



**MINISTERIO DE MINAS Y
ENERGÍA**

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

DEPARTAMENTO DEL CHOCÓ



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

DEPARTAMENTO DEL CHOCÓ



**MINISTERIO DE MINAS Y
ENERGÍA**

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

ISBN digital:
978-628-95485-4-9



AUTORES

Supervisor del proyecto y coordinador del grupo de trabajo Cali del SGC

Jorge Iván Londoño Escobar. Ingeniero químico, MSc. en Ciencias Químicas

Grupo de geología

Jaime Mojica Buitrago. Geólogo, experto en petrografía (responsable del grupo)

Paulo Duarte Hernández. Geólogo

Grupo de minería

Philly Mabel Abueta. Ingeniera de minas, MSc. en Ingeniería Sanitaria y Ambiental

Grupo de metalurgia

Fabián Andrés Ramírez Pita. Ingeniero metalúrgico (responsable del grupo)

Gabriel Kamilo Pantoja. Ingeniero químico, MSc. en Ciencias, en Ingeniería Metalúrgica y de Materiales, DSc. en Ciencias en Ingeniería Metalúrgica y de Materiales

Grupo de química

Verónica Ruiz Solano. Química, MSc. en Ingeniería Sanitaria y Ambiental (responsable del grupo)

Viviana Fernanda Pérez. Química (responsable de gestión de calidad)

Óscar Fernando González. Químico, MSc. en Ciencias Químicas

Liseth Irene Franco. Ingeniera sanitaria y ambiental. Especialista en gerencia y ambiental y desarrollo sostenible empresarial

Estudio y evaluación financiera

Yury Marentes Laverde. Economista

EQUIPO TÉCNICO DE APOYO DEL SERVICIO GEOLÓGICO COLOMBIANO

Grupo de geología

Óscar David Cardona Sánchez. Geólogo

Julián Vélez Correa. Geólogo

Anderson Agudelo Muñoz. Pasante, estudiante de Geología

Grupo de metalurgia

Silvia Natalia Fuentes Torres. Ingeniera metalúrgica

Diana Sofía Muñoz. Ingeniera química

Juan Pablo Guerrero. Pasante, estudiante de Ingeniería Química

Grupo de química

Annie Alexandra Arango. Química

Daniel Castañeda Pinzón. Tecnólogo químico

Giovanni Andrés Alarcón. Asistente operativo

Andrés Castrillón. Asistente operativo

Andrea Geseell Cadena. Pasante, estudiante de Química

María Alejandra Correa. Pasante, estudiante de de Ingeniería Sanitaria y Ambiental

Diseño y diagramación

Juan Sebastián Garzón. Diseñador industrial

Director técnico de laboratorios del SGC

Hernando Alberto Camargo. Químico, Ph.D en Química

Apoyo a la supervisión del proyecto por parte del Ministerio de Minas y Energía

Fernanda Polanía Escobar

Fotografía de portada: La imagen de portada muestra a un integrante del equipo técnico del SGC en la mina La batea, municipio de Cértegui (Chocó) socializando con un minero el método de bateo utilizado para la refinación del oro aluvial. Fotografía tomada por Verónica Ruíz, Servicio Geológico Colombiano.

Las figuras o fotografías de esta guía que no están atribuidas a fuentes externas son de los autores del libro.

Departamento de Geociencias, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional de Colombia. Grupo de Investigación Caracterización Tecnológica de Minerales

Ariel Oswaldo Cadena Sánchez

Químico. MSc. en Ciencias Químicas, Ph.D en Ciencias Químicas

Profesor Juan Carlos Molano Mendoza

Geólogo. MSc. en Geología Económica

Nathalia Marcela Guerrero Higuera

Geóloga. Especialista en Geoquímica

Miltón Julián Morales

Geólogo. MSc. en Geología

Juan Sebastián Durán

Geocientífico

Andres Felipe Moreno

Geólogo

Grupo Técnico de la Facultad de Geología de la Universidad de Caldas, Proyecto Geometalúrgico

Sergio José Castro

Ingeniero de minas y metalurgia. Esp. en Técnicas Mineras. MSc. Ingeniería de Materiales y Procesos

Luz Mary Toro Toro

Ingeniera Geóloga. Esp. en Sensores Remotos Aplicados Geología. MSc. en Ciencias - Geología. MSc. Educación

Mauricio Alvarán Echeverri

MSc. en Ciencias - Geología. Especialista en Sismología. Especialista en Docencia Universitaria

Diego Germán Loaiza García

Geólogo. Candidato a magíster, énfasis en Yacimientos Minerales

COMITÉ EDITORIAL DEL SGC

ceditorial@sgc.gov.co

Presidente

Viviana Dionicio

Integrantes

Mario Andrés Cuéllar

Gloria Prieto Rincón

Marta Calvache Velasco

Hernán Olaya Dávila

Humberto Andrés Fuenzalida

Hernando Camargo

Margarita Bravo Guerrero

Virgilio Amaris Ibañez

Teresa Duque

Julián Escallón

Armando Espinosa

Juan Guillermo Ramírez

Manuel Hernando Romero

DISTRITO MINERO DEL SUR DEL DEPARTAMENTO DE BOLÍVAR

Citación: Londoño, J., Mojica, J., Duarte, P., Abueta, F., Ramírez, F., Pantoja, G., Ruíz, V., Pérez, V., González, O., Franco, L. y Marentes, Y. (2020). *Guía metodológica para el mejoramiento productivo del beneficio de oro sin el uso de mercurio. Departamento del Chocó*. Servicio Geológico Colombiano.

