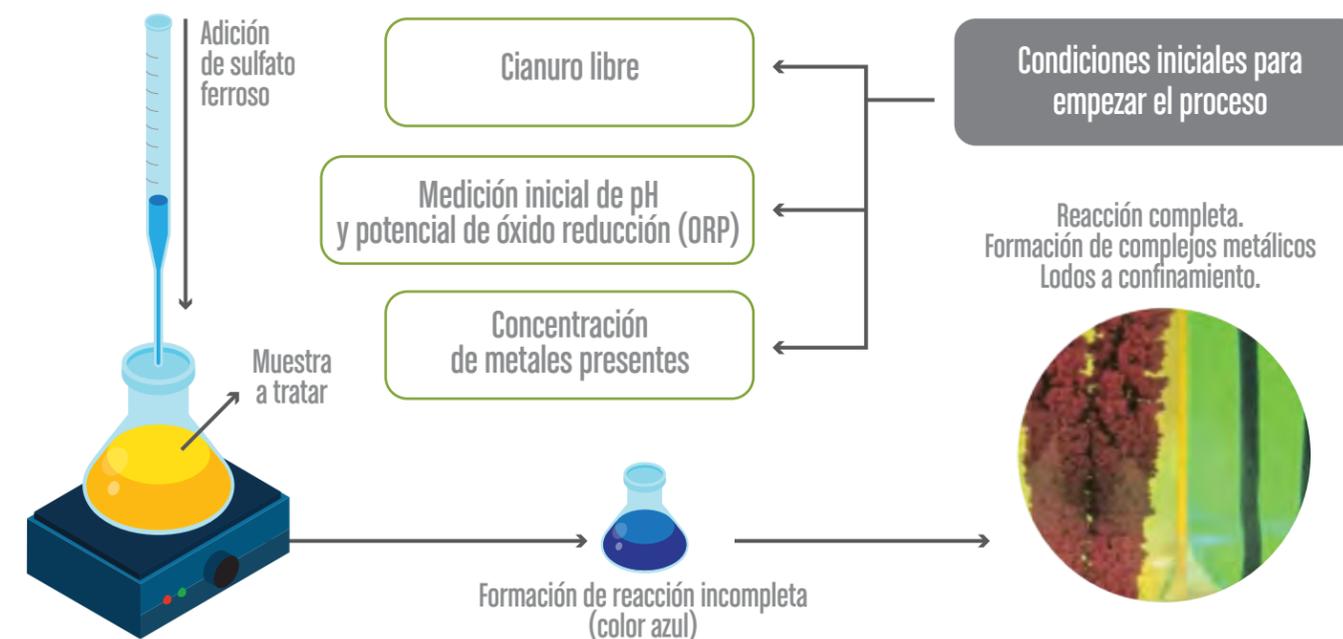
Fórmula para el consumo de peróxido, relación 5 a 8 veces:

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

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

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 (todo) 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:

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

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

Los reactivos usados son de grado comercial.

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

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

X moles CN/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 FISICOQUÍMICAS 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 Characteristics Leaching Procedure)**

El análisis de TCLP es una prueba de lixiviación que mide la liberación de contaminantes en un residuo sólido cuando entra en contacto con fases líquidas.

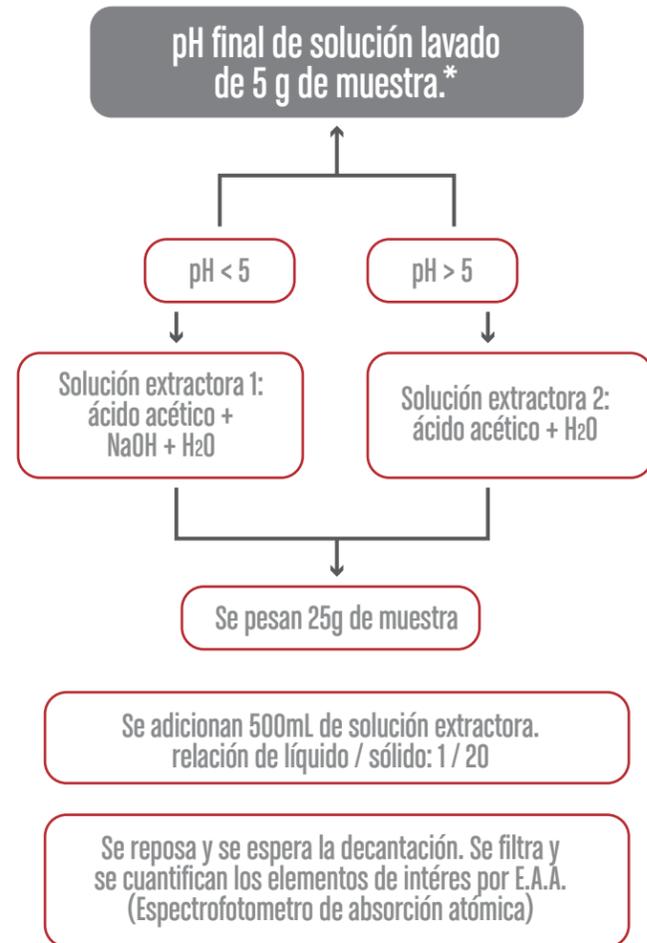
Hace parte de las pruebas de interés para residuos de beneficio de minerales auríferos, junto con las pruebas de reactividad de cianuros y sulfuros.

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. SECTORES DE MUESTREO

Se desarrolla un estudio químico ambiental en el distrito minero de Suárez con la finalidad de evaluar el impacto ambiental generado principalmente por el uso de mercurio y de cianuro. Se tomaron como puntos de referencia en el municipio de Suárez, en las plantas de beneficio La Principal, El Tamboral y El Danubio. Como fuentes hídricas figuraron las quebradas Guayavilla, Dios le Dé, El Danubio y Agua Limpia. En el municipio de Buenos Aires el estudio se enfocó en la actividad minera generada por la planta de beneficio Potosí, y como afluente de interés influido, el río La Teta.

En el municipio de El Tambo se visitó la planta de beneficio el Trío 2, y como fuente hídrica afectada se consideró el río Sucio. En las plantas de beneficio se hizo muestreo de relaves y vertimientos. En las quebradas y ríos se tomaron sedimentos activos y aguas de corriente de los sedimentos activos.

#### SECTOR DE SUÁREZ

Fotografía 18: Panorámica del embalse la Salvajina, representativo de Suárez (Cauca). Fuente: Propia.



Relaves planta de beneficio La Principal, quebradas Guayavilla y Dios le De influenciadas por la actividad de la planta La Principal.

Canchas de relaves El Tamboral

Canchas de relaves El Danubio

SECTOR DE BUENOS AIRES

Fotografía 19: Vista del cerro de la Teta, representativo de Buenos Aires (Cauca). Fuente: Propia.



Relaves planta Potosí y barriles amalgamadores de la planta Potosí. Río La Teta afectado por la actividad de la planta Potosí.

SECTOR DE EL TAMBO

Fotografía 20: Panorámica de patio de relaves en El Tambo (Cauca). Fuente: Propia.



Canchas de relaves planta de beneficio el Trio 2

## 6.3.2. ENSAYOS QUÍMICOS Y AMBIENTALES

### MUNICIPIO SUÁREZ

En la caracterización del contenido de metales ambientalmente representativos en las muestras de los municipios de Suárez, Buenos Aires y El Tambo se cuantificaron, para los relaves de las plantas de beneficio y los sedimentos activos sólidos, concentraciones altas de arsénico, plomo, zinc, cobre, hierro, calcio y manganeso.

Figura 6.9: Valores encontrados para los sedimentos activos y los sedimentos asociados a la planta La Principal. Fuente: Propia.

| DESCRIPCIÓN | CABEZA PROCESO | COMPOST DE RELAVE PLANTA | SÓLIDO UNIÓN DE QUEBRADAS |
|-------------|----------------|--------------------------|---------------------------|
| As (mg/kg)  | 41947,57       | 8621,1                   | 298,02                    |
| Pb (mg/kg)  | 84,2           | 280,5                    | D.L.C.                    |
| Zn (mg/kg)) | 2604,46        | 5871,7                   | 521,51                    |
| Cu (mg/kg)  | 4391,1         | 2673,2                   | 129,81                    |
| Mn (mg/kg)) | 1926,89        | 1156,5                   | 2033,95                   |
| Fe %        | 25,02          | 14,71                    | 14,134                    |
| Ca%         | 11,79          | 7,44                     | 3,32                      |
| Hg (ppm)    | N.A.           | 80,42                    | 2,35                      |

S.A. Sedimento activo D.L.C debajo del límite de cuantificación instrumental  
**As:** Arsenico **Zn:** Zinc **Mn:** Manganeso **Ca:** Calcio  
**Pb:** Plomo **Cu:** Cobre **Fe:** Hierro **Hg:** Mercurio

En la planta de beneficio La Principal se cuantifica la extracción de mercurio por un ataque ácido vía húmeda, se obtienen valores de 80.42 mg/L para el relave; en los sedimentos tomados aguas abajo de la actividad de la planta, en las quebradas Guayavilla y Dios le Dé, se tiene un contenido de 2.35 ppm en el sedimento sólido, y el agua del sedimento no presenta contenido (DLC). Los valores obtenidos evidencian un contenido de mercurio debido, probablemente, a la actividad de beneficio en la zona y una movilidad del metal en los sedimentos sólidos. El sedimento activo líquido no presenta movilidad.

En la planta de beneficio El Danubio se analiza el relave, y se identifica una concentración de mercurio de 0.08 ppm; este relave tiene un vertimiento que fluye a la quebrada El Danubio, y que aporta una concentración de 0.02 mg/L de Hg. Evaluando los sedimentos activos en la quebrada El Danubio, aguas arriba y aguas abajo del vertimiento y el relave, se cuantifica que para las muestras tomadas aguas arriba tienen la misma concentración de mercurio, con un valor de 0.08 ppm, tanto en el sedimento activo sólido como en el agua superficial del mismo punto, y en las muestras aguas abajo se encuentra la misma concentración en el sedimento activo sólido (0.08 ppm), pero el sedimento activo líquido no tiene presencia de mercurio.

Figura 6.10: Valores encontrados para los sedimentos activos y los sedimentos asociados a la planta El Danubio. Fuente: Propia.

| DESCRIPCIÓN | CABEZA PROCESO | MATERIAL RESIDUAL | SÓLIDO QUEBRADA AGUAS ABAJO | SÓLIDO QUEBRADA AGUAS ARRIBA |
|-------------|----------------|-------------------|-----------------------------|------------------------------|
| As (mg/kg)  | 750,79         | 698,5             | 952,36                      | 200,14                       |
| Pb (mg/kg)  | 203,31         | 80                | 43,05                       | 13,49                        |
| Zn (mg/kg)  | 160,85         | 94,4              | 99,75                       | 88,02                        |
| Cu (mg/kg)  | 53,17          | 38,3              | D.L.C.                      | D.L.C.                       |
| Mn (mg/kg)  | 672,18         | 529,0             | 492,64                      | 644,91                       |
| Fe %        | 5,93           | 4,89              | 4,942                       | 5,528                        |
| Ca%         | 3,68           | 2,18              | 1,655                       | 0,131                        |
| Hg (mg/kg)  | D.L.C.         | 0,08              | 0,08                        | 0,09                         |

S.A. Sedimento activo D.L.C debajo del límite de cuantificación instrumental  
**As:** Arsenico **Zn:** Zinc **Mn:** Manganeso **Ca:** Calcio  
**Pb:** Plomo **Cu:** Cobre **Fe:** Hierro **Hg:** Mercurio

El análisis indica que existe la presencia de mercurio aguas arriba del vertimiento del relave, que podría atribuirse a otro vertimiento del mismo relave o a un aporte de este metal por otra actividad minera ajena a la actividad de El Danubio, que se está acumulando y que tiene movilidad aguas abajo de la planta El Danubio.

La planta El Tamboral presenta una concentración elevada de mercurio en el relave, con un valor de 16.33 ppm; en las muestras de la quebrada Agua Limpia los sedimentos activos sólidos aguas arriba de dicha planta presentan una cantidad de 0.65 ppm de Hg, y los sedimentos líquidos del mismo punto no tienen contenido de mercurio. En el sedimento activo fase sólida aguas debajo de la planta El Tamboral se cuantificaron 6.58 ppm de Hg, y en el sedimento activo fase sólida del mismo punto no hubo presencia de mercurio. La ausencia de mercurio en muestras de sedimentos activos líquidos indica que no se tiene movilidad del metal en las aguas de la quebrada Agua Limpia.

Figura 6.11: Valores encontrados para los sedimentos activos y los sedimentos asociados a la planta El Tamboral.L. Fuente: Propia.

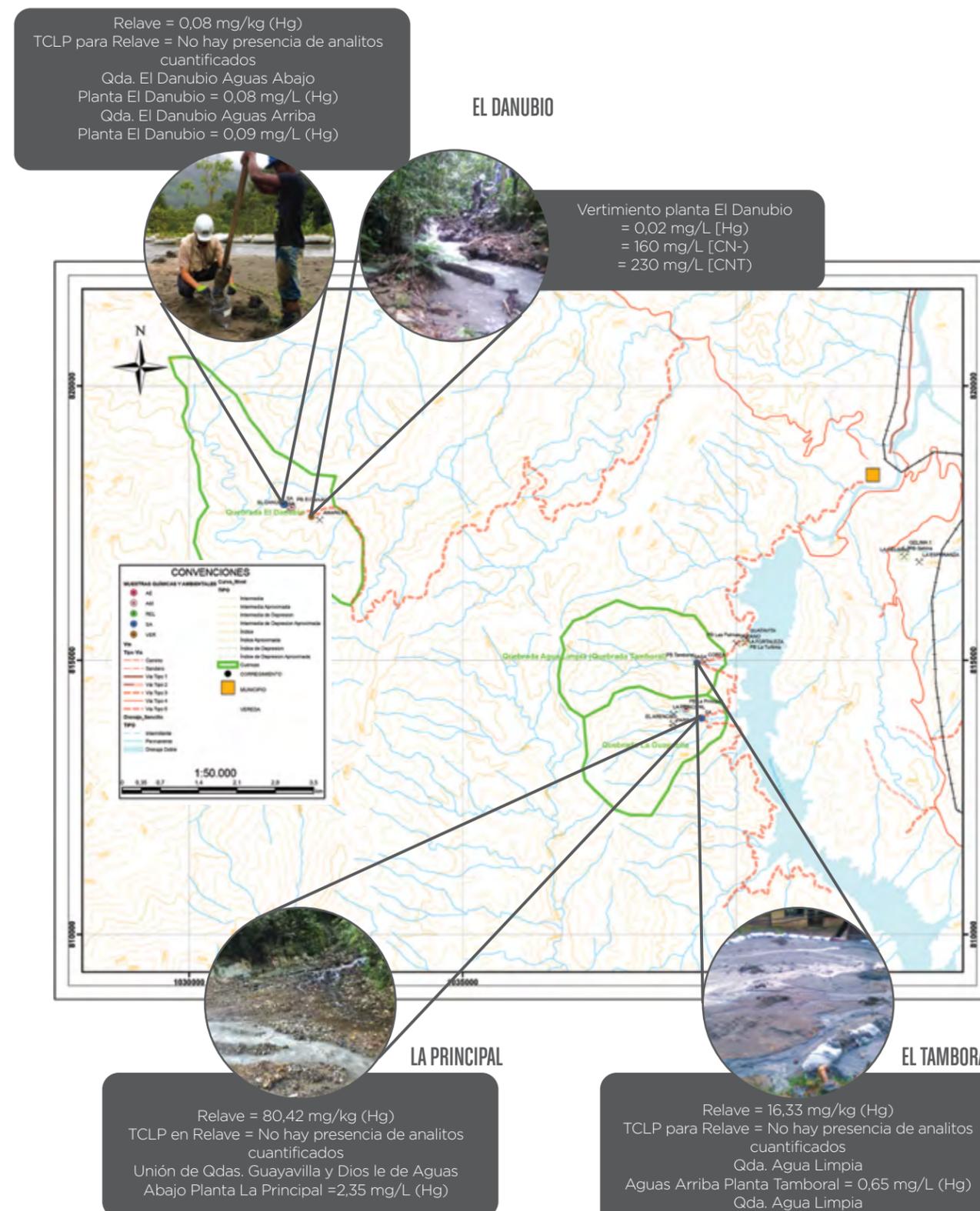
| DESCRIPCIÓN | COMPOST DE RELAVE PLANTA | SÓLIDO QUEBRADA AGUA LIMPIA AGUAS ARRIBA | SÓLIDO QUEBRADA AGUA LIMPIA AGUAS ABAJO |
|-------------|--------------------------|--|---|
| As (mg/kg)  | 1155,39                  | 285,41                                   | 333,69                                  |
| Pb (mg/kg)  | 24,98                    | D.L.C.                                   | D.L.C.                                  |
| Zn (mg/kg)  | 164,02                   | 210,85                                   | 188,86                                  |
| Cu (mg/kg)  | 128,34                   | 73,2                                     | 70,61                                   |
| Mn (mg/kg)  | 434,03                   | 1436,91                                  | 1040,86                                 |
| Fe %        | 5,8                      | 11,61                                    | 7,32                                    |
| Ca%         | 3,4                      | 2,03                                     | 3,93                                    |
| Hg (mg/kg)  | 16,33                    | 0,65                                     | 6,58                                    |

S.A. Sedimento activo D.L.C debajo del límite de cuantificación instrumental

As: Arsenico Zn: Zinc Mn: Manganeso Ca: Calcio  
Pb: Plomo Cu: Cobre Fe: Hierro Hg: Mercurio

El hallazgo de mercurio en el sedimento tomado aguas arriba de la planta El Tamboral es un indicador de actividad minera en la zona aledaña anterior a esta. De igual manera, la concentración de mercurio en la quebrada Agua Limpia, aguas abajo de la planta, revela la presencia de mercurio asociada a las actividades desarrolladas en El Tamboral.

Figura 6.12: Diagrama de la ubicación de los puntos de muestreo y los valores encontrados para el municipio de Suarez. Fuente: Propia.