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



Este documento se ha elaborado en el marco del proyecto “Caracterización geometalúrgica y geoambiental de materiales de origen geológico” del SGC, enfocado en la elaboración de guías metodológicas para la eliminación del mercurio en la pequeña minería de oro, ejecutado entre el Ministerio de Minas y Energía y el Servicio Geológico Colombiano, y su propósito es la realización de una caracterización mineralógica, química, metalúrgica y ambiental de la zona minera del Chocó, aplicada al mejoramiento productivo de la extracción del oro.

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

Servicio Geológico Colombiano
Dirección de Laboratorios, Grupo de Trabajo Cali



© **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, a la Universidad Nacional de Colombia y la Universidad de Caldas.

Asimismo, agradecen a los mineros de la zona del Chocó, 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.

CONTENIDO

INTRODUCCIÓN

1. MARCO DE REFERENCIA	
1.1. Descripción de la situación actual	18
1.2. Descripción de la necesidad	20
1.3. Objetivos	23
1.3.1. Objetivo general	23
1.3.2. Objetivos específicos	23
1.4. Alcance	23
2. METODOLOGÍA DE TRABAJO	
2.1. Revisión bibliográfica	26
2.2. Muestreo	26
2.2.1. Selección del sitio de muestreo	26
2.2.2. Recolección de muestras	26
2.3. Descripción del proceso de separación de minerales pesados	27
2.3.1. Preparación de muestras de origen aluvial	28
2.4. Análisis e interpretación	28
2.5. Pruebas	29
2.6. Propuesta de ruta metalúrgica	
3. CARACTERÍSTICAS DE LA ZONA DE ESTUDIO	
3.1. Municipio de Condoto (Chocó)	33
3.2. Municipio de Tadó (Chocó)	33
3.3. Municipio de Cértegui (Chocó)	34
3.4. Municipio de Unión Panamericana (Chocó)	35
3.5. Localización de la zona de estudio	35
3.5.1. Vías de acceso	36
3.6. Ubicación geográfica de las minas y plantas de beneficio para el muestreo geometalúrgico	37
4. ASPECTOS GEOLÓGICOS	
4.1. fundamentos teóricos: geología y yacimientos minerales	39
4.1.1. Generalidades de yacimientos auríferos	40
4.2. Fundamentos de los depósitos de placer	44
4.2.1. Depósitos residuales	45
4.2.2. Depósitos eluviales	46
4.2.3. Depósitos glaciares	46
4.2.4. Depósitos eólicos	46
4.2.5. Depósitos de playa	46
4.2.6. Depósitos aluviales	46
4.2.7. Depósitos de terrazas y paleoplaceres	48
4.3. Geología y mineralogía del distrito	48
4.3.1. Geología regional	48
4.3.2. Sucesión estratigráfica	49
4.3.2.3. Complejo ultramáfico zonado Alto Condoto	50
4.3.3. Geología local	53
4.3.4. Secuencia estratigráfica	54
4.3.5. Procesos erosivos y de meteorización	55
4.3.6. Geología estructural	56
4.3.7. Metalogénesis y mineralización aurífera	56
4.3.8. Caracterización mineralógica del oro aluvial	59
4.3.9. Características morfológicas del oro	63
4.3.10. Análisis cuantitativo de partículas de platino	70
4.3.11. Modelo Metalogénico	73
4.3.12. Unidades geometalúrgicas (UGMs)	74
4.4. Consideraciones en geología y mineralogía para el beneficio	75
5. ASPECTOS MINEROS	
5.1. fundamentos técnico - mineros	77
5.1.1. Etapas de un proyecto minero	77