**MUNICIPIO DE BUENOS AIRES**

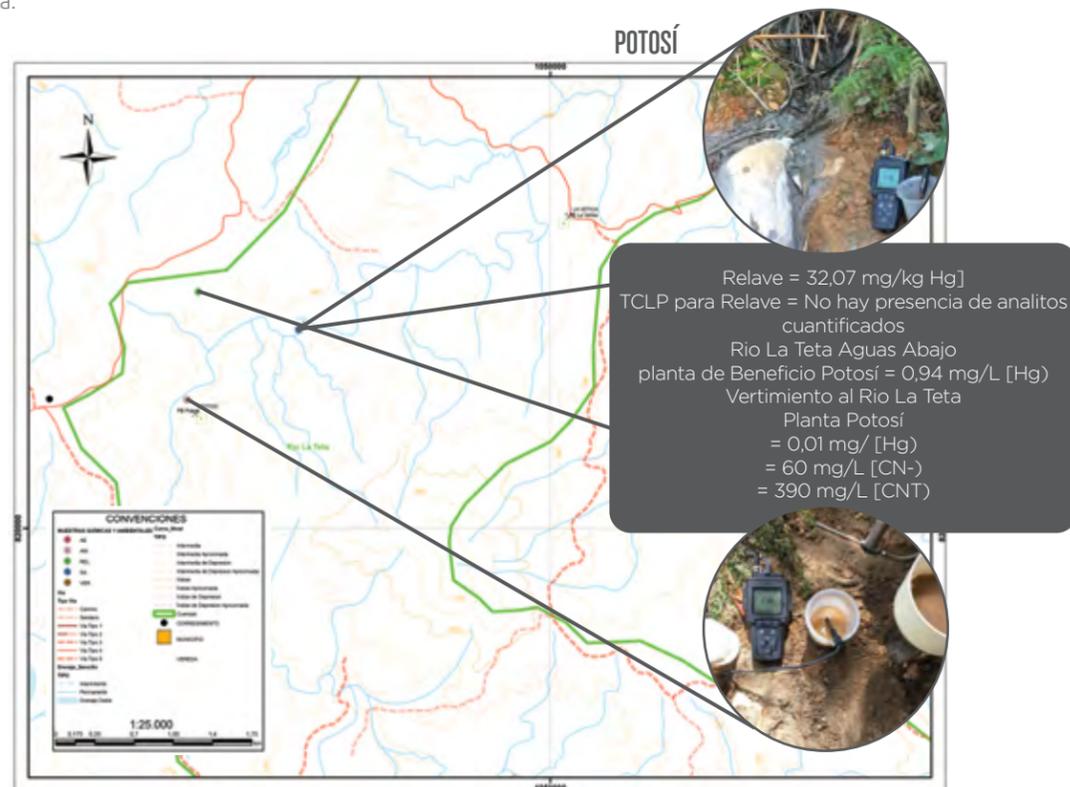
En la planta Potosí se detectó mercurio con valores de 32.07 mg/kg en el relave; en el vertimiento de la planta, que llega al río La Teta, tiene un contenido de 0.01 mg/L, y el agua que abastece la planta de beneficio Potosí de la quebrada La Arita no tiene presencia de mercurio. En los sedimentos activos, aguas abajo de la planta, en el río La Teta se identifica en la muestra sólida un contenido de 0.94 mg/kg de mercurio, y la muestra líquida del mismo punto no presenta mercurio. Según los resultados obtenidos, el punto de muestreo del río La Teta estudiado no presenta mercurio, mientras que el sedimento activo sólido evidencia acumulación de dicho metal.

Figura 6.13: Valores encontrados para los sedimentos activos y los sedimentos asociados a la Planta Potosí. Fuente: Propia.

| DESCRIPCIÓN | CABEZA PROCESO | COMPOST DE RELAVE PLANTA | SÓLIDO AGUAS ABAJO |
|-------------|----------------|--------------------------|--------------------|
| As (mg/kg)  | 3093,56        | 3396,1                   | 1183,29            |
| Pb (mg/kg)  | 307,4          | 108,1                    | 17,62              |
| Zn (mg/kg)  | 4507,91        | 314,3                    | 195,37             |
| Cu (mg/kg)  | 2075,17        | 691,5                    | 340,9              |
| Mn (mg/kg)  | 778,04         | 316,5                    | 873,25             |
| Fe %        | 14,91          | 8,83                     | 8,73               |
| Ca%         | 0,25           | 3,93                     | 1,10               |
| Hg (mg/kg)  | D.L.C.         | 32,07                    | 0,94               |

S.A. Sedimento activo. D.L.C debajo del límite de cuantificación instrumental  
**As:** Arsenico **Zn:** Zinc **Mn:** Manganeseo **Ca:** Calcio  
**Pb:** Plomo **Cu:** Cobre **Fe:** Hierro **Hg:** Mercurio

Figura 6.14: Diagrama de la ubicación de los puntos de muestreo y los valores encontrados para el municipio de Buenos Aires. Fuente: Propia.



**MUNICIPIO DE EL TAMBO**

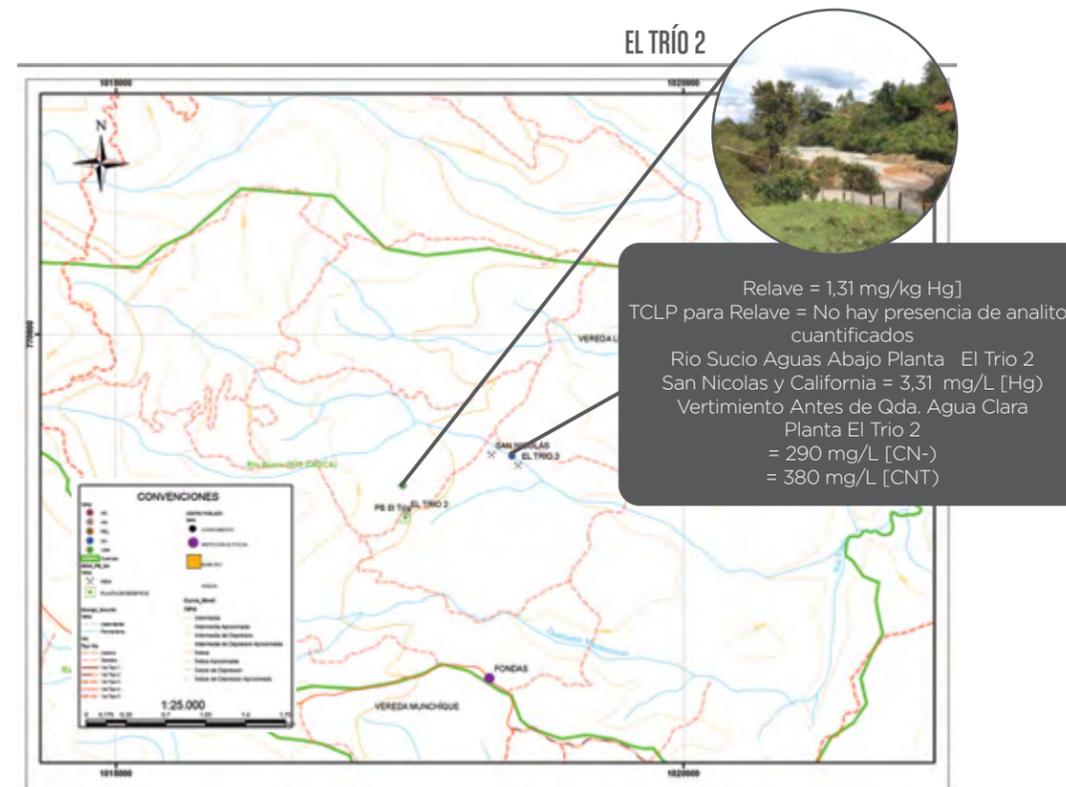
La planta El Trío 2 presenta una concentración de mercurio de 1.31 mg/kg en el relave muestreado. Los sedimentos activos sólidos tomados en el afluente de río Sucio contienen 3.13 mg/kg de mercurio, y en los sedimentos líquidos del mismo punto no se detectó mercurio, lo que indica que no hay movilidad del metal en la corriente. Relacionando los contenidos de mercurio en el relave y los sedimentos del río se puede establecer la probabilidad de que haya influencia de otras plantas mineras que usen mercurio en su proceso metalúrgico y que aumenten la concentración de mercurio aguas abajo de la planta El Trío 2.

Figura 6.15: Valores encontrados para los sedimentos activos y los sedimentos asociados a la Planta El Trío 2. Fuente: Propia.

| DESCRIPCIÓN | CABEZA PROCESO | CANCHA DE RELAVES | SÓLIDO AGUAS ABAJO PLANTA EL TRIO 2-SAN NICOLAS Y CALIFORNIA |
|-------------|----------------|-------------------|--|
| Pb (mg/kg)  | 143,74         | 970,6             | 138,36   |
| Zn (mg/kg)  | 306,52         | 850,3             | 119,26   |
| Mn (mg/kg)  | 208,49         | 228,2             | 592,8  |
| Fe %        | 1,23           | 2,58              | 4,50   |
| Ca%         | 3,63           | 1,54              | 0,77   |
| Hg (mg/kg)  | D.L.C          | 1,31              | 3,13   |

S.A. Sedimento activo D.L.C debajo del límite de cuantificación instrumental  
**As:** Arsenico **Zn:** Zinc **Mn:** Manganeseo **Ca:** Calcio  
**Pb:** Plomo **Cu:** Cobre **Fe:** Hierro **Hg:** Mercurio

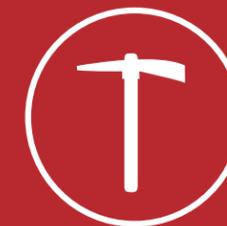
Figura 6.16: Diagrama de fuentes hídricas y vertimiento de mercurio El Tambo. Fuente: Propia.



### 6.3.3. OBSERVACIÓN GENERALIZADA

La evaluación de toxicidad en los relaves no mostró una concentración de metales por encima de lo permitido por el Decreto 4741 de 2005, aceptando que los contenidos de plata, cromo, plomo y cadmio están en concentraciones menores a las establecidas legalmente.

Un aspecto importante que influye en el estudio ambiental, por la composición mineralógica, es el contenido de carbonatos de calcio en las muestras, que se relaciona con los porcentajes de calcio cuantificados por FRX, donde se identifican valores que van de 0.25% a 11.79% en las muestras de cabeza de proceso, para muestras de relaves de 1.54% a 7.44%, y en los sedimentos, valores desde 0.77% hasta 3.93%. Este fenómeno se debe a que la formación de la roca encajante de la zona tiene una alteración hidrotermal propilítica muy rica en carbonatos de calcio, y en el momento de los procesos extractivos se mezcla con el material del proceso, lo que contribuye a que el drenaje de minas y los procesos metalúrgicos amortigüen el pH y no sea ácido.



### 6.4. CONSIDERACIONES QUÍMICO-AMBIENTALES

· En el municipio de Suárez se encontró mercurio en los relaves estudiados de las plantas La Principal, El Tamboral y El Danubio. En los sedimentos activos sólidos y líquidos de corriente en las quebradas influenciadas por la actividad minera de estas plantas se identifican concentraciones de mercurio apreciables y movilidad de mercurio solamente en sedimentos sólidos, en el caso de La Principal y El Tamboral. En El Danubio se presenta movilidad tanto en el sedimento sólido como en el afluente; además, se encontraron contenidos de cianuro en el vertimiento, que podrían formar complejos altamente contaminantes con mercurio presente en el sedimento, de conocida peligrosidad.

· En la planta de El Trío 2, sector de El Tambo, se encontraron contenidos de mercurio en los relaves y en los sedimentos sólidos aguas abajo del proceso, que presentaban movilidad del metal, lo cual pone en evidencia un aumento de la concentración de este metal por acumulación en el sedimento sólido.

· En el vertimiento generado por los relaves de la planta El Trío 2 se detectó la presencia de cianuro el cual necesita un proceso de descomposición.

· Los municipios estudiados presentan altos contenidos de calcio, lo que se relaciona con la presencia de carbonatos. Esto favorece la neutralización de los drenajes ácidos de mina, algo que queda en evidencia en las mediciones de pH en los sectores que presentan valores neutros con una tendencia básica.

· Según el procedimiento de lixiviación característica de toxicidad (TCLP), los residuos analizados presentan características de no peligrosidad para los elementos analizados, los cuales se encuentran dentro de los valores permitidos en el decreto 4741 de 2005.

#### 6.4.1. RECOMENDACIONES

· Se recomienda implementar, en las plantas de beneficio de El Danubio, Potosí y El Trío 2, un tratamiento para las soluciones residuales de proceso, enfocado en la descomposición de cianuro libre con peróxido de hidrógeno y la descomposición de cianuros complejos con la coprecipitación de metales utilizando sulfato ferroso, para así cumplir con la reglamentación establecida en el Decreto 631 de 2015 sobre la descarga de vertimientos generados por actividad minera.

· Se recomienda realizar un lavado de las arenas residuales generadas en los procesos de beneficio de minerales que presentan bajas concentraciones de calcio, como es el caso de las halladas en el sector de la mina La Gelima, antes de disponerlas en las de relaves.

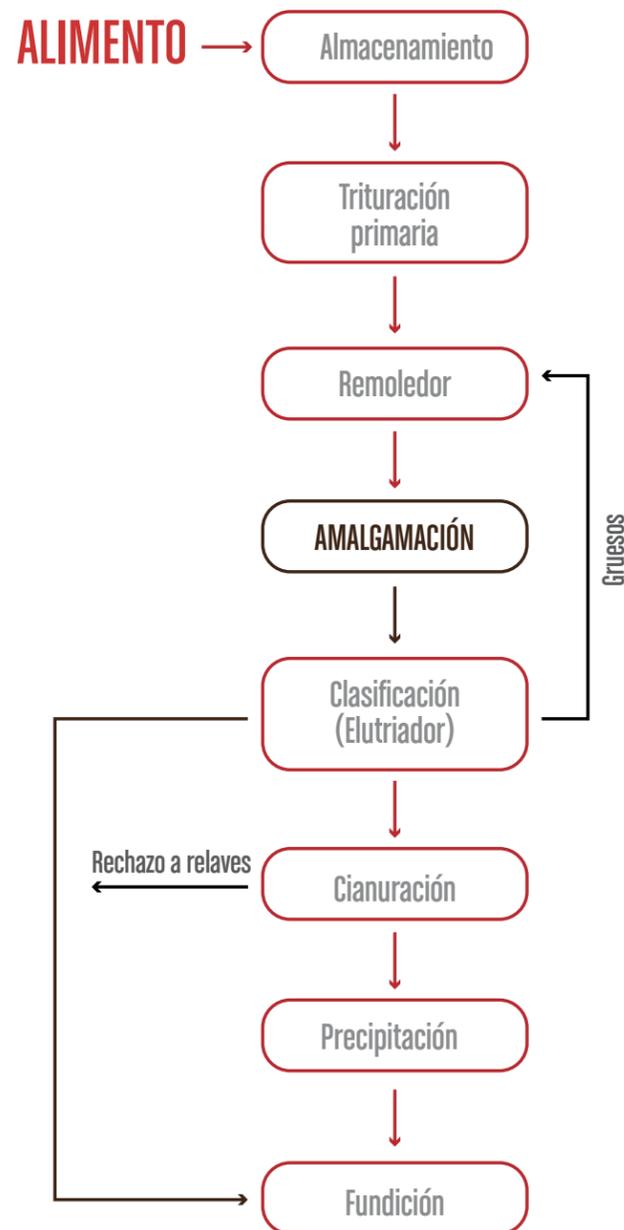
Detalle de los canalones de una mesa de concentración en planta.  
Fotografía tomada por: Jorge Iván Londoño / Servicio Geológico Colombiano

## 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

Figura 7.1: Diagrama de proceso de beneficio actual.  
Fuente: Propia.



Es fundamental tener un medio de concentración gravimétrico para clasificar el material, recuperar el oro grueso por refinación y posteriormente remoler las arenas del sistema de concentración por medio de cianuración y así recuperar el oro fino presente en esta mina. De tal manera se reemplaza el uso del mercurio.

### LA REDUCCIÓN DE TAMAÑO

El mineral debe tener un tamaño de partícula tal que garantice la exposición de la partícula de oro al ataque del cianuro. Esta es una condición fundamental para que la cianuración sea eficiente.

Se evidencia que después de pasar por el molino de martillo, la disminución del tamaño del material sigue por *batches* o grupos de 27 barriles, lo que no permite tener un sistema continuo de operación. Debido a esto se presentan pérdidas de tiempo y gastos en personal utilizado para cargar cada uno de los barriles moledores.

### AMALGAMACIÓN

En esta planta no existe ningún tipo de concentración gravimétrica, ya que la recuperación del oro libre se hace por medio del mercurio (se consumen 150 gramos de mercurio por cada barril utilizado). Sería conveniente tener un medio de concentración gravimétrico para clasificar el material, recuperar el oro grueso por refinación y posteriormente remoler las arenas del sistema de concentración para procesaras en un sistema de cianuración, con el fin de recuperar el oro fino presente en esta mina. De esta manera se reemplazaría el mercurio.

Con el proceso de amalgamación se calculó una recuperación de oro del 30%. El consumo de energía con el proceso de amalgamación, de 0.1 kWh/kg, se calcula asumiendo que los 10 kW se invierten todos durante las 124 horas de trabajo en planta para el tratamiento de 13860 kilos. El consumo de energía con respecto al oro es de 7,5 kWh/g.

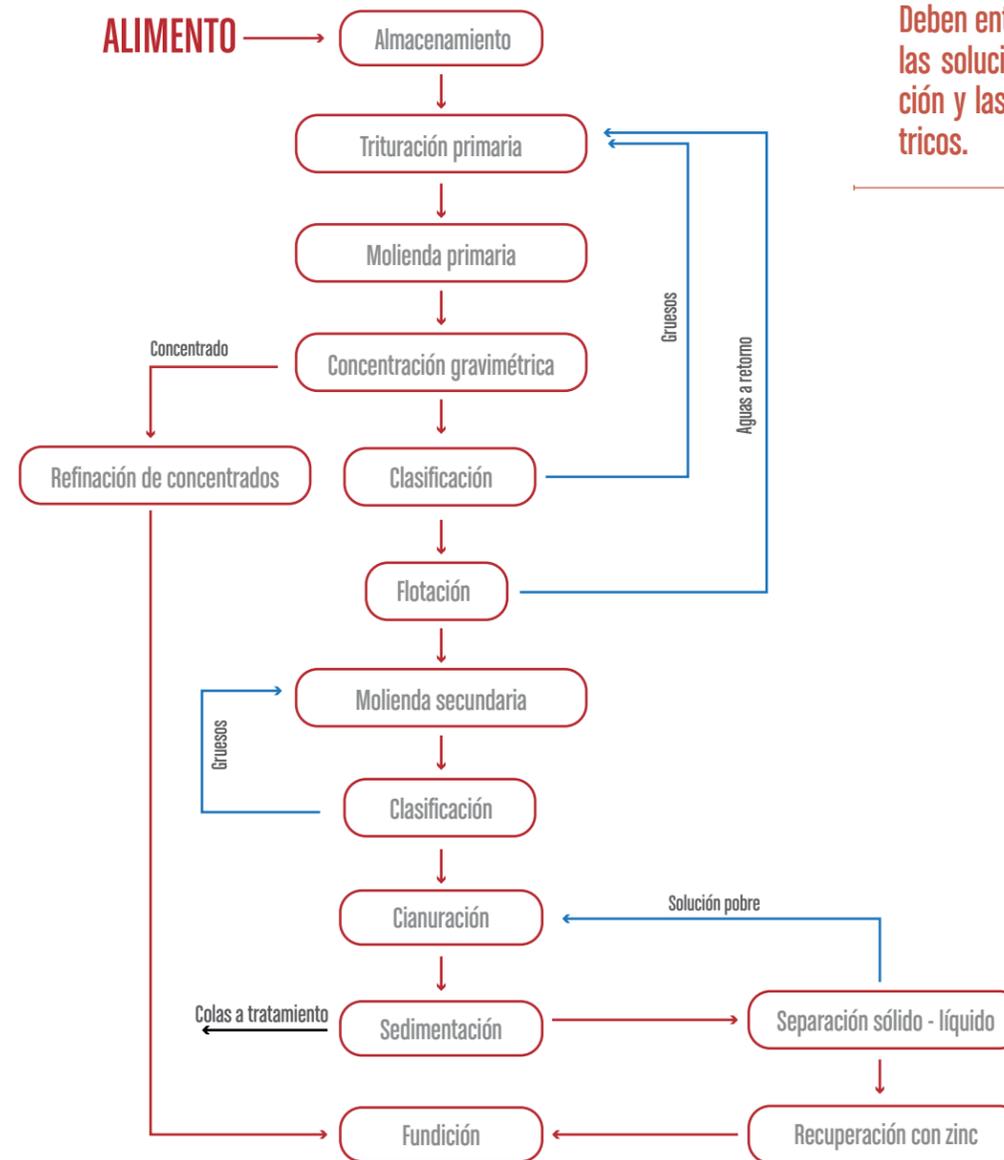
### LA CIANURACIÓN

Asumiendo una concentración de trabajo de cianuro de sodio de 1.5 gramos por litro, habría que agregar 35 kilos de cianuro de sodio para las cuatro cianuraciones que se realizan en el mes. Los mineros reportan un gasto de cianuro de sodio de 70 kilos; por ende, hay un considerable exceso de cianuro en el proceso de cianuración.

## 7.2 PROCESO DE BENEFICIO SUGERIDO PARA LA UNIDAD GEOMETALÚRGICA 1

El sistema extractivo por amalgamación del oro con mercurio es técnicamente sustituible. De acuerdo con los resultados de este estudio, podría ser sustituida por un procedimiento que combine la extracción de oro grueso por medios gravimétricos con la extracción de oro fino por cianuración.

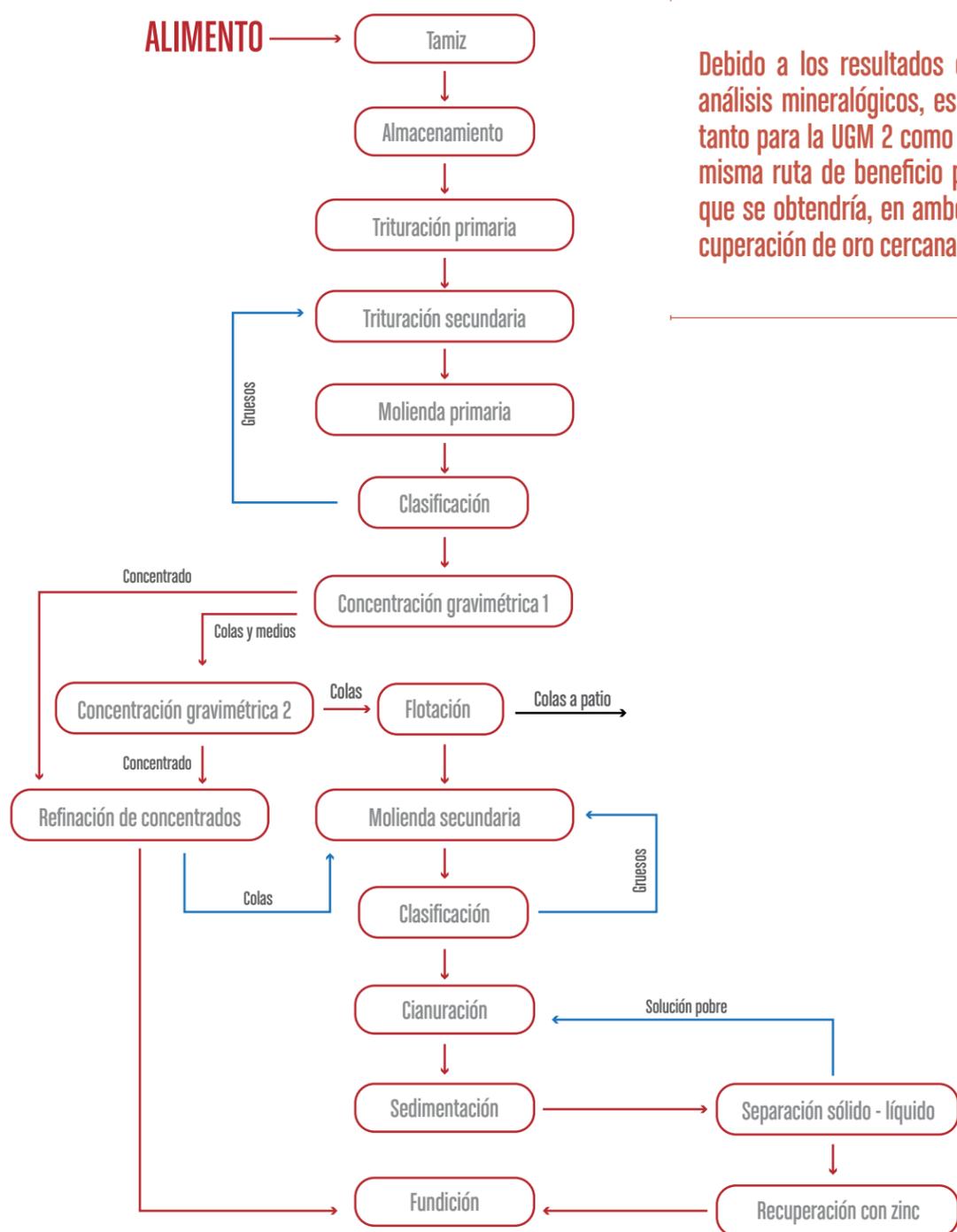
Figura 7.2: Diagrama de proceso de beneficio sugerido UGM 1.  
Fuente: Propia.



El reúso de las soluciones es conveniente para controlar el impacto ambiental. Deben entonces recircularse al máximo las soluciones clarificadas de cianuración y las aguas de procesos gravimétricos.

## 7.3. PROCESO DE BENEFICIO SUGERIDO PARA LA UNIDAD GEOMETALÚRGICA 2 y 3

Figura 7.3: Diagrama de proceso de beneficio sugerido UGM 2 y UGM 3.  
Fuente: Propia.



Debido a los resultados obtenidos en los análisis mineralógicos, es correcto aplicar, tanto para la UGM 2 como para la UGM 3, la misma ruta de beneficio propuesta, con lo que se obtendría, en ambos casos, una recuperación de oro cercana al 95.6%.

## 7.4. RECOMENDACIONES

### 7.4.1. RECOMENDACIONES METALÚRGICAS.

- Para la recuperación del oro grueso detectado en la zona es pertinente estudiar la posibilidad de aplicar una operación de concentración gravimétrica, tal como la mesa Wilfley o Jig. Para ello hay que tener una molienda controlada, lo que implica estudiar la posibilidad de emplear molino de bolas, con clasificación.
- Para la recuperación del oro fino es pertinente estudiar la posibilidad de aplicar la flotación. Para ello, y dependiendo de la capacidad de producción, pueden contemplarse las celdas de flotación cúbicas, las celdas circulares o una combinación de ambos sistemas. Para ello debe controlarse el tamaño de partícula del material que alimenta la flotación y, por consiguiente, debe contemplarse la posibilidad de emplear un molino remolador luego de la clasificación en la molienda primaria.
- La cianuración de los concentrados es una opción, siempre y cuando se garantice una buena oxigenación del sistema y una preoxidación y prelavado del material que se va a cianurar.
- El reúso de soluciones es conveniente para controlar el impacto ambiental. Deben, entonces, recircularse al máximo las soluciones de cianuración y las aguas de procesos gravimétricos.
- Debe controlarse la concentración de metales en las soluciones pobres de cianuración que se recirculen, a fin de evitar acumulaciones perjudiciales, sobre todo de cinc, en las soluciones de reúso.
- Debe descomponerse tanto el cianuro libre como el cianuro complejo en las soluciones de rechazo antes de verterlas al medio ambiente. El empleo de peróxido de hidrógeno, sulfato de hierro y carbón activado es una alternativa para controlar estas emisiones.
- El manejo de las pulpas residuales es fundamental para controlar el impacto ambiental y el incremento de las eficiencias productivas del sistema extractivo. En este sentido, los sedimentadores son básicos en las unidades de cianuración. Los sedimentadores estáticos son una buena alternativa que debe ser considerada.
- El manejo de los sistemas de sedimentación implica la incorporación de bombas impulsoras, tanto para líquido como para pulpas, en el circuito de la planta productiva, para el transporte y disposición de los materiales correspondientes.
- Establecer las condiciones en las que se desarrolle con la mayor efectividad posible la cianuración de los concentrados de los materiales de mina de la zona.
- Ensayar el método de Merrill Crowe para la recuperación de oro y plata de la solución rica de cianuración de los materiales estudiados y establecer las bases técnicas para recomendar su instalación en las plantas de beneficio de la zona.
- Calcular el exceso de energía y tiempo de producción causado por el sobretamaño del material con que es alimentado el molino primario. Sugerir un diagrama que ajuste el procedimiento de reducción de tamaño.
- Mejorar la operación de reducción de tamaño mediante la integración de una etapa de pulverización entre la trituradora de mandíbulas y el molino primario.
- Mejorar las operaciones de concentración de mesa y concentración por flotación, haciendo énfasis en el tamaño de la partícula del material.
- Establecer un procedimiento para el tratamiento de los cianuros complejos presentes en las soluciones residuales de cianuración.
- Determinar la composición de la partícula de oro mediante microscopía electrónica.

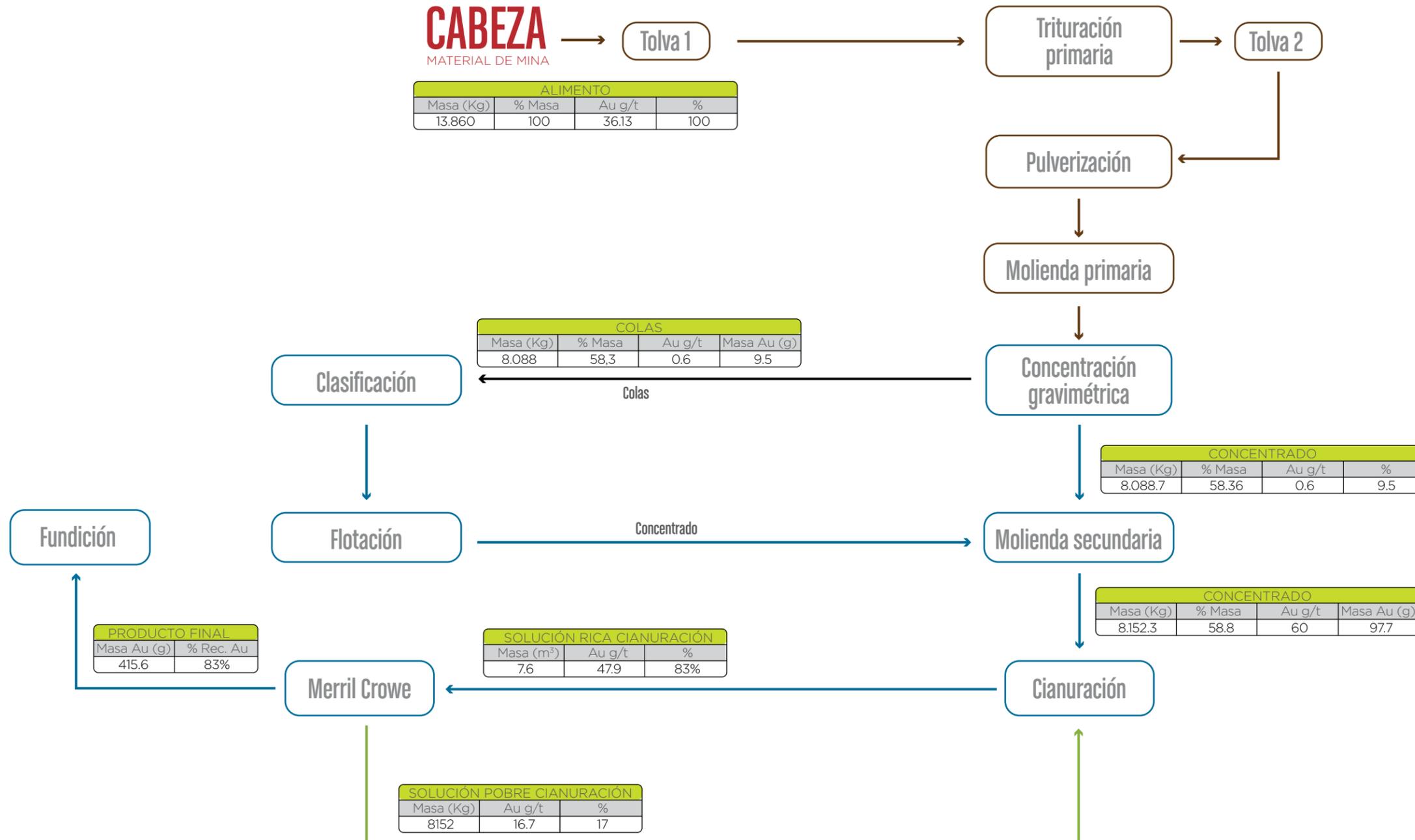
### 7.4.2. RECOMENDACIONES AMBIENTALES.

- Se recomienda implementar en las plantas de beneficio de El Danubio, Potosí y Tamboral procesos de descomposición de cianuro libre con peróxido de hidrógeno y la descomposición de cianuros complejos con la coprecipitación de metales, utilizando sulfato ferroso.

# 7.5. DIAGRAMA DE FLUJO DE OPERACIONES, PROCESOS Y MASA PARA LA UGM 1

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.

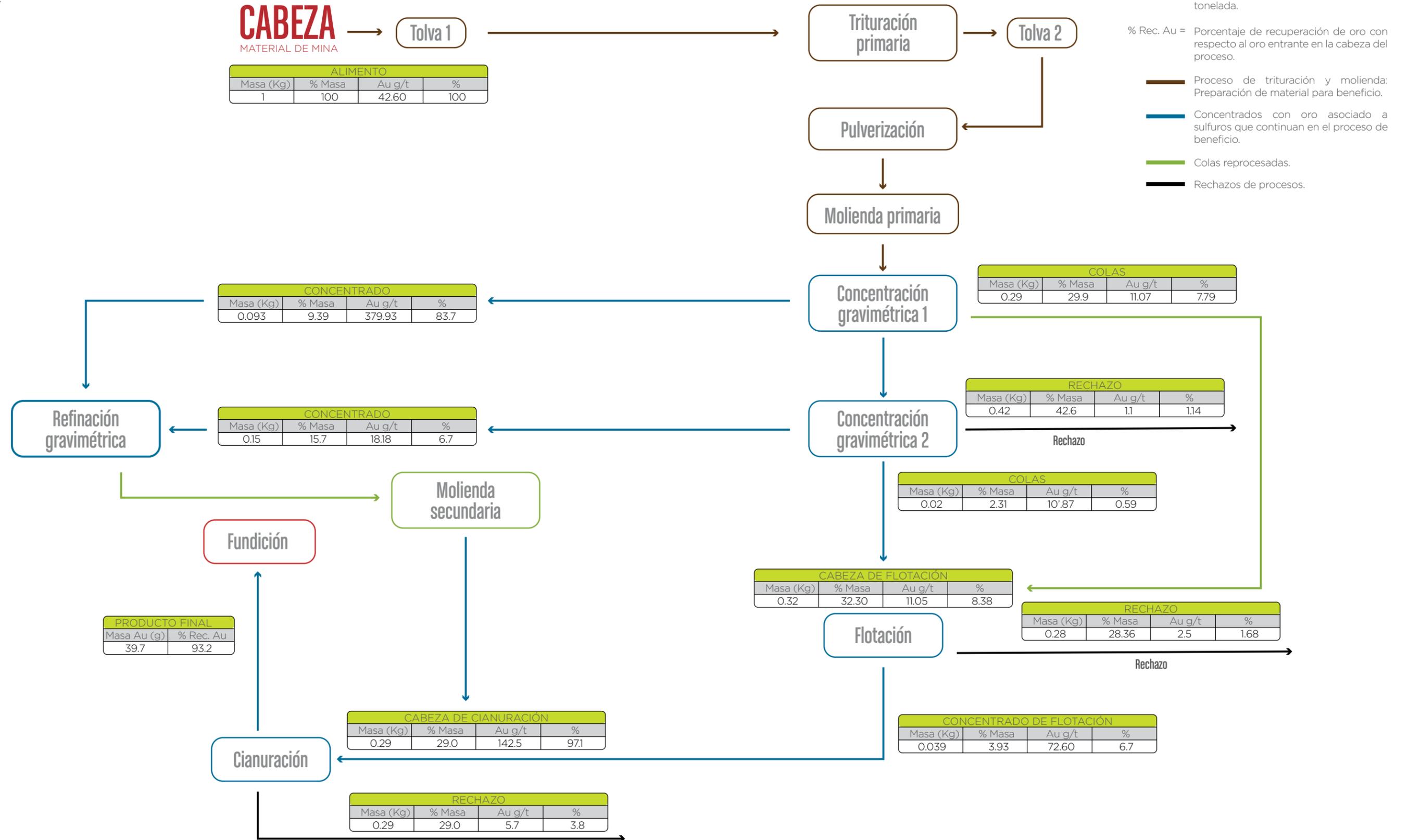
Figura 7.4: Diagrama de proceso de beneficio con balance de materia UGM 1.  
Fuente: Propia.