5.1.2. Métodos de Explotación	79
5.1.2.1. Métodos de arranque	79
5.1.2.2. Cargue y Transporte de Mineral	80
5.2. Metodología de trabajo	82
5.2.1. Características de las explotaciones mineras visitadas en el Chocó	84
5.3. Tipos de explotaciones mineras identificadas	84
5.3.1. Barequeo (mazamorreo)	84
5.3.2. Mini dragas y elevadoras	85
5.3.3. Chorreo o proceso de monitor artesanal y agua corrida	86
5.3.4. Explotación con retroexcavadora	86
5.3.5. Lavado y beneficio	87
5.3.6. Explotación aluvial en la mina Clidio, sector Tapacundó, municipio de Condoto	87
5.3.7. Explotación aluvial en la mina Auvert, municipio de Condoto	88
5.3.8. Explotación aluvial en la mina La Platina, sector Playa de Oro, municipio de Tadó	89
5.3.9. Explotación aluvial en la mina La Loma, sector Playa de Oro, municipio de Tadó	90
5.3.10. Explotación aluvial en la mina Carmelito, vereda El Carmelo, municipio de Tadó	90
5.3.11. Explotación aluvial en la mina El Coco, vereda La Balastrera, municipio de Tadó	91
5.3.12. Explotación aluvial en la mina La Toma, vereda Agua Clara, municipio de Unión Panamericana	92
5.3.14. Explotación aluvial en la mina Casablanca-Candelaria, municipio de Cértegui	93
5.3.15. Explotación aluvial en la mina La Batea, municipio de Cértegui	94
5.3.16. Explotación aluvial en la mina Calo, municipio de Cértegui	94
5.4. Consideraciones técnicas para la explotación aluvial	95
5.4.1. Etapas de una explotación Aluvial	95
5.5. Consideraciones geotécnicas para el manejo de los suelos aluviales	97
5.6. Conclusiones	106
6. ASPECTOS METALÚRGICOS	
6.1. Fundamentos técnicos del proceso de beneficio metalúrgico	108
6.1.1. Beneficio de minerales en planta	108
6.1.2. Clasificación granulométrica	108
6.1.3. Clasificación hidráulica	109
6.1.4. Concentración de minerales auríferos por gravimetría	111
6.1.5. Concentración de minerales auríferos por flotación	114
6.1.6. Fundición	116
6.1.7. Tratamiento de residuos sólidos en aguas	116
6.2. Proceso de beneficio desarrollado actualmente	117
6.2.1. Plantas de beneficio del municipio de Condoto	117
6.2.2. Plantas de beneficio del municipio de Tadó	119
6.2.3. Plantas de beneficio del municipio de Unión Panamericana	120
6.2.4. Plantas de beneficio del municipio de Cértegui	121
6.3. Tenores de oro en plantas visitadas	122
6.4. Pruebas metalúrgicas de laboratorio	123
6.4.1. Propiedades físicas de los minerales de estudio	123
6.4.2. Acondicionamiento del mineral para las pruebas metalúrgicas	123
6.4.3. Concentración en mesa del mineral de cabeza	123
6.4.4. Concentración por centrifugación (Knelson)	124
6.4.5. Concentración por flotación	125
6.5. Consideraciones mineralógicas determinantes en las operaciones y procesos metalúrgicos	128
7. ASPECTOS QUÍMICOS Y AMBIENTALES	
7.1. Contribución química a la caracterización y el control de procesos metalúrgicos y ambientales	131
7.2. Fundamentos teóricos: métodos y aplicaciones químicas y ambientales	131
7.2.1. Fundamentos teóricos ambientales	132
7.2.2. Tipos de muestras y análisis químicos a aplicar	135
7.2.3. Fundamentos teóricos químicos: métodos y aplicaciones químicas y ambientales	137
7.3. Generalidades	140
7.3.1. Biodiversidad en el departamento del Chocó	140
7.3.2. Hidrografía del departamento del Chocó	141
7.3.3. Actividad minera en el departamento del Chocó en relación con la sociedad y el medio ambiente	142
7.4. Impactos ambientales asociados a la práctica de la minería de aluvión	143
7.4.1. Impactos físicos en los componentes biótico y abiótico	143
7.4.2. Alteración de las dinámicas ecológicas	143
7.4.3. Erosión del suelo	144
7.4.4. Cambios en la dinámica fluvial	144

7.4.5. Impactos por la sedimentación y turbiedad de las fuentes hídricas en torno a la minería de aluvión	145
7.4.6. Alteración de sedimentos por minería de barequeo	145
7.4.7. Alteración de sedimentos por minería mecanizada	145
7.5. Oportunidades de mejora en el manejo ambiental en la explotación aluvial	146
7.5.1. Explotación y movimiento de materiales	147
7.5.2. Tratamiento de aguas	147
7.5.3. Cierre de minas	147
7.6. Puntos de muestreo y muestras puntuales tomadas en campo	148
7.7. Patio de relaves y quebradas visitadas	150
7.7.1. Municipio de Condoto, veredas Tapacundó y Espantamuertos	150
7.7.2. Municipio de Tadó, veredas Playa de Oro, El Carmelo y San Antonio	151
7.7.3. Municipio de Unión Panamericana, vereda La Toma	152
7.7.4. Municipio de Cértegui, veredas Calo y La Batea	154
7.8. Análisis químicos y ambientales	154
7.8.1. Fluorescencia de rayos X	155
7.8.2. Determinación de pH	155
7.8.3. Caracterización de la zona minera de Condoto	155
7.8.4. Caracterización de la zona minera de Cértegui	161
7.8.5. Análisis de pH en aguas superficiales y vertimientos	165
7.8.6. Determinación de mercurio en aguas superficiales mediante descomposición térmica y amalgamación con oro acoplado a espectrofotometría de absorción atómica	166
7.9. Resultados anexos realizados por microfluorescencia de rayos X	167
7.10. Estrategias implementadas para el manejo ambiental	171
7.11. Resumen de resultados representativos de los análisis químicos y ambientales por sectores del distrito minero de Chocó	173
7.12. Conclusiones	177
7.13. Recomendaciones	178
8. RUTA METALÚRGICA PROPUESTA PARA LA ZONA MINERA	
8.1. Proceso de beneficio sugerido	180
8.2. Balances de materia del proceso sugerido	182
8.3. Montaje de la planta de beneficio sugerida	183
8.4. Conclusiones sobre los materiales que alimentan las plantas de beneficio de la zona estudiada y el método metalúrgico	184
8.4.1. Con respecto a la concentración gravimétrica	184
8.4.2. Con respecto a la concentración por flotación	
8.5. Conclusiones acerca de la sustitución de la amalgamación	184
8.6. Consideraciones sobre las plantas de beneficio en la zona estudiada	185
9. ESTUDIO ECONÓMICO Y FINANCIERO	
9.1. Fundamentos teóricos para la evaluación financiera del proyecto	188
9.1.1. Generalidades sobre los proyectos de inversión	188
9.1.2. Estudio y evaluación financiera de proyectos de inversión	190
9.2. Metodología para el estudio y evaluación financiera del proyecto en la zona minera de Chocó	193
9.2.1. Estudio financiero	194
9.2.2. Evaluación financiera	203
9.3. Estudio y evaluación financiera del proyecto de la zona minera de Chocó	206
9.3.1. Resultados e interpretación de indicadores de evaluación financiera del proyecto de la zona minera de Chocó	208
9.4. Estudio financiero de la operación actual vs. la operación futura en la zona minera de Chocó	209
9.4.1. Resultados de la operación actual del beneficio de oro en la zona minera de Chocó	209
9.4.2. Resumen de indicadores de operación actual vs. operación futura	211
9.4.3. Análisis de resultados de indicadores de operación actual vs. operación futura de la zona minera de Chocó	212
9.5. Consideraciones sobre la operación actual de beneficio de oro en la zona minera de Chocó	213
9.6. Consideraciones sobre la operación futura de beneficio de oro en la zona minera de Chocó, ruta metalúrgica	214
10. GLOSARIO	
11. 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” (p.). 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.
- La necesidad de generar herramientas y estrategias de apoyo a los mineros, para que con ayuda del Estado formalicen su actividad y mejoren sus condiciones de vida.
- La existencia de altos niveles de ilegalidad y/o informalidad en la actividad minera.
- La urgencia 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, según el artículo 3 del Decreto 4131 de 2011, realizar entre otras actividades la investigación científica básica y aplicada del potencial de recursos del subsuelo. Adicionalmente, el Decreto estableció una serie de funciones enfocadas en el desarrollo de diversas actividades, entre las que se encuentran: “3. Generar e integrar conocimientos y levantar, compilar, validar, almacenar y suministrar, en forma automatizada y estandarizada, información sobre geología y recursos del subsuelo” y “5. Integrar y analizar la información geocientífica del subsuelo”.