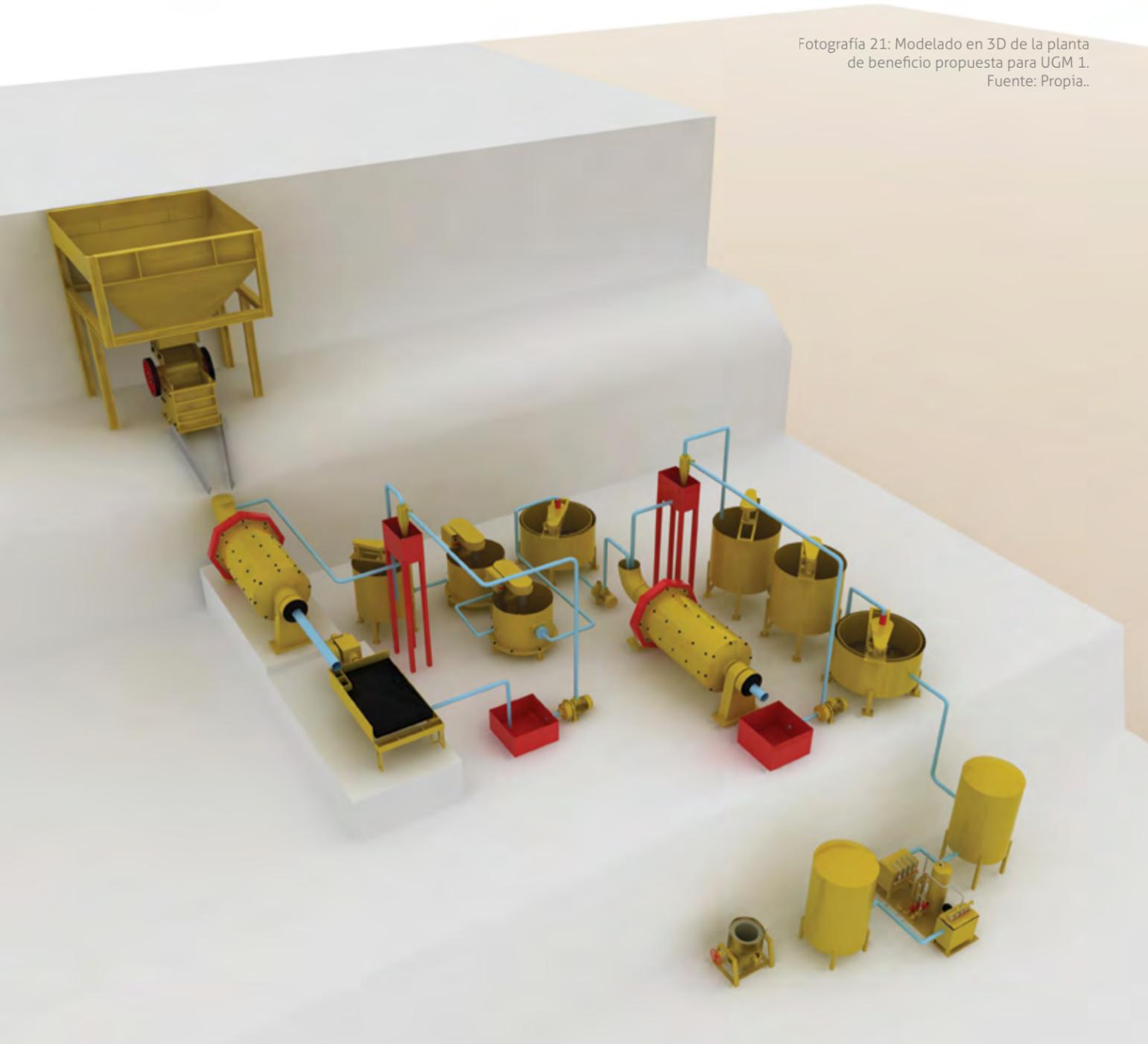
- % Masa = Porcentaje de masa respecto al material entrante en la cabeza del proceso de beneficio.
- Au g/t = Concentración oro gramos por tonelada.
- % Rec. Au = Porcentaje de recuperación de oro con respecto al oro entrante en la cabeza del proceso.
- Proceso de trituración y molienda: Preparación de material para beneficio.
- Concentrados con oro asociado a sulfuros que continúan en el proceso de beneficio.
- Colas reprocesadas.
- Rechazos de procesos.

# 7.6. DIAGRAMA DE FLUJO DE OPERACIONES, PROCESOS Y MASA PARA LA UGM 2 Y 3

Figura 7.5: Diagrama de proceso de beneficio con balance de materia UGM 2 y 3.  
Fuente: Propia.



## 7.7. MONTAJE DE PLANTA DE BENEFICIO SUGERIDA, UGM 1



Fotografía 21: Modelado en 3D de la planta de beneficio propuesta para UGM 1. Fuente: Propia.

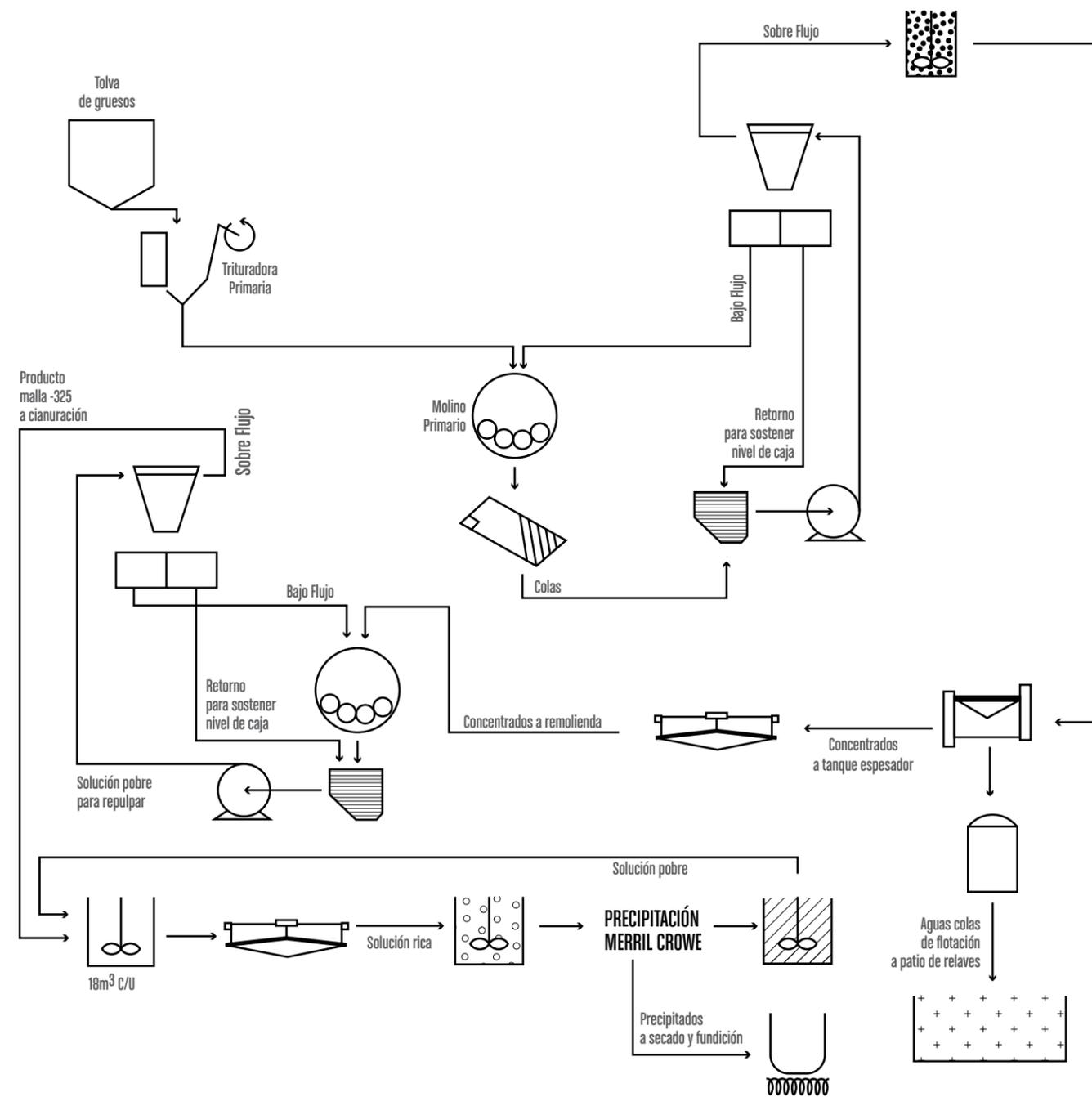
El siguiente gráfico muestra una aproximación a la configuración de la planta de beneficio que se requiere para seguir los pasos de la ruta metalúrgica sugerida. Además, incluye los equipos que componen la planta de beneficio actual. Se propone una adecuación que los incluya.

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

## 7.8. DIAGRAMA DE FLUJO PARA LA PLANTA DE BENEFICIO SUGERIDA, UGM 1

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 7.6: Diagrama de flujo planta de beneficio sugerida para la UGM 1. Fuente: Propia.

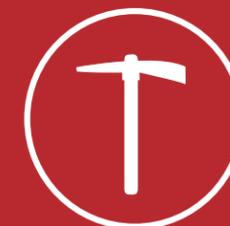




## CONVENCIONES

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

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



## 7.8. CONSIDERACIONES METALÚRGICAS

### 7.11.1 SUÁREZ

· El método extractivo propuesto consiste fundamentalmente en una molienda relativamente gruesa (d80 600  $\mu\text{m}$ ) del material de proceso, seguida de una concentración gravimétrica para la separación de los sulfuros de los silicatos, una remolienda ultrafina del concentrado gravimétrico y una cianuración del concentrado molido, asistida por un adecuado lavado del material, una adecuada oxigenación del sistema y un adecuado control de la concentración del cianuro de sodio y el pH.

· Se obtuvo una recuperación neta de oro con el método alternativo propuesto de 95.6%.

· Para la misma superficie, pero con un gasto de energía cinco veces superior, el método alternativo propuesto reduce el tiempo de producción en más de un 50% respecto al actual. Para la misma cantidad de material, de 124 horas de proceso en la planta de amalgamación, se llegaría a menos de 48 horas en la planta propuesta como alternativa.

· El consumo de energía actual de la planta es de 0.1 kWh/kg de material procesado o 7.5 kilovatios hora por gramo de oro producido. Una planta con una capacidad de una tonelada por hora para este material, con el método alternativo propuesto, consumiría 0.16 kilovatios hora por kilo, y con respecto al oro, el consumo sería de 6.32 kilovatios hora por gramo de oro producido.

· Cuanto menos se mezcle el material de filón con el material de roca encajante, es mucho mejor para el proceso en planta, ya que no se diluye el tenor de oro y es menor la proporción de material inerte en el proceso.

· El material de veta está constituido principalmente por arsenopirita (36%) y calcopirita (38%) en proporción en masa. La pirita está presente en menor proporción (16%).

· El rango de tamaño del 81% del oro, en proporción por masa, está en entre 1 y 50  $\mu\text{m}$ , y son preponderan-

Según todos los resultados obtenidos, la extracción por refinación gravimétrica y fundición, y la extracción química con cianuro de sodio, pueden sustituir la extracción de oro con mercurio con grandes ventajas técnicas, productivas y ambientales en Suárez, con porcentajes de recuperación de oro mínimo de 88.27%.

temente menores de 20  $\mu\text{m}$ . El 19% del oro se halla en partículas de entre 50 y 150  $\mu\text{m}$ .

· El pequeño tamaño del oro y su íntima relación con la arsenopirita exige una molienda exhaustiva como preparación al proceso extractivo como tal. Para el caso de la extracción por cianuración, el proceso exige una molienda por debajo de las 15  $\mu\text{m}$ .

· En el concentrado gravimétrico se alcanzó una recuperación de oro del 90.4%.

· Los sulfuros metálicos se presentan de manera masiva en el material de veta. A un tamaño de 600  $\mu\text{m}$  prácticamente todos los sulfuros aparecen como partículas libres (sin asociación). Esto favorece la concentración gravimétrica de esos sulfuros, particularmente del de la arsenopirita, que es el que contiene el oro.

· La diferencia entre las densidades de la arsenopirita y la calcopirita hace posible su relativa separación mediante un procedimiento selectivo por gravedad, como en la mesa Wilfley.

· Se alcanzó una recuperación de oro en la cianuración del concentrado del 80% en 20 horas de proceso.

· Mediante pruebas adicionales se verificó que la cianuración puede mejorarse aún más y que es posible incrementar la recuperación hasta un 90%, lo que incrementaría la recuperación del proceso hasta un 81% en un menor tiempo.



· La recuperación de oro con el método alternativo propuesto se incrementa en 2.25 veces con respecto al método actual de amalgamación utilizado.

· El método alternativo dejaría un material residual con 10.10 gramos de oro por tonelada, comparado con unas colas del 23.7 g/t que deja el método de amalgamación.

· El método propuesto aquí para reemplazar la amalgamación podría ahorrar agua hasta en un 68% con respecto a los gastos actuales de la planta de amalgamación.

#### 7.11.2 BUENOS AIRES

· Por su composición mineralógica, hay alta refractariedad química en la cianuración. La pirrotina y la pirita framboidal, junto con la arsenopirita framboidal detectadas en el análisis petrográfico, son minerales que interfieren notablemente la cianuración.

· Por el tamaño del oro y sus asociaciones hay alta refractariedad física, lo que interfiere en la lixiviación de la partícula de oro. Es fundamental una molienda fina con tamaño de partícula inferior a 75  $\mu\text{m}$ .

· No hay altos consumos de cal debido a la presencia de carbonato de sodio en la mena.

· Es fundamental un proceso de oxidación y lavado de sales antes de la cianuración.

· La oxidación puede ser hacerse con peróxido de hidrógeno o con sistemas de burbujeo intenso, como el Pachuca.

· Hay que hacer una descomposición exhaustiva del cianuro, tanto del libre como del complejo, en los rechazos de las plantas de cianuración. La mejor opción es la recirculación de las soluciones remanentes, teniendo especial cuidado con las especies que la pueden neutralizar.

· Para la precipitación del oro con zinc hay que tener controlada la cantidad de zinc soluble en la solución.

· Se verificó la contaminación por mercurio de las áreas aledañas a las plantas de amalgamación evaluadas.

#### La concentración en mesa del material de la mina La Esperanza combinado con la concentración por flotación da una recuperación mayor del 95%.

· En Chambimbe se tiene una planta típica de amalgamación en barriles. Esta planta cuenta con 16 barriles, cuya capacidad individual aproximada es de 80 kilos de material, para un tiempo promedio de proceso de amalgamación de seis horas (se tiene en cuenta que se hace en etapas sucesivas).

· El procedimiento para descomponer el cianuro libre y el cianuro complejo con peróxido de hidrógeno, sulfato de hierro y carbón activado es efectivo para llevar la concentración de cianuro libre a 2.5 miligramos por litro, y el cianuro complejo a 5 miligramos por litro.

· La concentración en mesa del material de la mina La Esperanza, combinado con la concentración por flotación, da una recuperación mayor al 95%.

· La cianuración del oro del material de la vereda Chambimbe, mina La Esperanza, exhibe una rata lenta, debido, probablemente, a la presencia de telururos de oro.

· La presencia de pirrotina, marcasita, pirita framboidal y arsenopirita framboidal, que tienen una alta demanda de oxígeno, obligan a que el sistema de cianuración esté provisto de una fuente de oxígeno. Esta puede generarse con una alta turbulencia debida a la agitación del sistema, a la adición de peróxido de hidrógeno o a la aplicación del sistema pachuca.

· En cuanto a la contaminación con mercurio, los pozos de contención de mercurio y sedimentos tiene un efecto positivo en el control del arrastre hacia el río.

· No se aprecian tratamientos de descomposición de cianuro libre y total en las soluciones de rechazo. Hay que advertir del perjuicio que tiene particularmente el cianoaurato de mercurio generado cuando se combi-



nan colas de amalgamación con el proceso de cianuración.

· En la zona se encuentran las alternativas técnicas para excluir del proceso de beneficio de oro el mercurio y la técnica de la amalgamación.

#### 7.11.3 EL TAMBO

· El tamaño del oro en veta intacta es menor a 220  $\mu\text{m}$ . En peso equivalente predominan los granos mayores de 100  $\mu\text{m}$ , mientras que el oro liberado durante la molienda tiene tamaños de hasta 480  $\mu\text{m}$ .

· El material de El Tambo tiene un contenido considerable de oro fino, equivalente al 9.8% del oro total. El control del material fino (limos) es un aspecto de suma importancia para evitar pérdidas de oro.

· A un rango de tamaño de partícula de entre 106 y 75  $\mu\text{m}$  se obtuvo que el 75% de los sulfuros estaban liberados. A un tamaño de 45  $\mu\text{m}$  se había liberado el 90% de ellos.

· El mineral presenta una buena respuesta a la concentración en mesa, pero el oro de tamaño pequeño no responde a este tipo de concentración gravimétrica y es necesario aplicar la flotación para recuperarlo en su mayor parte. La recuperación promedio en la mesa, desarrollada en dos etapas, fue de 88%, con razones de concentración y enriquecimiento superiores a 4.

· La ganga que saca la concentración por mesa en las colas equivale al 43%, aproximadamente, de la masa total procesada.

· La recuperación promedio de oro en las pruebas de flotación fue del 80%, con respecto al oro que entra en el alimento, y se obtuvieron concentrados de hasta 80 gramos de oro por tonelada, y colas con un promedio de 2.1 gramos de oro por tonelada.

· El oro fino recuperado por flotación representa el 7% del oro total procesado. La ganga que saca la flotación en las colas equivale al 28% de la masa total procesada.

· El oro que se pierde en las colas de concentración equivale al 3% del oro total procesado.

#### En las condiciones probadas del laboratorio, la cianuración del compost en su conjunto (cianuración directa) arrojó buenos resultados metalúrgicos, pues arrojó recuperaciones superiores al 97% del oro y consumos normales de cianuro de sodio y cal.

· Desde el punto de vista de la metalurgia extractiva, el agregado mineral de El Tambo tiene una composición mineralógica relativamente simple. No obstante, los telururos, que están presentes en pequeña proporción, pueden afectar la cianuración de los concentrados, prolongando el tiempo de cianuración y disminuyendo el porcentaje de recuperación.

· A las condiciones probadas del laboratorio, la cianuración del compost en su conjunto (cianuración directa) arrojó buenos resultados metalúrgicos, pues dio recuperaciones superiores al 97% del oro y consumos normales de cianuro de sodio y cal.

· El tiempo indicado para la cianuración directa fue de 15 horas para las condiciones probadas en el laboratorio.

· En condiciones normales, la cianuración probada en el laboratorio de los concentrados arrojó recuperaciones de oro del 83% con respecto al material de alimento. Se detectó inhibición durante la lixiviación de estos concentrados, probablemente por la pasivación de la superficie de la partícula de oro.

· En las condiciones especiales de cianuración de los concentrados se eliminó el efecto de dicha inhibición, con lo cual se lograron recuperaciones de oro del 96%, con tiempos de cianuración mayores que los de la cianuración directa (mayor de 20 horas). El consumo de reactivos es mayor que en la cianuración directa.

· El material de El Tambo, al ser sometido a cianuración, aporta metales tales como cobre, cinc, plomo, arsénico, antimonio y cadmio, en concentraciones tales que pueden constituirse en un riesgo ambiental.



- Los contaminantes de las aguas también son aportados por el proceso metalúrgico al aplicar los procesos de amalgamación y cianuración.
- Los métodos de control de cianuro libre en las soluciones residuales consistentes en su descomposición por hipoclorito de sodio y por peróxido de hidrógeno son efectivos y reducen su contenido a concentraciones inferiores a la norma.
- El método del peróxido puede ser más conveniente que el cloro-alkalino para la descomposición del cianuro libre, en la medida en que es menos costoso y no deja secuelas ambientales, como, por ejemplo, la presencia de cloro.
- Los métodos cloro-alkalino y del peróxido, combinados con la formación de quelatos y floculación con sulfato de hierro, redujeron la concentración final de la mayoría de los metales a concentraciones admisibles por la norma.
- Hay que estar atentos a la concentración final de complejos de cianuro en las soluciones residuales (cianuro total) que no alcancen a disociarse con los métodos de descomposición probados.

Fundición de oro recuperado.  
Fotografía tomada por: Jorge Iván Londoño / 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.

**• Costos operacionales**

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

**Costos directos**

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

**Costos indirectos**

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

**• Ingresos operacionales**

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

### 8.1.2.3. PROPÓSITO DE LA EVALUACIÓN FINANCIERA

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

### 8.1.2.4. ETAPAS DE LA EVALUACIÓN FINANCIERA

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

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

El flujo de caja constituye una herramienta esencial para la evaluación de proyectos, pues contiene el registro sistematizado de la información financiera necesaria para construir los indicadores de rentabilidad del proyecto. En efecto, esta herramienta permite

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

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

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

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-costos (RB/C).

**Valor Presente Neto**

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

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

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

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

**Tasa Interna de Retorno (TIR)**

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

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

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

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

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

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

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

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

## 8.2. METODOLOGÍA PARA EL ESTUDIO Y EVALUACIÓN FINANCIERA DEL PROYECTO EN LA UNIDAD GEOMETALÚRGICA 1

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

**VARIABLES DE OPERACIÓN DE LA PLANTA DE BENEFICIO TÍPICA DE LA ZONA – UNIDAD GEOMETALÚRGICA 1**

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

|  |           |
|--|-----------|
| • Capacidad de procesamiento             | 1 t/h     |
| • Funcionamiento de la planta            | 8 h/día   |
| • Volumen de procesamiento               | 8 t/día   |
| • Turnos por día                         | 1 por día |
| • Días de operación al mes               | 26 días   |
| • Volumen de procesamiento               | 208 t/mes |
| • Tenor por tonelada de material de mina | 36,1      |
| • % Total de recuperación de oro         | 83%       |
| • Recuperación total de oro              | 29,96 g/t |

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

### 8.2.1. ESTUDIO FINANCIERO

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

#### 8.2.1.1. IDENTIFICACIÓN Y VALORACIÓN DE LA INVERSIÓN INICIAL

**ACTIVOS FIJOS**

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

- **Maquinaria y equipo**

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

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

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

En la siguiente tabla se detalla la maquinaria y los equipos nuevos que se requieren para cada proceso, de acuerdo con el inventario inicial de la Unidad Geometalúrgica 1.

| PROCESOS               | MÁQUINA Y DESCRIPCIÓN                            | ESPECIFICACIÓN TÉCNICA         | CANTIDAD |
|------------------------|--|--------------------------------|----------|
| TRITURACIÓN Y MOLIENDA | Trituradora de mandíbulas                        | 10" x 16"                      | 1        |
|                        | Criba vibratoria                                 | 1,5 x 0,9 m                    | 1        |
|                        | Trituradora de martillos                         | 24" x 10"                      | 1        |
|                        | Banda transportadora con estructura de soporte   | 18"                            | 1        |
|                        | Tolva para material triturado                    | 4 m x 4m x 2m                  | 1        |
|                        | Molino de bolas primario                         | 1,20 m x 1,50 m                | 1        |
|                        | Molino de bolas secundario                       | 1,0 m x 2,5 m                  | 1        |
|                        | Caja de pulpa                                    | 0,80 m x 0,80 m x 1 m          | 1        |
|                        | Bomba de sólidos                                 | 2,5" x 2"                      | 3        |
|                        | Hidrociclón 1                                    | 6"                             | 1        |
| Hidrociclón 2          | 4"   | 1                              |          |
| CONCENTRACIÓN          | Mesa de concentración primaria                   | 1,50 m x 2,50 m                | 1        |
|                        | Mesa de concentración secundaria                 | 1,50 x 2,50 m                  | 1        |
|                        | Tanque acondicionador                            | 1 m <sup>3</sup>               | 1        |
|                        | Celdas de flotación circulares                   | 1,2 m                          | 3        |
|                        | Tanque espesador                                 | 2,5 m                          | 2        |
| CIANURACIÓN            | Tanques de cianuración agitada                   | D=3 m, H=3m                    | 3        |
| FUNDICIÓN              | Horno con crisol para 15 kg                      |                                | 1        |
| MANEJO AMBIENTAL       | Bomba para soluciones de 2" x 1,5" de alta       | 5 HP                           | 3        |
|                        | Bomba para soluciones de 2" x 1,5" de baja       | 2 HP                           | 2        |
|                        | Bomba sumergible                                 | 2 HP                           | 2        |
|                        | Tanque de lámina                                 | Capacidad de 30 m <sup>3</sup> | 2        |
|                        | Tanques auxiliares de polipropileno              | 1000 L                         | 3        |
|                        | Tanques auxiliares de lámina para neutralización | D= 3 m, H=3,5 m                | 1        |
|                        | Tanque reactor                                   | D=3 m; H=3,5 m                 | 1        |

• **Instalaciones eléctricas e hidráulicas**

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

• **Montaje de laboratorio**

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

**ACTIVOS DIFERIDOS**

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

• **Licencia ambiental**

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

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

**8.2.1.2. 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 7.2.), 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, la contratación de mano de obra, mantenimiento de maquinaria y equipos, análisis y pruebas de laboratorio, pago de servicios públicos (energía eléctrica y agua) y depreciación de bienes físicos.

• **Materia prima**

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

**Fórmula para calcular el costo de la materia prima:**  
 Costo de material de mina (\$) = Au recuperado (g/t) \* Precio de venta (\$) x 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 molidores                     | kg     | 1                   | 208,00            |
|                        | Revestimientos trituradora primaria   | kg     | 1                   | 208,00            |
|                        | Revestimientos trituradora secundaria | kg     | 1                   | 208,00            |
|                        | Revestimientos molino primario        | kg     | 1                   | 208,00            |
|                        | Revestimientos molino secundario      | kg     | 0,9                 | 187,20            |
| CONCENTRACIÓN          | Aero 7020 (contratipo A31)            | kg     | 0,045               | 9,36              |
|                        | Aero 8255 (contratipo A31)            | kg     | 0,045               | 9,36              |
|                        | Xantato isopropilico Z6               | kg     | 0,085               | 17,68             |
|                        | Espumante Aero - Froth 65             | kg     | 0,04                | 8,32              |
|                        | Sulfato de cobre                      | kg     | 0,05                | 10,40             |
| CIANURACIÓN            | Cianuro de sodio (NaCN)               | kg     | 10                  | 2.080,00          |
|                        | Cal (CaO)                             | kg     | 8                   | 1.664,00          |
|                        | Hidóxido de sodio (Potasa)            | kg     | 0,0391              | 8,13              |
|                        | Acetato de plomo                      | kg     | 0,003               | 0,62              |
|                        | Polvo de zinc                         | kg     | 0,024               | 4,99              |
|                        | Xelite (diatomita)                    | kg     | 0,013               | 2,70              |
| FUNDICIÓN              | Bórax                                 | kg     | 0,044               | 9,15              |
|                        | Carbonato de sodio                    | kg     | 0,008               | 1,66              |
|                        | Sílice                                | kg     | 0,025               | 5,20              |
| MANEJO AMBIENTAL       | Floculante                            | kg     | 0,004               | 0,83              |
|                        | Ácido sulfúrico                       | kg     | 0,3                 | 62,40             |
|                        | Peróxido de hidrógeno                 | kg     | 0,23                | 47,84             |
|                        | Hipoclorito de sodio                  | L      | 0,23                | 47,84             |

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

**Mano de obra**

En este rubro se cuantifica el pago mensual de los salarios del personal vinculado a la operación, los aportes a seguridad social que deben ser asumidos por el empleador con base en la Ley 100 de 1993 (salud, pensión y 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 cinco empleados, conforme a la distribución de operarios por proceso y la asignación salarial, que se muestran en la siguiente tabla:

| PROCESO                | CARGO         | CANTIDAD DE OPERARIOS | TORNOS X DÍA | SUELDO BÁSICO X MES (COP) | AUX. TRANSPORTE X MES (COP) | SALARIO TOTAL X MES (COP)* |
|------------------------|---------------|-----------------------|--------------|---------------------------|-----------------------------|----------------------------|
| Trituración y Molienda | Operario      | 1                     | 1            | \$ 781.242                | \$ 88.211                   | \$ 869.453                 |
| Concentración          | Operario      | 2                     | 1            | \$ 781.242                | \$ 88.211                   | \$ 1.738.906               |
| Cianuración            | Operario      | 1                     | 1            | \$ 781.242                | \$ 88.211                   | \$ 869.453                 |
| General                | Jefe de turno | 1                     | 1            | \$ 3.000.000              | \$ 0                        | \$ 3.000.000               |
| <b>Total:</b>          |               |                       |              |                           |                             | <b>\$ 6.477.812</b>        |

Nota: (\*) El salario total asignado para los operarios corresponde al valor del salario mínimo mensual vigente en Colombia para 2018. El Jefe de Turno se encarga de la supervisión de la operación y de la dosificación de los reactivos en el proceso de flotación. El operario del proceso de cianuración se encarga del proceso de neutralización.

**Aportes al Sistema General de Seguridad Social (SGSS)**

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

**Fórmula para calcular los aportes a seguridad social**  
 Aportes a seguridad social (\$/mes) = sueldo básico (\$) x % 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 (\$) x % 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 (\$) x % de carga prestacional (prima, vacaciones, cesantías)

**Fórmula para calcular la provisión para intereses de cesantías.**

Provisión mes intereses de cesantías = cesantías (\$) x 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 0.75% del valor comercial de la maquinaria. (Este valor incluye el costo del mantenimiento preventivo y correctivo y la compra de repuestos).

**Fórmula para calcular el costo de mantenimiento**

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

| 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.

**ANÁLISIS Y PRUEBAS DE LABORATORIO**

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

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

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

**SERVICIOS PÚBLICOS**

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

**Costo de energía eléctrica**

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

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

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

**Fórmula para calcular el costo mensual de energía eléctrica**

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

| PROCESOS                            | EQUIPO  | ESPECIFICACIÓN TÉCNICA | POTENCIA MOTOR (H.P.) | POTENCIA MOTOR (Kw) | CANTIDAD | HORAS DE TRABAJO | Kw/DÍA | Kw/MES        |
|-------------------------------------|---|------------------------|-----------------------|---------------------|----------|------------------|--------|---------------|
| TRITURACIÓN Y MOLIENDA              | Trituradora de mandíbulas                       | 10" x 16"              | 12                    | 9                   | 1        | 4                | 36     | 936           |
|                                     | Criba vibratoria                                | 1,5 x 0,9 m            | 2                     | 1,5                 | 1        | 4                | 6      | 156           |
|                                     | Trituradora de martillos                        | 24" x 10"              | 25                    | 18,75               | 1        | 4                | 75     | 1.950         |
|                                     | Banda transportadora                            | 18"                    | 3                     | 2,25                | 1        | 4                | 9      | 234           |
|                                     | Molino de bolas primario                        | 1,20 m x 1,50 m        | 30                    | 22,5                | 1        | 8                | 180    | 4.680         |
|                                     | Molino de bolas secundario                      | 1,0 m x 2,5 m          | 25                    | 18,75               | 1        | 8                | 150    | 3.900         |
|                                     | Bomba de sólidos                                | 2,5" x 2"              | 7,5                   | 5,625               | 1        | 8                | 45     | 1.170         |
| <b>Total trituración y molienda</b> |   |                        |                       |                     |          |                  |        | <b>13.026</b> |
| CONCENTRACIÓN                       | Mesa de concentración primaria                  | 1,50 m x 2,50 m        | 2                     | 1,5                 | 1        | 8                | 12     | 312           |
|                                     | Mesa de concentración secundaria                | 1,50 m x 2,50 m        | 2                     | 1,5                 | 1        | 8                | 12     | 312           |
|                                     | Celdas de flotación circulares                  | 1,2 m                  | 12                    | 9                   | 1        | 8                | 72     | 1.872         |
|                                     | Tanque espesador                                | 2,5 m                  | 2                     | 1,5                 | 1        | 8                | 12     | 312           |
|                                     | Tanque acondicionador                           | 1 m <sup>3</sup>       | 5                     | 3,75                | 1        | 8                | 30     | 780           |
| <b>Total concentración</b>          |   |                        |                       |                     |          |                  |        | <b>3.588</b>  |
| CIANURACIÓN                         | Tanque agitación (lixiviación)                  | D=3 m; H=3 m           | 12                    | 9                   | 3        | 8                | 216    | 5.616         |
|                                     | Compresor                                       |                        | 45                    | 33,75               | 1        | 8                | 270    | 7.020         |
| <b>Total cianuración</b>            |   |                        |                       |                     |          |                  |        | <b>12.636</b> |
| MANEJO AMBIENTAL                    | Tanque agitado para neutralización              | D=3 m; H=3 m           | 12                    | 9                   | 1        | 8                | 72     | 1.872         |
|                                     | Bombas para recirculación de aguas y soluciones | 5 HP                   | 5                     | 3,75                | 3        | 8                | 90     | 2.340         |
| <b>Total manejo ambiental</b>       |   |                        |                       |                     |          |                  |        | <b>4.212</b>  |
| <b>TOTAL</b>                        |   |                        |                       |                     |          |                  |        | <b>33.462</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 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.**

**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%

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

**COSTOS TOTALES**

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

**Fórmula para calcular el costo total**

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

| CANTIDAD DE MATERIAL PROCESADO (t) | RECUPERACIÓN TOTAL (%)* | CANTIDAD RECUPERADA (g/t) |
|------------------------------------|-------------------------|---------------------------|
| 1                                  | 100                     | 36,1                      |
| 1                                  | 83,0                    | 29,96                     |

(\*) Con la implementación de la propuesta tecnológica se puede alcanzar mínimo un 83% de recuperación de oro por tonelada.  
 (\*\*) Para la zona minera de Buenos Aires y Suárez (Unidad Geometalúrgica 1) se determinó un tenor de 36,1 gramos, por tonelada.

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

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)

**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.

**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.**

#### Fórmula para calcular el margen de utilidad operacional

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

#### IMPUESTOS

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

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

#### Fórmula para calcular el impuesto de renta

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

#### UTILIDAD NETA

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

#### Fórmula para calcular la utilidad neta

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

#### MARGEN DE UTILIDAD NETA

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

#### Fórmula para calcular el margen de utilidad neta

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

#### FLUJO NETO DE EFECTIVO

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

#### Fórmula para calcular el flujo neto de efectivo

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

### 8.2.2.2 APLICACIÓN DE MÉTODOS PARA EVALUAR PROYECTOS

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

#### VALOR PRESENTE NETO (VPN)

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

#### Fórmula para calcular el VPN

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

#### TASA INTERNA DE RETORNO (TIR)

#### Fórmula para calcular la TIR

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

### 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

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

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

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)

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

\*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 EN LA UNIDAD GEOMETALÚRGICA 1

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

#### Inversión inicial

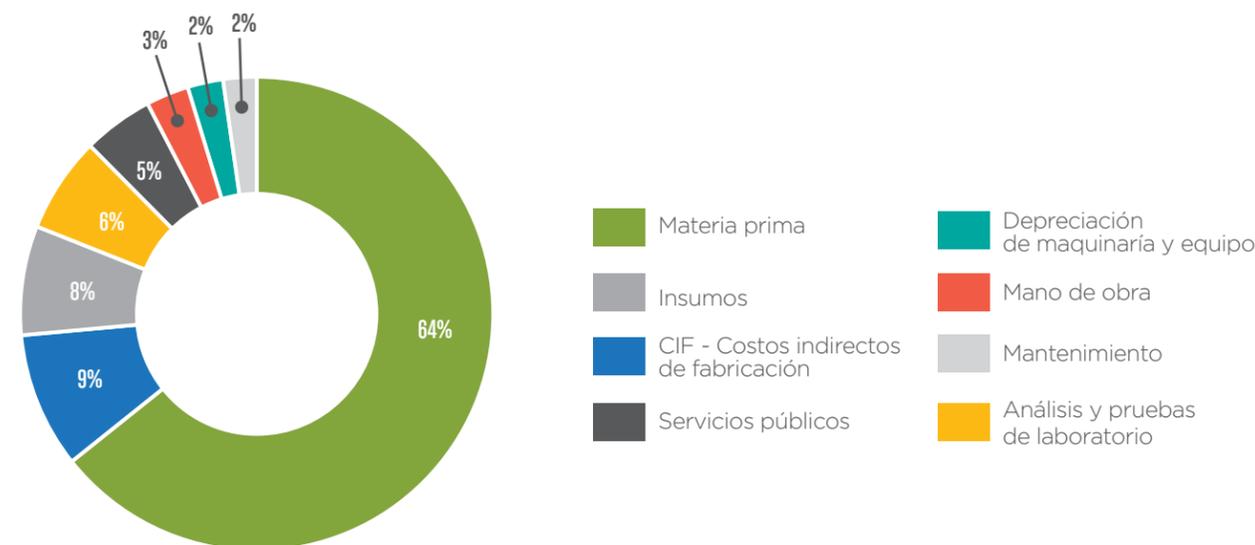
| DESCRIPCIÓN                            | COSTO                   |             |
|--|-------------------------|-------------|
| <b>Activos fijos</b>                   |                         |             |
| Maquinaria y equipo                    | \$ 938.118.650          | 71%         |
| Instalaciones eléctricas e hidráulicas | \$ 381.353.500          | 29%         |
| <b>Total activos fijos</b>             | <b>\$ 1.319.472.150</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                                | \$ 221.492.968        |
| Insumos                                      | \$ 25.840.895         |
| Mano de obra                                 | \$ 10.125.056         |
| Mantenimiento                                | \$ 7.633.865          |
| Análisis y pruebas de laboratorio            | \$ 22.300.000         |
| Servicios públicos                           | \$ 16.584.925         |
| Depreciación de maquinaria y equipo          | \$ 8.482.072          |
| <b>Total costos directos</b>                 | <b>\$ 312.459.780</b> |
| <b>Costos indirectos</b>                     |                       |
| CIF - Costos indirectos de fabricación       | \$ 31.245.978         |
| <b>Total costos indirectos</b>               | <b>\$ 31.245.978</b>  |
| <b>Total costos: (directos + indirectos)</b> | <b>\$ 343.705.758</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 (\$)              |
|---------------|-----------------------|---------------------------|---------------------------|--------------------------------|-----------------------|
| Cianuración   | 83                    | 29,96                     | 6.232                     | \$ 118.465                     | \$ 738.309.893        |
| <b>Total:</b> |                       |                           |                           |                                | <b>\$ 738.309.893</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                          | \$ 1,319,472,150         |                         |                         |                         |                         |                         |
| Activos diferidos                      |                          |                         |                         |                         |                         |                         |
| <b>TOTAL INVERSIÓN INICIAL</b>         | <b>-\$ 1,319,472,150</b> |                         |                         |                         |                         |                         |
| <b>(2) INGRESOS GRAVABLES (+)</b>      |                          |                         |                         |                         |                         |                         |
| Ingresos operacionales                 |                          | \$ 8,859,718,720        | \$ 9,125,510,282        | \$ 9,399,275,590        | \$ 9,681,253,858        | \$ 9,971,691,474        |
| <b>(3) EGRESOS DEDUCIBLES (-)</b>      |                          |                         |                         |                         |                         |                         |
| Costos operacionales                   |                          | \$ 4,022,684,236        | \$ 4,122,563,477        | \$ 4,225,424,336        | \$ 4,331,357,035        | \$ 4,447,694,118        |
| Depreciación                           |                          | \$ 101,784,865          | \$ 101,784,865          | \$ 101,784,865          | \$ 101,784,865          | \$ 101,784,865          |
| Regalías                               |                          | \$ 283,510,999          | \$ 292,016,329          | \$ 300,776,819          | \$ 309,800,123          | \$ 319,094,127          |
| <b>TOTAL EGRESOS DEDUCIBLES</b>        |                          | <b>\$ 4,407,980,100</b> | <b>\$ 4,516,364,671</b> | <b>\$ 4,627,986,020</b> | <b>\$ 4,742,942,023</b> | <b>\$ 4,868,573,110</b> |
| <b>(4) UTILIDAD ANTES DE IMPUESTOS</b> |                          | <b>\$ 4,451,738,620</b> | <b>\$ 4,609,145,611</b> | <b>\$ 4,771,289,571</b> | <b>\$ 4,938,311,835</b> | <b>\$ 5,103,118,364</b> |
| <b>(5) MÁRGEN UTILIDAD OPERACIONAL</b> |                          | <b>50.2%</b>            | <b>50.5%</b>            | <b>50.8%</b>            | <b>51.0%</b>            | <b>51.2%</b>            |
| <b>(6) IMPUESTOS (-)</b>               |                          |                         |                         |                         |                         |                         |
| IMPUESTO DE RENTA (33%) (-)            |                          | \$ 1,469,073,745        | \$ 1,521,018,051        | \$ 1,574,525,558        | \$ 1,629,642,906        | \$ 1,684,029,060        |
| <b>TOTAL IMPUESTOS</b>                 |                          | <b>\$ 1,469,073,745</b> | <b>\$ 1,521,018,051</b> | <b>\$ 1,574,525,558</b> | <b>\$ 1,629,642,906</b> | <b>\$ 1,684,029,060</b> |
| <b>(7) UTILIDAD NETA</b>               |                          | <b>\$ 2,982,664,875</b> | <b>\$ 3,088,127,559</b> | <b>\$ 3,196,764,012</b> | <b>\$ 3,308,668,929</b> | <b>\$ 3,419,089,304</b> |
| <b>(8) MÁRGEN DE UTILIDAD NETA</b>     |                          | <b>33.7%</b>            | <b>33.8%</b>            | <b>34.0%</b>            | <b>34.2%</b>            | <b>34.3%</b>            |
| <b>(9) DEPRECIACIÓN (+)</b>            |                          | <b>\$ 101,784,865</b>   |
| <b>(10) FLUJO NETO DE EFECTIVO</b>     | <b>-\$ 1,319,472,150</b> | <b>\$ 3,084,449,740</b> | <b>\$ 3,189,912,424</b> | <b>\$ 3,298,548,877</b> | <b>\$ 3,410,453,794</b> | <b>\$ 3,520,874,169</b> |