El Servicio Geológico Colombiano debe así 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 de innovación, como actividades esenciales para dotar de valor agregado a nuestros recursos, crear nuevas empresas basadas en investigación, desarrollo tecnológico e innovación, y alcanzar mayores y sostenidas tasas de crecimiento económico, acumulación y distribución de riqueza, con el objeto de mejorar los niveles de calidad de vida de los ciudadanos.

En este mismo sentido, le corresponde a la Dirección de Laboratorios del Servicio Geológico Colombiano, en el marco del Decreto 2703 de 2013, dirigir y realizar, entre otras, investigaciones asociadas con la caracterización, el procesamiento y la utilización de materiales geológicos.

Entre las funciones 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 capítulo 7, numeral 7.2, del Plan Estratégico del Conocimiento Geológico del Territorio Colombiano (2014-2023), definido por el Servicio Geológico Colombiano, se establece, para la Dirección de Laboratorios, la tarea de realizar investigaciones especiales, tales como la de beneficio de minerales y transformación de carbones, por lo que la Dirección se concentra en la generación de estudios y el desarrollo de esquemas técnico-científicos, ambientalmente sostenibles, para el beneficio de minerales, como parte de la cadena de valor de la minería.

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 Dirección de Laboratorios del Servicio Geológico Colombiano trabaja desde una óptica para la sustitución del mercurio que se define experimentalmente mediante la evaluación de las condiciones de las operaciones y los procesos metalúrgicos que correspondan, según las características mineralógicas de los depósitos.

En este contexto, entre el Servicio Geológico Colombiano y el Ministerio de Minas y Energía se suscribió el Convenio Interadministrativo GGC n.º 319 de 2018, que tiene por objeto: “Aunar esfuerzos técnicos, administrativos y financieros para identificar y analizar las características de los yacimientos y los procesos de beneficio asociados a esos yacimientos en cinco (5) distritos mineros, correspondientes a los departamentos de Antioquia, Bolívar y Chocó, con el objetivo de realizar documentos técnicos que permitan orientar a la población minera frente a las operaciones de recuperación del mineral aurífero sin el uso del mercurio, en el marco de la Ley 1658 de 2013” (p.).

Para el desarrollo del proyecto se ha contado con la participación de la Universidad Nacional de Colombia, sede Bogotá, mediante la suscripción del Convenio Especial de Cooperación 19 de 2018, 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 las actividades técnico-científicas previstas en el citado convenio se han obtenido resultados básicos para la comprensión de la metalogénesis de los depósitos minerales del área de estudio, a través de labores fundamentales como el muestreo en campo, la preparación de muestras, los análisis instrumentales y la interpretación de resultados. Cabe aquí destacar los resultados obtenidos mediante la implementación de técnicas tales como espectrometría de infrarrojo, espectrometría Raman, microsonda electrónica y microtermometría para el conocimiento de las inclusiones fluidas, que permiten dilucidar la paragénesis del depósito. También se suscribió con la Universidad de Caldas el Convenio Especial de Cooperación n.º 25 de 2018, con el propósito de contar con información petrográfica requerida para el cumplimiento de los objetivos del proyecto.

Esta publicación se realiza con el fin de establecer las características mineralógicas de la zona minera del departamento de Chocó, 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.

Esta publicación se realiza con el fin de establecer las características mineralógicas de la zona minera del Chocó, 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.

1.

MARCO DE REFERENCIA

Mural en una casa de Itsmina (Chocó), el cual resaltó la cultura, alegría y recursos de nuestro pueblo chocoano. Fotografía tomada por Verónica Ruíz, Servicio Geológico Colombiano.



Amor
RIO



1.1. DESCRIPCIÓN DE LA SITUACIÓN ACTUAL

La minería de oro y platino en el departamento del Chocó se ha caracterizado por corresponder a procesos de minería tradicional aluvial mediante barequeo y minidragas, así como a explotaciones y exploraciones de oro y platino por parte de compañías extranjeras. En los últimos años, el departamento se ha visto afectado por la presencia de grandes explotaciones de minería ilegal que han intervenido grandes extensiones del territorio, ocasionando un fuerte proceso de impactos ambientales y sociales en la región. Los pobladores tradicionales generalmente utilizaban el barequeo y minidragas, pero posteriormente se ingresaron retroexcavadoras para la remoción de grandes cantidades de suelo y se introdujo el lavado de material en los canalones (canalones en zetas); en estos procesos también participan ahora los barequeros y barequeras locales, quienes realizan el lavado de los sobrantes de la explotación con maquinaria para obtener los minerales.

La producción minera de oro, plata y platino proviene principalmente de los municipios de Istmina, Novita, Quibdó, Unión Panamericana, Tadó, Cantón de San Pablo y Condoto. La producción de oro respecto al resto del país fue de 12,3 %, en platino del 95,84 % y en materiales de construcción de 0,54 %.

Según la Agencia Nacional de Minería, en el año 2017 se contaba en el departamento del Chocó con 171 títulos mineros vigentes, de los cuales 111 se encontraban en etapa de explotación, 55 en etapa de exploración y 5 en construcción y montaje. El área ocupada por estos títulos mineros corresponde a 248 135,3852 ha, equivalentes al 5,15 % del departamento. También existen 268 propuestas de contrato de concesión y 4 autorizaciones temporales, así como 46 solicitudes de legalización minera de la Ley 1382 y 7 de la Ley 685. Por último, para las comunidades negras, el departamento cuenta con 15 zonas mineras declaradas y 3 solicitudes en trámite, mientras que para las comunidades indígenas cuenta con dos zonas mineras declaradas y 1 solicitud en trámite.



Fotografía 1.1. Panorámica de la excavadora retirando el material para lavarlo y refinarlo.

La tabla 1 muestra las Áreas de Reserva Especial declaradas y delimitadas en el departamento del Chocó:

Figura 11. Áreas de Reserva Especial Declaradas y Delimitadas en el Departamento del Chocó

MUNICIPIO	MINERAL	ÁREA (ha)	RESOLUCIÓN	FECHA
Acandí	Material de construcción (arena y grava)	46,2350	Resolución 021 Resolución 042	08/02/2017 09/03/2018
Cértegui	Oro y platino	386,0509	Resolución 058 Resolución 280	17/03/2017 14/11/2017
Medio Atrato (Bete)	Oro y platino	841,84891	Resolución 312	27/12/2017
Medio Atrato (Bete)	Oro y platino	823,21951	Resolución 313	27/12/2017
Unión Panamericana	Oro y platino	502,2346	Resolución 317	27/12/2017
Condoto	Oro y platino	270,7588	Resolución 314	27/12/2017
Novita/San José del Palmar	Oro y platino	279,2344	Resolución 316	27/12/2017
Tadó	Oro y platino	693,9486	Resolución 315	27/12/2017

Fuente: Agencia Nacional de Minería, Choco-Áreas de reserva especial declaradas y delimitadas. <https://www.anm.gov.co/?q=content/choc%C3%B3-%C3%A1reas-de-reserva-especial-declaradas-y-delimitadas>

El 99,96 % de las regalías del departamento del Chocó corresponde a metales preciosos y el 0,04 % a materiales de construcción. Para la vigencia 2016, el total de las regalías y compensaciones causadas y transferidas al Sistema General de Regalías (SGR), para el departamento del Chocó y sus municipios beneficiarios, fue de \$60 717,24 millones. Para la vigencia 2017, esta cifra fue de \$9790,25 millones.

Todo lo anterior corrobora el gran potencial minero con que cuenta el departamento del Chocó, en especial los recursos minerales de oro, plata y platino, los cuales históricamente han sido de gran importancia en los procesos sociales de las comunidades mineras tradicionales.



Fotografía 1.2. Detalle del corte en la roca realizado con las excavadoras para la extracción de material.



Fotografía 1.3. Piezas de joyería desarrolladas por lo artesano del municipio de Condoto.

1.2. DESCRIPCIÓN DE LA NECESIDAD



Fotografía 1.4. Amalgama de oro.

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 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, norma cuyo alcance y propósito, entre otros, 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 proyecta 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 la recuperación de metales preciosos.

Como complemento a ello, y con 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 gestión de información, requiriendo que la industria minera que opera en todo el territorio nacional conozca dicha política. Se trata de un esfuerzo conjunto entre los distintos niveles de gobierno y los sectores minero, industrial, comercial, ambiental, 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) trabajaron de manera coordinada en el diseño y concertación del “Plan Estratégico Sectorial para la eliminación del uso del Mercurio de la Actividad Minera”, desarrollado con objetivos específicos que contribuyen claramente al cumplimiento de las metas establecidas en los cuatro grandes programas del Plan Único Nacional: 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.