### 8.3.1. RESULTADOS E INTERPRETACIÓN DE INDICADORES DE EVALUACIÓN FINANCIERA DE LA UNIDAD GEOMETALÚRGICA 1

El VPN del proyecto de la Unidad Geometalúrgica 1, a una tasa de descuento del 20% es de ocho mil cuatrocientos treinta y cuatro millones seiscientos sesenta y cuatro mil doscientos setenta y ocho pesos, m. cte. (\$8 434 664 278).

El VPN del proyecto de la Unidad Geometalúrgica 1, a una tasa de descuento del 30% es de seis mil quinientos ochenta y cuatro millones cuatrocientos cincuenta y nueve mil ochocientos cuarenta pesos, m. cte. (\$6 584 459 840).

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 del 237% anual 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 del 237% anual.

Para este proyecto, la relación beneficio-costo a tasas de interés de oportunidad del 20% y 30% es de 2.07 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.

## 8.4. ESTUDIO FINANCIERO DE LA OPERACIÓN ACTUAL VS. LA OPERACIÓN FUTURA EN LA UNIDAD GEOMETALÚRGICA 1

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

#### VARIABLES DE OPERACIÓN DE LA PLANTA DE BENEFICIO ACTUAL

- Capacidad de procesamiento: 0.13 t/h
- Funcionamiento de la planta: 8 h/día
- Volumen de procesamiento: 1 t/día
- Turnos por día: 1 por día
- Días de operación al mes: 26 días
- Volumen de procesamiento: 26 t/mes
- Tenor por tonelada de material de mina: 36,1
- % Total de recuperación de oro: 65%
- Recuperación total de oro: 23,47 g/t

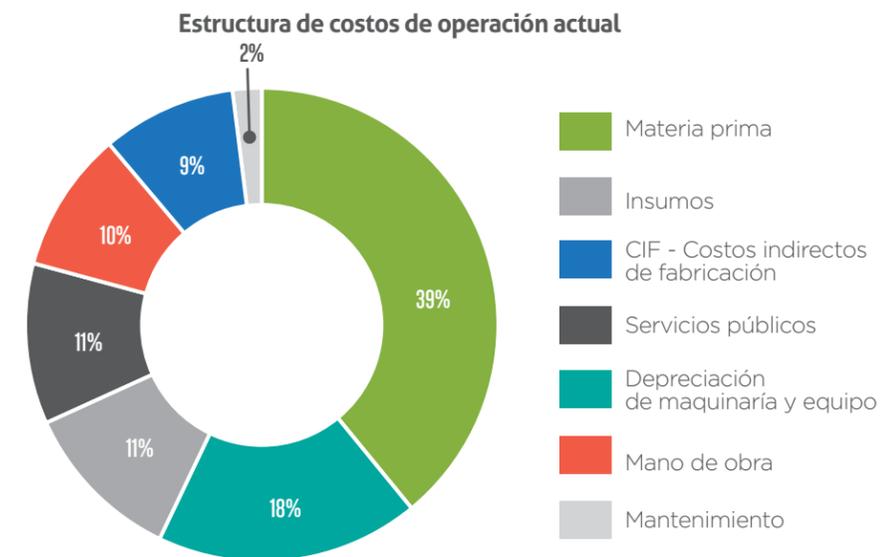
Debe tenerse en cuenta que la información de la operación actual de la planta de beneficio típica de la zona, se construyó a partir de pruebas de laboratorio efectuados por el equipo técnico con base en información recolectada en trabajo de campo.

#### Indicadores de evaluación financiera - Proyecto Unidad Geometalúrgica 1

| INDICADOR                        | TD 20%                              | TD 30%                              |
|----------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|
| Valor presente neto (VPN)        | COP 8.434.664.278<br>USD* 2.811.555 | COP 6.584.459.840<br>USD* 2.194.820 |
| Tasa interna de retorno (TIR)    | 237%                                | 237%                                |
| Relación beneficio / costo (B/C) | 2,07                                | 2,07                                |

Tasa de cambio utilizada COP \$3000/USD.

### 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 (\$)             |
|---------------|-----------------------|---------------------------|---------------------------|--------------------------------|----------------------|
| Amalgamación  | 30                    | 10,83                     | 282                       | \$ 118.465                     | \$ 33.357.375        |
| Cianuración   | 35                    | 12,64                     | 329                       | \$ 118.465                     | \$ 38.916.937        |
| <b>Total:</b> | <b>65</b>             | <b>23,47</b>              | <b>610</b>                |                                | <b>\$ 72.274.312</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                    | \$ 867,291,742        | \$ 893,310,494        | \$ 920,109,809        | \$ 947,713,104        | \$ 976,144,497        |
| <b>(3) EGRESOS DEDUCIBLES (-)</b>         |                       |                       |                       |                       |                       |
| Costos operacionales                      | \$ 545,064,553        | \$ 558,104,275        | \$ 571,547,428        | \$ 585,406,927        | \$ 601,409,765        |
| Depreciación                              | \$ 117,873,000        | \$ 117,873,000        | \$ 117,873,000        | \$ 117,873,000        | \$ 117,873,000        |
| Regalías                                  | \$ 27,753,336         | \$ 28,585,936         | \$ 29,443,514         | \$ 30,326,819         | \$ 31,236,624         |
| <b>TOTAL EGRESOS DEDUCIBLES</b>           | <b>\$ 690,690,888</b> | <b>\$ 704,563,211</b> | <b>\$ 718,863,942</b> | <b>\$ 733,606,746</b> | <b>\$ 750,519,389</b> |
| <b>(4) UTILIDAD ANTES DE IMPUESTOS</b>    | <b>\$ 176,600,854</b> | <b>\$ 188,747,284</b> | <b>\$ 201,245,868</b> | <b>\$ 214,106,358</b> | <b>\$ 225,625,108</b> |
| <b>(5) MÁRGEN DE UTILIDAD OPERACIONAL</b> | <b>20.36%</b>         | <b>21.13%</b>         | <b>21.87%</b>         | <b>22.59%</b>         | <b>23.11%</b>         |
| <b>(6) IMPUESTOS (-)</b>                  |                       |                       |                       |                       |                       |
| IMPUESTO DE RENTA (33%) (-)               | \$ 58,278,282         | \$ 62,286,604         | \$ 66,411,136         | \$ 70,655,098         | \$ 74,456,286         |
| <b>TOTAL IMPUESTOS</b>                    | <b>\$ 58,278,282</b>  | <b>\$ 62,286,604</b>  | <b>\$ 66,411,136</b>  | <b>\$ 70,655,098</b>  | <b>\$ 74,456,286</b>  |
| <b>(7) UTILIDAD NETA</b>                  | <b>\$ 118,322,572</b> | <b>\$ 126,460,680</b> | <b>\$ 134,834,731</b> | <b>\$ 143,451,260</b> | <b>\$ 151,168,822</b> |
| <b>(8) MÁRGEN DE UTILIDAD NETA</b>        | <b>13.64%</b>         | <b>14.16%</b>         | <b>14.65%</b>         | <b>15.14%</b>         | <b>15.49%</b>         |
| <b>(9) DEPRECIACIÓN (+)</b>               | <b>\$ 117,873,000</b> |
| <b>(10) FLUJO NETO DE EFECTIVO</b>        | <b>\$ 236,195,572</b> | <b>\$ 244,333,680</b> | <b>\$ 252,707,731</b> | <b>\$ 261,324,260</b> | <b>\$ 269,041,822</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)                             | %        | 65,00%           | 83,00%           |
| Cantidad de oro recuperado por tonelada            | g        | 23,47            | 29,96            |
| Costo de producción unitario por gramo de oro      | COP (\$) | \$90.551,88      | \$55.149,07      |
| Costo de producción unitario por onza troy de oro  | USD (\$) | \$ 947,88        | \$577,29         |
| Utilidad antes de impuestos por gramo de Oro       | COP(\$)  | \$24.122,24      | \$ 59.525,05     |
| Utilidad antes de impuestos por onza troy de oro   | USD(\$)  | \$ 252,51        | \$623,10         |
| Margen de utilidad operacional - (promedio 5 años) | %        | 21,81%           | 50,74%           |
| Utilidad después de impuestos por gramo de oro     | COP (\$) | \$16.161,90      | \$39.881,78      |
| Utilidad después de impuestos por onza troy de oro | USD(\$)  | \$ 169,18        | \$417,48         |
| Margen de utilidad neta (promedio 5 años)          | %        | 14,62%           | 34,00%           |
| Indicador de productividad (producto/insumo)       |          | 1,31             | 2,15             |

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 UNIDAD GEOMETALÚRGICA 1

La adopción integral de la propuesta contenida en esta guía para realizar una migración hacia el uso de tecnologías limpias en el proceso de beneficio de oro permite a la empresa minera incrementar la productividad total en aproximadamente 64%, al pasar de una razón producto/insumo total de 1,31 bajo las condiciones de la producción actual de la Unidad Geometalúrgica 1, a una razón de productividad de 2,15 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 estas prácticas responsables con el medio ambiente 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 90.551,88, mientras que se espera que, con la operación futura, el costo unitario del gramo de oro sea de COP 55.149,07. Este resultado indica una reducción efectiva de los costos unitarios de 28%.

Esta reducción en costos unitarios de producción de la Unidad Geometalúrgica 1, junto con el aumento en el porcentaje del gramo de oro recuperado por cada tonelada de mineral procesado (de 65% a 83%) resulta en un aumento del margen de utilidad neta proyectada para los cinco años evaluados, al pasar de 14,62%, en la actualidad, a 34,00%, 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 correspondiente la Unidad Geometalúrgica 1 (Buenos Aires y Suárez), el costo unitario de producir 1 g de oro es de COP 90.551,88, mientras que la implementación de la propuesta reduce este costo a COP 55.149,07. 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 133%.**



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

· En el estudio financiero de la operación actual de la planta definida para la zona correspondiente a la Unidad Geometalúrgica 1 se utilizó como referencia un porcentaje de recuperación de oro de 65% por cada tonelada de material mineral procesado, obteniéndose el 30% en el proceso de amalgamación y el 35% restante, en el proceso de cianuración, de acuerdo con la información suministrada por el equipo técnico.

· Teniendo en cuenta que el tenor de la zona minera de Buenos Aires y Suárez correspondiente a la Unidad Geometalúrgica 1 es de 36.1 gramos, y que la operación actual permite una recuperación promedio del 65%, en el estudio financiero se estimó una recuperación de 23.47 gramos por cada tonelada de mineral procesado.

· Los rubros más representativos en la estructura de costos de la operación actual de la planta, correspondiente a la Unidad Geometalúrgica 1, son la materia prima, la depreciación y los insumos, cada uno con una participación sobre los costos totales de 39%, 18% y 11%, respectivamente. Esta participación elevada de los insumos está representada en un 37% por el costo del kg de mercurio que se utiliza en el proceso de amalgamación.

· Se estableció que las plantas de beneficio de la zona tienen un consumo de agua por cada tonelada de mineral procesado de aproximadamente 3.94 m<sup>3</sup>.

· Las plantas de beneficio que corresponden a la Unidad Geometalúrgica 1 se aprecian en buen estado y sus superficies se prestan a ampliaciones y reformas.

· Se determinó que a partir de la implementación de la ruta metalúrgica propuesta pueden incrementar su capacidad por día a 8 toneladas por turno de 8 horas.

· 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 11.852 kW/mes.

· El costo unitario aproximado, teniendo en cuenta los parámetros de la operación actual definidos para la planta, es de COP 90.551,88 por cada gramo de oro, y de USD 947,88 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 1228/onza troy.

· La ganancia unitaria (antes de pagar impuestos) aproximada es de COP 24.122,24/g de oro y de USD 252,51/onza troy de oro. Esto corresponde a un margen de utilidad operacional de 21,81%, en promedio, para los cinco años contemplados como horizonte de evaluación.

· La ganancia unitaria neta (después de pagar impuestos) en la operación actual de la planta es de COP 16.161,90/g de oro y de USD 169,18/onza troy de oro. Esto corresponde a un margen de utilidad neta de 14,62% en promedio para los cinco años contemplados como horizonte de evaluación.



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

· Con base en la capacidad promedio instalada de las plantas de beneficio de la zona, se estableció un potencial de procesamiento anual de 2496 toneladas de material de mina, lo cual implica un funcionamiento de la planta de 26 días al mes y un procesamiento de 8 toneladas de material mineral al día.

· La implementación de la propuesta de adecuación tecnológica para la sustitución del uso del mercurio en el proceso de beneficio del oro permite alcanzar hasta un 83% de recuperación de oro. Este porcentaje es mayor que la recuperación promedio que se tiene en esta zona, correspondiente a la Unidad Geometalúrgica 1.

· Teniendo en cuenta que el tenor de la zona minera de Buenos Aires y Suárez, correspondiente a la Unidad Geometalúrgica 1, es de 36,1 gramos, y que la implementación de la ruta metalúrgica en la operación futura permite una recuperación aproximada de 83%, se espera una recuperación de 29,96 gramos por cada tonelada de mineral procesado.

· Se definió un esquema conservador, en el cual se obtiene una recuperación de oro equivalente al 83% por cada tonelada de material mineral procesado. Sin embargo, estos rendimientos pueden ser superiores al 95%.

· 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 las plantas de beneficio de la Unidad Geometalúrgica 1, con el fin de implementar los nuevos procesos que se detallan en la ruta metalúrgica contenida en la presente guía. El monto de recursos que deberán invertirse para la adecuación es de COP 1.319.472.150.

· La definición del inventario de maquinaria y equipo nuevos, con sus respectivas especificaciones técnicas, se determinó a partir del inventario inicial de las plantas de la zona que corresponden a la Unidad Geometalúrgica 1. 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 insumos, cada uno con una participación sobre los costos totales de 64% y 8%, 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 33.462 kW/mes.

· A partir de experimentos de laboratorio efectuados por el equipo técnico se determinó la dosificación adecuada de los insumos y elementos químicos que se deben utilizar en cada uno de los procesos de la operación. Con esto se espera que en la operación futura de las plantas de la zona de Buenos Aires y Suárez se haga un uso eficiente de estos insumos.

· El costo unitario aproximado que se puede alcanzar con la implementación de la propuesta de adecuación es de COP 55.149.07 por cada gramo de oro, y de USD 577,29 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 59.525,05/g de oro y de USD 623,10/onza troy de oro. Esto corresponde a un margen de utilidad operacional de 50,74%, 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 39.881,78/g de oro y de USD 417,48/onza troy de oro. Esto corresponde a un margen de utilidad neta de 34%, en promedio, para los cinco años contemplados como horizonte de evaluación.

· Se estableció que la inversión en adecuación de las plantas de beneficio de la zona que corresponden a la Unidad Geometalúrgica 1 se justifica desde el punto de vista financiero, ya que los resultados de los indicadores demuestran que los beneficios son mayores que los costos, incluyendo la inversión inicial, y que 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 con las tasas de interés de oportunidad del 20% y 30% anual es inferior a un año.