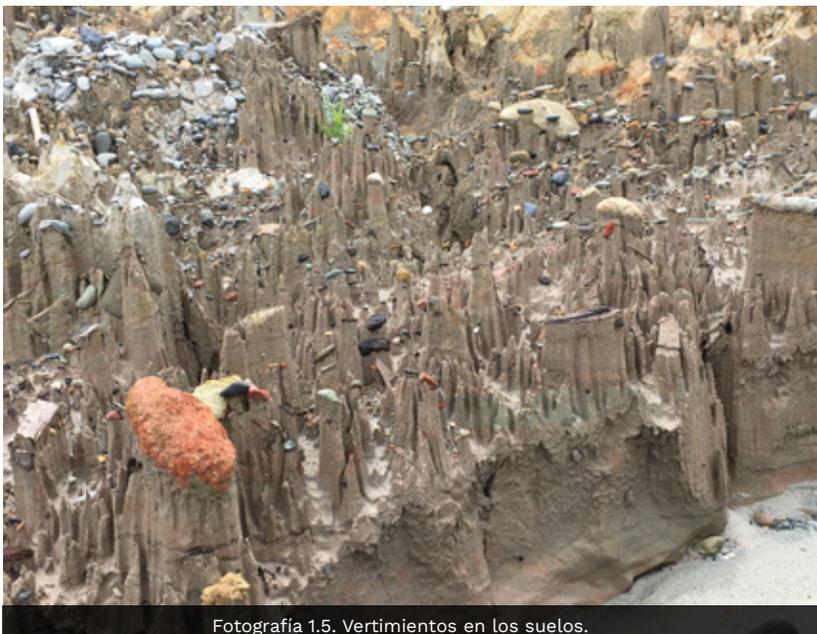
En el marco del eje “Gestión del conocimiento-investigación aplicada” del mencionado Plan Estratégico cabe resaltar los siguientes objetivos específicos:

- 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 tecnologías que permitan la eliminación del uso de mercurio en los procesos de beneficio de oro, enfocadas en la promoción de nuevas alternativas para la producción más limpia del oro.

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

De igual forma, en el marco del eje “Educación y comunicación”, se busca que exista una concertación con las comunidades para producir el cambio, partiendo de procesos de comprensión profunda relacionados con las temáticas técnicas. Para cumplir con ello, se destaca como 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 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 generación e implementación de procesos verdes y ecoeficientes orientados a la



Fotografía 1.5. Vertimientos en los suelos.

mitigación del impacto ambiental, que conduzcan a la disminución de condiciones potencialmente riesgosas para la salud humana en el desarrollo de actividades mineras, en especial, aquellas asociadas con el beneficio del oro en las zonas mineras existentes en el territorio nacional.

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

- 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 además 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, poniendo en peligro 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 y de las características geológicas, mineralógicas y metalogenéticas propias de cada una de las zonas y los distritos auríferos del país, incluyendo 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.

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 contribuya 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.

Dadas las razones expuestas, el Estado y el Ministerio de Minas y Energía han 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 del mismo 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 quedan consignados en un informe técnico y hacen 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 contribuya 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.

1.3. OBJETIVOS

1.3.1. OBJETIVO GENERAL

Elaborar la guía metodológica para el mejoramiento productivo del beneficio de oro sin el uso de mercurio en la zona minera del Chocó, con el fin de generar conocimiento geometalúrgico pertinente para la pequeña minería en Colombia.

1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Realizar el reconocimiento geológico de la zona minera del Chocó, 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.
- Realizar la caracterización química y mineralógica de la mena para identificar composición, asociaciones minerales, texturas, tamaños de grano, metalogénesis y existencia de oro en la veta, a fin de establecer un adecuado beneficio del mineral aurífero.
- 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.
- 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.
- 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 del Chocó.

1.4. ALCANCE

Esta guía metodológica propone procesos de producción más limpia, sin uso de mercurio, mediante alternativas tecnológicas que permiten un mejor aprovechamiento del mineral, así como una mayor eficiencia y productividad en las operaciones de beneficio. Lo anterior se fundamenta en la profundización del conocimiento geológico, metalogenético, mineralógico, metalúrgico y fisicoquímico de los depósitos minerales que son aprovechados por las unidades de beneficio de la zona minera del Chocó y en la aplicación de este conocimiento en los procesos de beneficio del oro, con el objeto de evitar el 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 de estudio, 4) Aspectos geológicos, 5) Aspectos mineros, 6) Aspectos metalúrgicos, 7) Aspectos químicos y ambientales, 8) Ruta metalúrgica propuesta para la zona minera y 9) Estudio económico y financiero.

2.

METODOLOGÍA DE TRABAJO

Toma de muestra del material de cabeza extraído para el lavado y proceso de beneficio de oro en la zona minera de Chocó. Fotografía tomada por Gabriel Pantoja, Servicio Geológico Colombiano.



2.1. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

El primer paso en la metodología de trabajo consiste en seleccionar la zona minera que se va a estudiar, para luego realizar la revisión de la documentación minera existente, de acuerdo con los diferentes distritos mineros definidos en Colombia; posteriormente, se analiza la información geológico-minera de la zona en consideración. Este proceso tiene como propósito adquirir bases de conocimiento para realizar el trabajo de campo y el respectivo muestreo.

2.2. MUESTREO

Los depósitos de placer auríferos contienen partículas de oro, platino y minerales pesados, liberados de los depósitos primarios, que se han transportado grandes distancias, se han preservado por su dureza, densidad y resistencia y posteriormente se han acumulado, por ser minerales más densos, para constituir depósitos de interés económico.

El muestreo tiene tres actividades básicas:

- Selección de la zona mineralizada a muestrear.
- Recolección de la muestra.
- Descripción y documentación de las características de la zona mineralizada y del proceso de muestreo.

Para recolectar esta información se cuenta con un formulario (formato de campo para depósitos aluviales), que contiene esencialmente la información geográfica, la información geológica del depósito y la forma de recolección de muestras.

2.2.1. SELECCIÓN DEL SITIO DE MUESTREO

Una vez que se accede al área del depósito, es necesario hacer un reconocimiento del área de explotación y describir sus características geológicas.

En la descripción del depósito es importante establecer el tipo de placer aurífero, ya sea que se trate de barras de meandro, barras trenzadas e islas, de quebrada, terrazas, paleocanales, relleno de valles, abanicos aluviales o de llanuras de inundación, entre otros.

En el frente de explotación es necesario realizar la descripción del perfil del frente, considerando el tipo de descapote y su espesor, la naturaleza y espesor del material aluvial, su composición mineralógica, granulométrica, estructura y textura, y especialmente, la localización y descripción de la cinta mineralizada (figura 2.1.).

Figura 2.1. Perfil frente de explotación

2.2.2. RECOLECCIÓN DE MUESTRAS

La muestra se toma cerca del venero o cinta mineralizada, normalmente hallada cerca al basamento. Si la franja mineralizada es amplia se hace un canal vertical de mínimo 20 cm de ancho y 10



cm de profundidad, a través de la zona mineralizada. Cuando el venero es solo de algunos centímetros, se hace un canal a lo largo de la franja enriquecida hasta completar el volumen de muestra requerido.

La cantidad de muestra es de 20 litros como mínimo, para lo cual es muy útil utilizar baldes plásticos de 9 o 10 litros. Se llenan dos de estos baldes con material aluvial y posteriormente este se tamiza en húmedo con una malla #8 (2 mm). El material pasante corresponde a la muestra del sitio, la cual se colecta en una bolsa plástica calibre 5 o mayor, debidamente rotulada, eliminando el exceso de agua. La cantidad de muestra puede ser de aproximadamente 4 kg.

Figura 2.2. Recolección de muestra de depósito aluvial



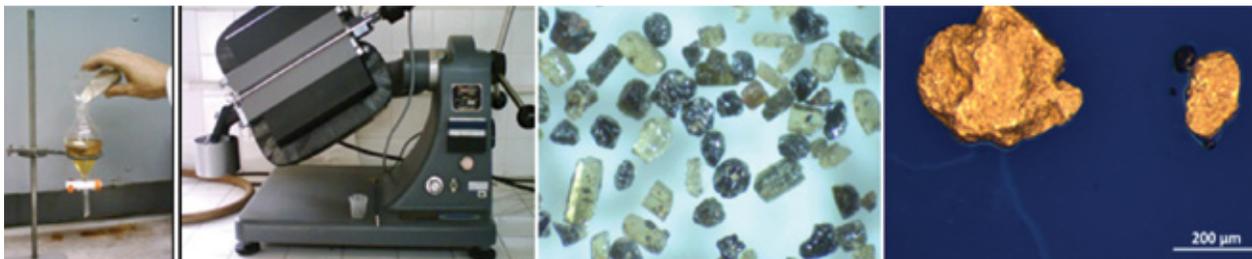
2.2.2.1. DESCRIPCIÓN Y DOCUMENTACIÓN DE LA ZONA MINERALIZADA

La documentación del proceso incluye el diligenciamiento del formato de muestreo, el rotulado de la muestra con su respectivo código institucional y el registro fotográfico con su respectiva escala de referencia.

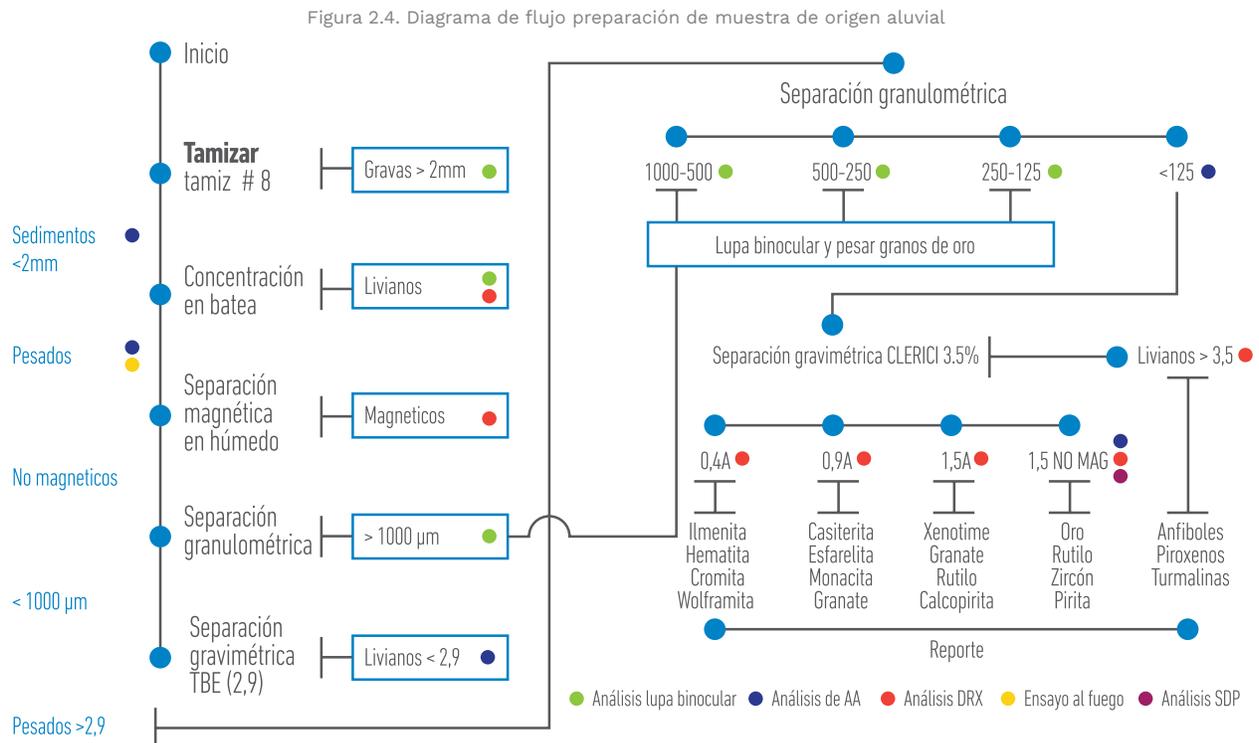
2.3. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE SEPARACIÓN DE MINERALES PESADOS