## 8.7. METODOLOGÍA PARA EL ESTUDIO Y EVALUACIÓN FINANCIERA DEL PROYECTO EN LA UNIDAD GEOMETALÚRGICA 2

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

### VARIABLES DE OPERACIÓN DE LA PLANTA DE BENEFICIO (TÍPICA DE LA ZONA)

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

|  |           |
|--|-----------|
| • Capacidad de procesamiento             | 1 t/h     |
| • Funcionamiento de la planta            | 8 h/día   |
| • Volumen de procesamiento               | 8 t/día   |
| • Turnos por día                         | 1 por día |
| • Días de operación al mes               | 26 días   |
| • Volumen de procesamiento               | 208 t/mes |
| • Tenor por tonelada de material de mina | 42,6      |
| • % Total de recuperación de oro         | 93,2%     |
| • Recuperación total de oro              | 39,70 g/t |

### 8.7.1. ESTUDIO FINANCIERO

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

#### 8.7.1.1. IDENTIFICACIÓN Y VALORACIÓN DE LA INVERSIÓN INICIAL

##### ACTIVOS FIJOS

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

##### • Maquinaria y equipo

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

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

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

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 Unidad Geometalúrgica 2.

| PROCESOS               | MÁQUINA Y DESCRIPCIÓN                            | ESPECIFICACIÓN TÉCNICA         | CANTIDAD |
|------------------------|--|--------------------------------|----------|
| TRITURACIÓN Y MOLIENDA | Caja de pulpa                                    | 0,80 m x 0,80 m x 1 m          | 1        |
|                        | Bomba de sólidos                                 | 2,5" x 2"                      | 3        |
|                        | Hidrociclón 1                                    | 6"                             | 1        |
|                        | Hidrociclón 2                                    | 4"                             | 1        |
| CONCENTRACIÓN          | Tanque acondicionador                            | 1 m <sup>3</sup>               | 1        |
|                        | Celdas de flotación circulares                   | 1,2 m                          | 1        |
|                        | Tanque espesador                                 | 2,5 m                          | 2        |
| CIANURACIÓN            | Tanques de cianuración agitada                   | D=3 m, H=3 m                   | 1        |
| FUNDICIÓN              | Horno con crisol para 15 Kg                      |                                | 1        |
| MANEJO AMBIENTAL       | Bomba para soluciones de 2" x 1,5" de alta       | 3 HP                           | 2        |
|                        | Bomba para soluciones de 2" x 1,5" de baja       | 2 HP                           | 2        |
|                        | Tanque de lámina                                 | Capacidad de 30 m <sup>3</sup> | 2        |
|                        | Tanques auxiliares de polipropileno              | 1000 L                         | 3        |
|                        | Tanques auxiliares de lámina para neutralización | D= 3 m, H=3,5 m                | 1        |
|                        | Tanque reactor                                   | D=3 m; H=3,5 m                 | 1        |

• **Instalaciones eléctricas e hidráulicas**

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

• **Montaje de laboratorio**

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

**ACTIVOS DIFERIDOS**

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

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

• **Licencia ambiental**

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

**8.7.1.2. IDENTIFICACIÓN Y VALORACIÓN DE COSTOS DE OPERACIÓN**

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

De acuerdo con el diagrama de operaciones de la ruta metalúrgica propuesta (diagrama7.3.), los costos de operación se cuantificaron y clasificaron para cada uno de los siguientes procesos:

- Trituración y molienda
- Concentración (gravimétrica y por flotación)

- Cianuración
- Fundición
- Manejo ambiental

**COSTOS DIRECTOS**

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

• **Materia prima**

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

**Fórmula para calcular el costo de la materia prima:**

Costo de material de mina (\$/t) = Au recuperado (g/t) x precio venta (\$) x 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     | 1,3                 | 270,40            |
|                        | Revestimientos trituradora primaria   | kg     | 1,3                 | 270,40            |
|                        | Revestimientos trituradora secundaria | kg     | 1,3                 | 270,40            |
|                        | Revestimientos molino primario        | kg     | 1,3                 | 270,40            |
|                        | Revestimientos molino secundario      | kg     | 0,9                 | 187,20            |
| CONCENTRACIÓN          | Aero 7020 (contratipo A31)            | kg     | 0,045               | 9,36              |
|                        | Aero 8255 (contratipo A31)            | kg     | 0,045               | 9,36              |
|                        | Xantato isopropilico Z6               | kg     | 0,085               | 17,68             |
|                        | Espumante Aero - Froth 65             | kg     | 0,04                | 8,32              |
|                        | Sulfato de cobre                      | kg     | 0,05                | 10,40             |
| CIANURACIÓN            | Cianuro de sodio (NaCN)               | kg     | 3,5                 | 728,00            |
|                        | Cal (CaO)                             | kg     | 3                   | 624,00            |
|                        | Hidróxido de sodio (Potasa)           | kg     | 0,0391              | 8,13              |
|                        | Acetato de plomo                      | kg     | 0,003               | 0,62              |
|                        | Polvo de zinc                         | kg     | 0,024               | 4,99              |
|                        | Xelite (diatomita)                    | kg     | 0,013               | 2,70              |
| FUNDICIÓN              | Bórax                                 | kg     | 0,044               | 9,15              |
|                        | Carbonato de sodio                    | kg     | 0,008               | 1,66              |
|                        | Sílice                                | kg     | 0,025               | 5,20              |
| MANEJO AMBIENTAL       | Floculante                            | kg     | 0,004               | 0,83              |
|                        | Ácido sulfúrico                       | kg     | 0,3                 | 62,40             |
|                        | Peróxido de hidrógeno                 | kg     | 0,23                | 47,84             |
|                        | Hipoclorito de sodio                  | L      | 0,23                | 47,84             |

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

• **Mano de obra**

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

**Salarios de los empleados:**

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

| PROCESO                | CARGO    | CANTIDAD DE OPERARIOS | 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 | 2                     | \$ 781.242                | \$ 88.211                   | \$ 1.738.906               |
| Cianuración            | Operario | 1                     | \$ 781.242                | \$ 88.211                   | \$ 869.453                 |
| <b>Total:</b>          |          |                       |                           |                             | <b>\$ 3.477.812</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.

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

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

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

### MANTENIMIENTO DE LOS BIENES FÍSICOS

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

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

### Fórmula para calcular el costo de mantenimiento

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

### ANÁLISIS Y PRUEBAS DE LABORATORIO

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

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

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

### SERVICIOS PÚBLICOS

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

#### • Costo de energía eléctrica

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

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

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

### Fórmula para calcular el costo mensual de energía eléctrica

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

| PROCESOS               | EQUIPO  | ESPECIFICACIÓN TÉCNICA | POTENCIA MOTOR (H.P.) | POTENCIA MOTOR (K.W.) | CANTIDAD | HORAS DE TRABAJO | Kw/DÍA | Kw/MES        |
|------------------------|---|------------------------|-----------------------|-----------------------|----------|------------------|--------|---------------|
| TRITURACIÓN Y MOLIENDA | Trituradora de mandíbulas                       | 19 cm x 32 cm          | 12                    | 9                     | 1        | 4                | 36     | 936           |
|                        | Trituradora de martillos                        | 24" x 10"              | 15                    | 11,25                 | 1        | 4                | 45     | 1.170         |
|                        | Banda transportadora                            | 18"                    | 2                     | 1,5                   | 1        | 4                | 6      | 156           |
|                        | Molino de bolas primario                        | 0,91 m x 1,60 m        | 20                    | 15                    | 1        | 8                | 120    | 3.120         |
|                        | Molino de bolas secundario                      | 0,90 m x 1,20 m        | 10                    | 7,5                   | 1        | 8                | 60     | 1.560         |
|                        | Bomba de sólidos                                | 2,5" x 2"              | 7,5                   | 5,625                 | 3        | 8                | 135    | 3.510         |
|                        | <b>Total trituración y molienda</b>             |                        |                       |                       |          |                  |        | <b>10.452</b> |
| CONCENTRACIÓN          | Mesa de concentración primaria                  | 1,50 m x 3,70 m        | 3                     | 2,25                  | 1        | 8                | 18     | 468           |
|                        | Mesa de concentración secundaria                | 1,50 m x 3,70 m        | 3                     | 2,25                  | 1        | 8                | 18     | 468           |
|                        | Celdas de flotación circulares                  | 1,34 m                 | 7,5                   | 5,625                 | 2        | 8                | 90     | 2.340         |
|                        | Tanque espesador                                | 2,5 m                  | 2                     | 1,5                   | 2        | 8                | 24     | 624           |
|                        | Tanque acondicionador                           | 1 m³                   | 5                     | 3,75                  | 1        | 8                | 30     | 780           |
|                        | <b>Total concentración</b>                      |                        |                       |                       |          |                  |        | <b>4.680</b>  |
| CIANURACIÓN            | Tanque agitación (lixiviación)                  | D=1,9 m, H=3 m         | 5                     | 3,75                  | 3        | 12               | 135    | 3.510         |
|                        | Compresor                                       |                        | 3                     | 2,25                  | 1        | 8                | 18     | 468           |
|                        | <b>Total cianuración</b>                        |                        |                       |                       |          |                  |        | <b>3.978</b>  |
| MANEJO AMBIENTAL       | Tanque agitado para neutralización              | D= 3 m, H=3,5 m        | 12                    | 9                     | 1        | 8                | 72     | 1.872         |
|                        | Bombas para recirculación de aguas y soluciones | 3 HP                   | 3                     | 3,75                  | 2        | 8                | 60     | 1.560         |
|                        | Bombas para recirculación de aguas y soluciones | 2 HP                   | 2                     | 2,25                  | 2        | 8                | 36     | 936           |
|                        | <b>Total manejo ambiental</b>                   |                        |                       |                       |          |                  |        | <b>4.368</b>  |
| <b>TOTAL</b>           |   |                        |                       |                       |          |                  |        | <b>23.478</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 hídrico, mediante el cual se logró establecer que el consumo específico de agua por tonelada de mineral procesado es de 0.53 m³.

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

$$\text{Costo del agua (\$)} = \text{consumo de agua (m}^3\text{/mes)} \times \text{tarifa m}^3 \text{ (\$)}$$

**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.

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

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

**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.**

**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**

**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..**

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

**Fórmula para calcular el costo total**

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

**8.7.1.3. IDENTIFICACIÓN Y VALORACIÓN DE INGRESOS DE OPERACIÓN**

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

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

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

| CANTIDAD DE MATERIAL PROCESADO (t) | RECUPERACIÓN TOTAL (%)* | CANTIDAD RECUPERADA (g/t) |
|------------------------------------|-------------------------|---------------------------|
| 1                                  | 100                     | 42,6                      |
| 1                                  | 93,2                    | 39,70                     |

(\*) Con la implementación de la propuesta tecnológica se puede alcanzar como mínimo una recuperación de oro equivalente a 93,2%.

(\*\*) Para la zona minera de El Tambo (unidad geometalúrgica 2) se determinó como referencia un tenor de 42,6 gramos, por tonelada.

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

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

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

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

## 8.7.2 EVALUACIÓN FINANCIERA

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

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

### 8.7.2.1 CONSTRUCCIÓN DEL FLUJO DE CAJA DEL PROYECTO

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

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

#### INVERSIÓN INICIAL

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

#### INGRESOS GRAVABLES

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

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

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

#### Fórmula para calcular los ingresos gravables anuales

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

#### EGRESOS DEDUCIBLES

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

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

#### Fórmula para la liquidación de las regalías

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

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

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

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

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

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

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

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

#### UTILIDAD OPERACIONAL

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

#### Fórmula para calcular la utilidad antes de pagar impuestos

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

#### MARGEN DE UTILIDAD OPERACIONAL

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

#### Fórmula para calcular el margen de utilidad operacional

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

#### IMPUESTOS

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

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

#### Fórmula para calcular el impuesto de renta

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

#### UTILIDAD NETA

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

#### Fórmula para calcular la utilidad neta

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

#### MARGEN DE UTILIDAD NETA

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

#### Fórmula para calcular el margen de utilidad neta

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

#### FLUJO NETO DE EFECTIVO

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

#### Fórmula para calcular el flujo neto de efectivo

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

### 8.7.2.2 APLICACIÓN DE MÉTODOS PARA EVALUAR PROYECTOS

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

#### VALOR PRESENTE NETO (VPN):

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

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

**Fórmula para calcular el VPN**

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

**TASA INTERNA DE RETORNO (TIR):**

**Fórmula para calcular la TIR**

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

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

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

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

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

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)**

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

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

## 8.8. ESTUDIO Y EVALUACIÓN FINANCIERA DEL PROYECTO EN LA UNIDAD GEOMETALÚRGICA 2

En esta sección se presentan los resultados de la estimación del monto de recursos económicos que se requieren para la inversión inicial, los costos totales y el valor de la producción en función de los parámetros de operación definidos para la planta, y los indicadores que comprueban la viabilidad financiera del proyecto, de acuerdo con las condiciones iniciales de la Unidad Geometalúrgica 2.

**Inversión inicial**

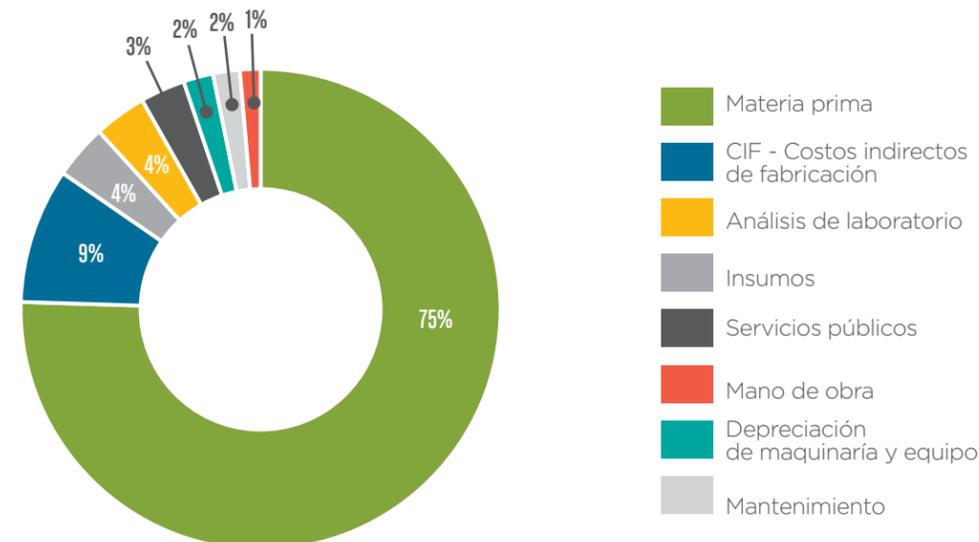
| DESCRIPCIÓN                            | COSTO                 | % PARTICIPACIÓN EN INVERSIÓN |
|--|-----------------------|------------------------------|
| <b>Activos fijos</b>                   |                       |                              |
| Maquinaria y equipo                    | \$ 485.323.650        | 93%                          |
| Instalaciones eléctricas e hidráulicas | \$ 33.798.000         | 7%                           |
| <b>Total activos fijos</b>             | <b>\$ 519.121.650</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                                | \$ 293.494.630        |
| Insumos                                      | \$ 14.237.157         |
| Mano de obra                                 | \$ 5.376.368          |
| Mantenimiento                                | \$ 7.024.377          |
| Análisis y pruebas de laboratorio            | \$ 13.750.000         |
| Servicios públicos                           | \$ 11.742.685         |
| Depreciación de maquinaria y equipo          | \$ 7.804.864          |
| <b>Total costos directos</b>                 | <b>\$ 353.430.081</b> |
| <b>Costos indirectos</b>                     |                       |
| CIF - Costos indirectos de fabricación       | \$ 35.343.008         |
| <b>Total costos indirectos</b>               | <b>\$ 35.343.008</b>  |
| <b>Total costos: (directos + indirectos)</b> | <b>\$ 388.773.089</b> |

**Estructura de costos de operación futura en la planta de beneficio**



**Ingresos de operación – mes**

| PROCESO       | RECUPERACIÓN DE ORO % | RECUPERACIÓN DE ORO (g/t) | PRODUCCIÓN DE ORO (gramos) | PRECIO UNITARIO DE ORO (\$/g)* | COP (\$)              |
|---------------|-----------------------|---------------------------|----------------------------|--------------------------------|-----------------------|
| Cianuración   | 93,2                  | 39,70                     | 8.258                      | \$ 118.465                     | \$ 978.315.434        |
| <b>Total:</b> |                       |                           |                            |                                | <b>\$ 978.315.434</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                          | \$ 519,121,650         |                         |                         |                         |                         |                         |
| Activos diferidos                      |                        |                         |                         |                         |                         |                         |
| <b>TOTAL INVERSIÓN INICIAL</b>         | <b>-\$ 519,121,650</b> |                         |                         |                         |                         |                         |
| <b>(2) INGRESOS GRAVABLES (+)</b>      |                        |                         |                         |                         |                         |                         |
| Ingresos operacionales                 |                        | \$ 11,739,785,212       | \$ 12,091,978,768       | \$ 12,454,738,131       | \$ 12,828,380,275       | \$ 13,213,231,683       |
| <b>(3) EGRESOS DEDUCIBLES (-)</b>      |                        |                         |                         |                         |                         |                         |
| Costos operacionales                   |                        | \$ 4,571,618,708        | \$ 4,694,439,913        | \$ 4,820,936,555        | \$ 4,951,219,282        | \$ 5,089,390,756        |
| Depreciación                           |                        | \$ 93,658,365           | \$ 93,658,365           | \$ 93,658,365           | \$ 93,658,365           | \$ 93,658,365           |
| Regalías                               |                        | \$ 375,673,127          | \$ 386,943,321          | \$ 398,551,620          | \$ 410,508,169          | \$ 422,823,414          |
| <b>TOTAL EGRESOS DEDUCIBLES</b>        |                        | <b>\$ 5,040,950,199</b> | <b>\$ 5,175,041,598</b> | <b>\$ 5,313,146,541</b> | <b>\$ 5,455,385,816</b> | <b>\$ 5,605,872,535</b> |
| <b>(4) UTILIDAD ANTES DE IMPUESTOS</b> |                        | <b>\$ 6,698,835,012</b> | <b>\$ 6,916,937,170</b> | <b>\$ 7,141,591,590</b> | <b>\$ 7,372,994,459</b> | <b>\$ 7,607,359,148</b> |
| <b>(5) MÁRGEN UTILIDAD OPERACIONAL</b> |                        | <b>57.1%</b>            | <b>57.2%</b>            | <b>57.3%</b>            | <b>57.5%</b>            | <b>57.6%</b>            |
| <b>(6) IMPUESTOS (-)</b>               |                        |                         |                         |                         |                         |                         |
| IMPUESTO DE RENTA (33%) (-)            |                        | \$ 2,210,615,554        | \$ 2,282,589,266        | \$ 2,356,725,225        | \$ 2,433,088,171        | \$ 2,510,428,519        |
| <b>TOTAL IMPUESTOS</b>                 |                        | <b>\$ 2,210,615,554</b> | <b>\$ 2,282,589,266</b> | <b>\$ 2,356,725,225</b> | <b>\$ 2,433,088,171</b> | <b>\$ 2,510,428,519</b> |
| <b>(7) UTILIDAD NETA</b>               |                        | <b>\$ 4,488,219,458</b> | <b>\$ 4,634,347,904</b> | <b>\$ 4,784,866,366</b> | <b>\$ 4,939,906,287</b> | <b>\$ 5,096,930,629</b> |
| <b>(8) MÁRGEN DE UTILIDAD NETA</b>     |                        | <b>38.2%</b>            | <b>38.3%</b>            | <b>38.4%</b>            | <b>38.5%</b>            | <b>38.6%</b>            |
| <b>(9) DEPRECIACIÓN (+)</b>            |                        | <b>\$ 93,658,365</b>    |
| <b>(10) FLUJO NETO DE EFECTIVO</b>     | <b>-\$ 519,121,650</b> | <b>\$ 4,581,877,823</b> | <b>\$ 4,728,006,269</b> | <b>\$ 4,878,524,731</b> | <b>\$ 5,033,564,652</b> | <b>\$ 5,190,588,994</b> |

### 8.8.1. RESULTADOS E INTERPRETACIÓN DE INDICADORES DE EVALUACIÓN FINANCIERA EN LA UNIDAD GEOMETALÚRGICA 2

El VPN del proyecto de la Unidad Geometalúrgica 2, a una tasa de descuento del 20% es de trece mil novecientos diecinueve millones ciento un mil doscientos setenta y ocho pesos, m. cte. (\$13 919 101 278).

El VPN del proyecto de la Unidad Geometalúrgica 2, a una tasa de descuento del 30% es de once mil ciento ochenta y tres millones novecientos cuarenta y tres mil doscientos setenta y siete pesos, m. cte. (\$11 183 943 277).

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 del 886% anual, 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 del 886 % anual.

Para este proyecto, la relación beneficio-costo (RB/C) a tasas de interés de oportunidad del 20% y 30% es de 2.38, 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.

### 8.9. ESTUDIO FINANCIERO DE LA OPERACIÓN ACTUAL VS. LA OPERACIÓN FUTURA EN LA UNIDAD GEOMETALÚRGICA 2

En esta sección se exponen los resultados del estudio financiero de la operación actual de la planta que corresponde a la Unidad geometalúrgica 2 (zona de El Tambo), a partir de los cuales se estableció una base de comparación (en términos de porcentaje de recuperación, cantidad de oro recuperado, costo unitario de producción, margen de utilidad operacional y de utilidad neta), para analizar la viabilidad económica de la implementación de la ruta metalúrgica propuesta.

#### VARIABLES DE OPERACIÓN DE LA PLANTA DE BENEFICIO ACTUAL

- Capacidad de procesamiento 0.63 t/h
- Funcionamiento de la planta 8 h/día
- Volumen de procesamiento 5 t/día
- Turnos por día 1 por día
- Días de operación al mes 26 días
- Volumen de procesamiento 130 t/mes
- Tenor por tonelada de material de mina 32,6
- % Total de recuperación de oro 70%
- Recuperación total de oro 22,82 g/t

Es importante tener en cuenta que el tenor de la zona El Tambo que se utilizó para simular las condiciones actuales de operación es de 32.6 g/t, mientras que en los parámetros de operación futura se utilizó como referencia un tenor mayor, considerando que al hacer voladuras selectivas desde la mina es posible disminuir la dilución y aumentar el tenor del mineral a mínimo 42.6 g/t.

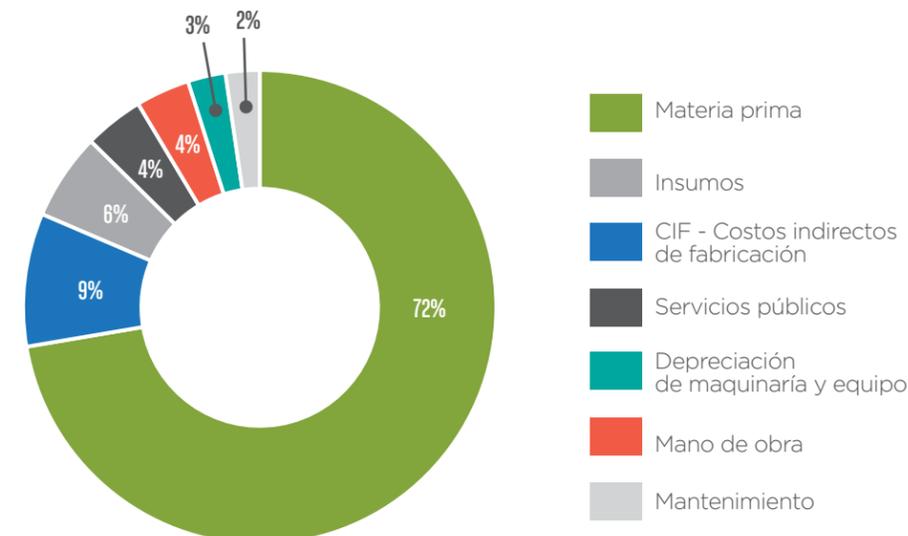
#### Indicadores de evaluación financiera - Proyecto Unidad Geometalúrgica 2

| INDICADOR                        | TD 20%                               | TD 30%                               |
|----------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|
| Valor presente neto (VPN)        | COP 13.919.101.278<br>USD* 4.639.700 | COP 11.183.943.277<br>USD* 3.727.981 |
| Tasa interna de retorno (TIR)    | 886%                                 | 886%                                 |
| Relación beneficio / costo (B/C) | 2,38                                 | 2,38                                 |

Tasa de cambio utilizada COP \$3000/USD.

### 8.9.1 RESULTADOS DE LA OPERACIÓN ACTUAL

Estructura de costos de operación actual



#### Ingresos de operación actual – mes

| PROCESO       | RECUPERACIÓN DE ORO % | RECUPERACIÓN DE ORO (g/t) | PRODUCCIÓN DE ORO (gamos) | PRECIO UNITARIO DE ORO (\$/g)* | COP (\$)              |
|---------------|-----------------------|---------------------------|---------------------------|--------------------------------|-----------------------|
| Cianuración   | 70                    | 22,82                     | 2.967                     | \$ 118.465                     | \$ 351.438.269        |
| <b>Total:</b> |                       |                           |                           |                                | <b>\$ 351.438.269</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                    | \$ 4,217,259,228        | \$ 4,343,777,005        | \$ 4,474,090,315        | \$ 4,608,313,024        | \$ 4,746,562,415        |
| <b>(3) EGRESOS DEDUCIBLES (-)</b>         |                         |                         |                         |                         |                         |
| Costos operacionales                      | \$ 1,703,930,704        | \$ 1,750,798,456        | \$ 1,799,077,846        | \$ 1,848,811,903        | \$ 1,902,462,588        |
| Depreciación                              | \$ 45,126,000           | \$ 45,126,000           | \$ 45,126,000           | \$ 45,126,000           | \$ 45,126,000           |
| Regalías                                  | \$ 134,952,295          | \$ 139,000,864          | \$ 143,170,890          | \$ 147,466,017          | \$ 151,889,997          |
| <b>TOTAL EGRESOS DEDUCIBLES</b>           | <b>\$ 1,884,008,999</b> | <b>\$ 1,934,925,320</b> | <b>\$ 1,987,374,736</b> | <b>\$ 2,041,403,919</b> | <b>\$ 2,099,478,585</b> |
| <b>(4) UTILIDAD ANTES DE IMPUESTOS</b>    | <b>\$ 2,333,250,229</b> | <b>\$ 2,408,851,685</b> | <b>\$ 2,486,715,579</b> | <b>\$ 2,566,909,105</b> | <b>\$ 2,647,083,830</b> |
| <b>(5) MÁRGEN DE UTILIDAD OPERACIONAL</b> | <b>55.33%</b>           | <b>55.46%</b>           | <b>55.58%</b>           | <b>55.70%</b>           | <b>55.77%</b>           |
| <b>(6) IMPUESTOS (-)</b>                  |                         |                         |                         |                         |                         |
| IMPUESTO DE RENTA (33%) (-)               | \$ 769,972,575          | \$ 794,921,056          | \$ 820,616,141          | \$ 847,080,005          | \$ 873,537,664          |
| <b>TOTAL IMPUESTOS</b>                    | <b>\$ 769,972,575</b>   | <b>\$ 794,921,056</b>   | <b>\$ 820,616,141</b>   | <b>\$ 847,080,005</b>   | <b>\$ 873,537,664</b>   |
| <b>(7) UTILIDAD NETA</b>                  | <b>\$ 1,563,277,653</b> | <b>\$ 1,613,930,629</b> | <b>\$ 1,666,099,438</b> | <b>\$ 1,719,829,100</b> | <b>\$ 1,773,546,166</b> |
| <b>(8) MÁRGEN DE UTILIDAD NETA</b>        | <b>37.07%</b>           | <b>37.16%</b>           | <b>37.24%</b>           | <b>37.32%</b>           | <b>37.36%</b>           |
| <b>(9) DEPRECIACIÓN (+)</b>               | <b>\$ 45,126,000</b>    |
| <b>(10) FLUJO NETO DE EFECTIVO</b>        | <b>\$ 1,608,403,653</b> | <b>\$ 1,659,056,629</b> | <b>\$ 1,711,225,438</b> | <b>\$ 1,764,955,100</b> | <b>\$ 1,818,672,166</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.

## 8.9.2. RESUMEN DE INDICADORES DE OPERACIÓN ACTUAL VS OPERACIÓN FUTURA

| INDICADOR  | UNIDAD   | OPERACIÓN ACTUAL | OPERACIÓN FUTURA |
|--|----------|------------------|------------------|
| Recuperación oro (g/t)                             | %        | 70,00%           | 93,20%           |
| Cantidad de oro recuperado por tonelada            | g        | 22,82            | 39,70            |
| Costo de producción unitario por gramo de oro      | COP (\$) | \$ 49.131,91     | \$ 47.076,84     |
| Costo de producción unitario por onza troy de oro  | USD (\$) | \$ 514,30        | \$ 492,79        |
| Utilidad antes de impuestos por gramo de oro       | COP(\$)  | \$ 65.542,21     | \$ 67.597,28     |
| Utilidad antes de impuestos por onza troy de Oro   | USD(\$)  | \$ 686,08        | \$ 707,60        |
| Margen de utilidad operacional - (promedio 5 años) | %        | 55,57%           | 57,33%           |
| Utilidad después de impuestos por gramo de oro     | COP (\$) | \$ 43.913,28     | \$ 45.290,17     |
| Utilidad después de impuestos por onza troy de oro | USD(\$)  | \$ 459,68        | \$ 474,09        |
| Margen de utilidad neta (promedio 5 años)          | %        | 37,23%           | 38,41%           |
| Indicador de productividad (producto/insumo)       |          | 2,41             | 2,52             |

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

## 8.9.3. ANÁLISIS DE RESULTADOS DE INDICADORES DE OPERACIÓN ACTUAL Vs OPERACIÓN FUTURA EN LA UNIDAD GEOMETALÚRGICA 2

La adopción integral de la propuesta de ruta metalúrgica para la Unidad Geometalúrgica 2 (zona de El Tambo) permite a la empresa minera incrementar la productividad total en aproximadamente 4.37%, al pasar de una razón de producto/insumo total de 2,41, en las condiciones de la producción actual, a una razón de productividad de 2,52 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 estas prácticas responsables con en el medio ambiente 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 49.131,91, mientras que se espera que con la operación futura el costo unitario del gramo de oro sea de COP 47.076,84. Este resultado indica una reducción efectiva de los costos unitarios de 4,18%.

**En el escenario actual de la planta correspondiente a la Unidad Geometalúrgica 2, el costo unitario de producir un gramo de oro es de COP 49.131.91, mientras que la implementación de la propuesta lo reduce a COP 47.076,84. Esta disminución en el costo, junto con el aumento de los ingresos por un mayor porcentaje de recuperación de oro y el aumento del tenor del mineral, se traduce en un incremento de la unidad neta de 3.14%.**

Esta reducción de costos unitarios de producción de la Unidad Geometalúrgica 2, junto con el aumento en el porcentaje del gramo de oro recuperado por cada tonelada de mineral procesado (de 70% a 93,2%), y el incremento del tenor del mineral (de 32,6 g/t a 42,6 g/t), resulta en un aumento del margen de utilidad neta proyectada para los cinco años evaluados, al pasar de 37,23% en la actualidad, a 38,41% en la operación futura. Debe tenerse en cuenta que en el escenario de simulación de la operación futura se utiliza como referencia un tenor de 42,6 gramos por cada tonelada de mineral.

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.



## 8.10. CONSIDERACIONES SOBRE LA OPERACIÓN ACTUAL DE LA PLANTA DE BENEFICIO UNIDAD GEOMETALÚRGICA 2

En el estudio financiero de la operación actual de la planta definida para la zona correspondiente a la Unidad Geometalúrgica 2 se utilizó como referencia un porcentaje de recuperación de oro de 70% por cada tonelada de material mineral procesado, de acuerdo con la información suministrada por el equipo técnico.

Teniendo en cuenta que el tenor de la zona minera de El Tambo correspondiente a la Unidad Geometalúrgica 2 es de 32,6 gramos, aproximadamente, y que la operación actual permite una recuperación promedio del 70%, en el estudio financiero se estimó una recuperación de 22,82 gramos por cada tonelada de mineral procesado.

Los rubros más representativos en la estructura de costos de la operación actual de la planta, correspondiente a la Unidad Geometalúrgica 2, son la materia prima y los insumos, cada uno con una participación sobre los costos totales de 72% y 6%, respectivamente.

Se estableció que las plantas de beneficio de la zona tienen un consumo promedio de 2,1 m3 por cada tonelada de mineral procesado.

Las plantas de beneficio que corresponden a la Unidad Geometalúrgica 2 se encuentran en buen estado y cuentan con superficies que se prestan a ampliaciones y reformas.

Se determinó que a partir de la implementación de la ruta metalúrgica propuesta para la Unidad Geometalúrgica 2 se puede incrementar la capacidad de procesamiento de la planta a 24 toneladas por día, lo que implica una modernización de los medios de extracción del mineral.

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 10.394 kW/mes.

El costo unitario aproximado, teniendo en cuenta los parámetros de la operación actual definidos para la planta, es de COP 49.131,91 por cada gramo de oro, y de USD 514,30 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 65.542,21/g de oro y de USD 686,08/onza troy de oro. Esto corresponde a un margen de utilidad operacional de 55.57%, en promedio, para los cinco años contemplados como horizonte de evaluación.

La ganancia unitaria neta (después de pagar impuestos), en la operación actual de la planta es de COP 43.913,28/g de oro y de USD 459,68/onza troy de oro. Esto corresponde a un margen de utilidad neta de 37,23%, en promedio, para los cinco años contemplados como horizonte de evaluación.



## 8.11. CONSIDERACIONES SOBRE LA OPERACIÓN FUTURA DE LA PLANTA DE BENEFICIO UNIDAD GEOMETALÚRGICA 2

- Con base en la capacidad promedio instalada de las plantas de beneficio de la zona se estableció un potencial de procesamiento anual de 2.496 toneladas de material de mina, lo cual implica un funcionamiento de la planta de 26 días al mes y un procesamiento de 8 toneladas de material mineral al día.
- La implementación de la propuesta de adecuación tecnológica permite alcanzar hasta un 93,2% de recuperación de oro por tonelada. Este porcentaje es mayor con relación a la recuperación promedio que se tiene en esta zona, correspondiente a la Unidad Geometalúrgica 2.
- Teniendo en cuenta que el tenor de la zona minera de El Tambo, correspondiente a la Unidad Geometalúrgica 2, puede llegar a ser de 42,6 gramos por tonelada, y que la implementación de la ruta metalúrgica en la operación futura permite una recuperación mínima del 93,2%, se espera una recuperación de 39,70 gramos por cada tonelada de mineral procesado.
- Se definió un esquema conservador, en el cual se obtiene una recuperación de oro equivalente al 93,2% por cada tonelada de material mineral procesado. Sin embargo, estos rendimientos pueden ser superiores al 95%.
- A partir de las características de la planta y de las variables de operación definidas por el equipo técnico se realizó un inventario de la maquinaria y los equipos nuevos que se deben adquirir para mejorar algunos de los procesos que se están llevando a cabo en la operación actual de las plantas de beneficio de la Unidad Geometalúrgica 2, con el fin de implementar los nuevos procesos que se detallan en la ruta metalúrgica contenida en la presente guía. El monto de recursos que deben invertirse para la adecuación es de COP 519.121.650.
- La definición del inventario de maquinaria y equipo nuevos, con sus respectivas especificaciones técnicas, se determinó a partir del inventario inicial de las plantas de la zona que corresponden a la Unidad Geometalúrgica 2. Esto se hizo con el objetivo de no incurrir en costos innecesarios y optimizar los recursos disponibles para la inversión.
- El rubro más representativo de la estructura de costos de la operación futura de la planta es la materia prima, con una participación sobre los costos totales de 75%.
- 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 23.478 kW/mes.
- A partir de experimentos de laboratorio efectuados por el equipo técnico se determinó la dosificación adecuada de los insumos y elementos químicos que se deben utilizar en cada uno de los procesos de la operación. Con esto se espera que en la operación futura de las plantas de la zona de El Tambo se haga un uso eficiente de estos insumos.
- El costo unitario aproximado que se puede alcanzar con la implementación de la propuesta de adecuación es de COP 47.076,84 por gramo de oro, y de USD 492,79 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 pueden racionalizarse con la inversión futura en el montaje de un laboratorio. Se prevé que este laboratorio puede tener una demanda potencial de las empresas mineras de la zona.
- El precio de venta que se utilizó como referencia para el estudio financiero de la operación futura corresponde al precio del oro promedio internacional en el 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 67.597,28/g de oro, y de USD 707,60/onza troy de oro. Esto corresponde a un margen de utilidad operacional del 57,33%, 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 45.290,17/g de oro y de USD 474,09/onza troy de oro. Esto corresponde a un margen de utilidad neta de 38,41%, en promedio, para los cinco años contemplados como horizonte de evaluación.
- Se estableció que la inversión en adecuación de las plantas de beneficio de la zona que corresponden a la Unidad Geometalúrgica 2 se justifica desde el punto de vista financiero, ya que los resultados de los indicadores demuestran que los beneficios son mayores que los costos, incluyendo la inversión inicial, y que 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 con las tasas de interés de oportunidad del 20% y 30% anual es inferior a un año.

Panorámica del embalse de la Salvajina ubicada en el municipio de Suárez (Cauca)  
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 filíca:** 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 físicas 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 hundan, 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 á = ángulo de buzamiento. En esta fórmula, el ángulo "á" 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 geológica - 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 les 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 lixivante 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 relación 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 dinamo-térmico. 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 cataclasitas y milonitas asociadas.

Molino de bolas en planta de beneficio.  
Fotografía tomada por: Benedicto Galindo / Servicio Geológico Colombiano



# - 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.

- Awwa, Apha, Wef (2012). *Standard Methods for the examination of water and wastewater* (22.ª 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.

- 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.

- 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). Evaluacion metalurgica del distrito minero de. Buenos aires (Cauca). Proyecto de evaluación metalúrgica y procesos de beneficio de depositos 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 domesticas-ARnD a cuerpos de aguas superficiales de actividades de minería.

- Minambiente (2014). Plan Único Nacional de Mercurio.

- 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). Sinopsis nacional de la minería aurífera artesanal y de pequeña escala, p. 72.

- 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.

- 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.eltambo-cauca.gov.co/>
- <http://www.suarez-cauca.gov.co/>
- <http://www.buenosaires-cauca.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/metalurgia/equipos-de-flotacion/>
- <https://www.911metallurgist.com/metalurgia/cianuracion-oro-plata/>
- Created by Luis\_molinero - Freepik.com
- Created by Starline - Freepik.com
- Created by Macrovector - Freepik.com
- Created by Brgfx - Freepik.com

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

**SUÁREZ, BUENOS AIRES Y EL TAMBO (CAUCA)**

ISBN: 978-958-52286-7-2



El futuro  
es de todos

Minenergía