La muestra que se colecta en campo, correspondiente a una fracción menor a 2 mm, se prepara mediante concentración gravimétrica en batea para extraer los minerales pesados, que luego se someten a concentración magnética para separar las arenas negras y la fracción no magnética, donde se encuentran los minerales preciosos. Las partículas de oro se extraen mediante captura selectiva de granos, para posteriormente iniciar análisis mineralógicos y petrográficos por microscopía óptica.

Figura 2.3. Proceso de separación de minerales pesados



2.3.1. PREPARACIÓN DE MUESTRAS DE ORIGEN ALUVIAL



2.4. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN

Con base en las observaciones hechas en campo se realizó una definición de los análisis, pruebas y ensayos que se practicarían. Con este fin se procedió a preparar las muestras para iniciar los análisis de petrografía, caracterización mineralógica y composición química. Este proceso condujo a realizar un diagnóstico mineralógico y metalúrgico, como 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 un pulido, de 40 a 60 micrones (secciones delgadas pulidas), para observar con microscopio (petrográfico y de metalografía).
- *Análisis mineralógico general:* Se seleccionó la muestra y 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 un desbaste a 40-50 micrones. Posteriormente, este concentrado se pulió y se brilló para someterlo a un análisis petrográfico y metalográfico.

Análisis químicos elementales

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

- Análisis de hierro, cobre, mercurio, plomo y zinc por espectrofotometría de absorción atómica.
- Análisis de azufre por el método gravimétrico.
- Análisis cualitativo de carbonato de calcio.
- Análisis 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.



Fotografía 2.1. Extracción de muestras de sedimentos

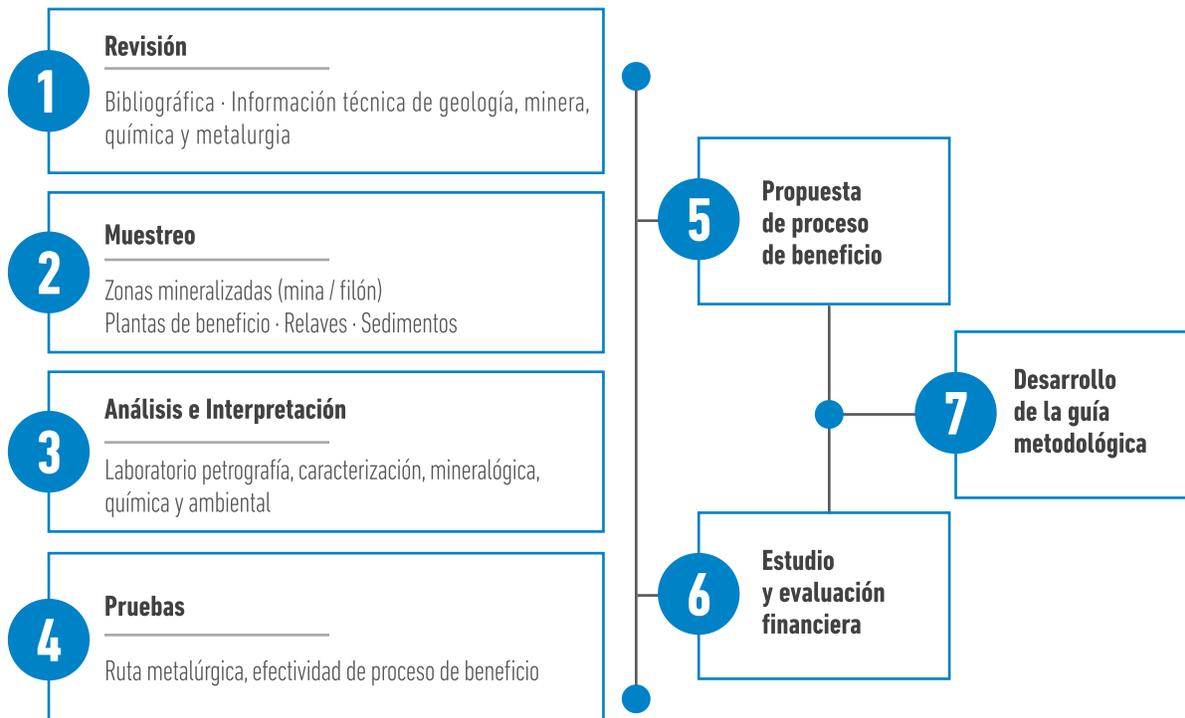
2.5. PRUEBAS

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

2.6. PROPUESTA DE RUTA METALÚRGICA

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

Figura 2.1. Diagrama de metodología de trabajo.



3.

CARCATERÍSTICAS 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 propios de los municipios estudiados.

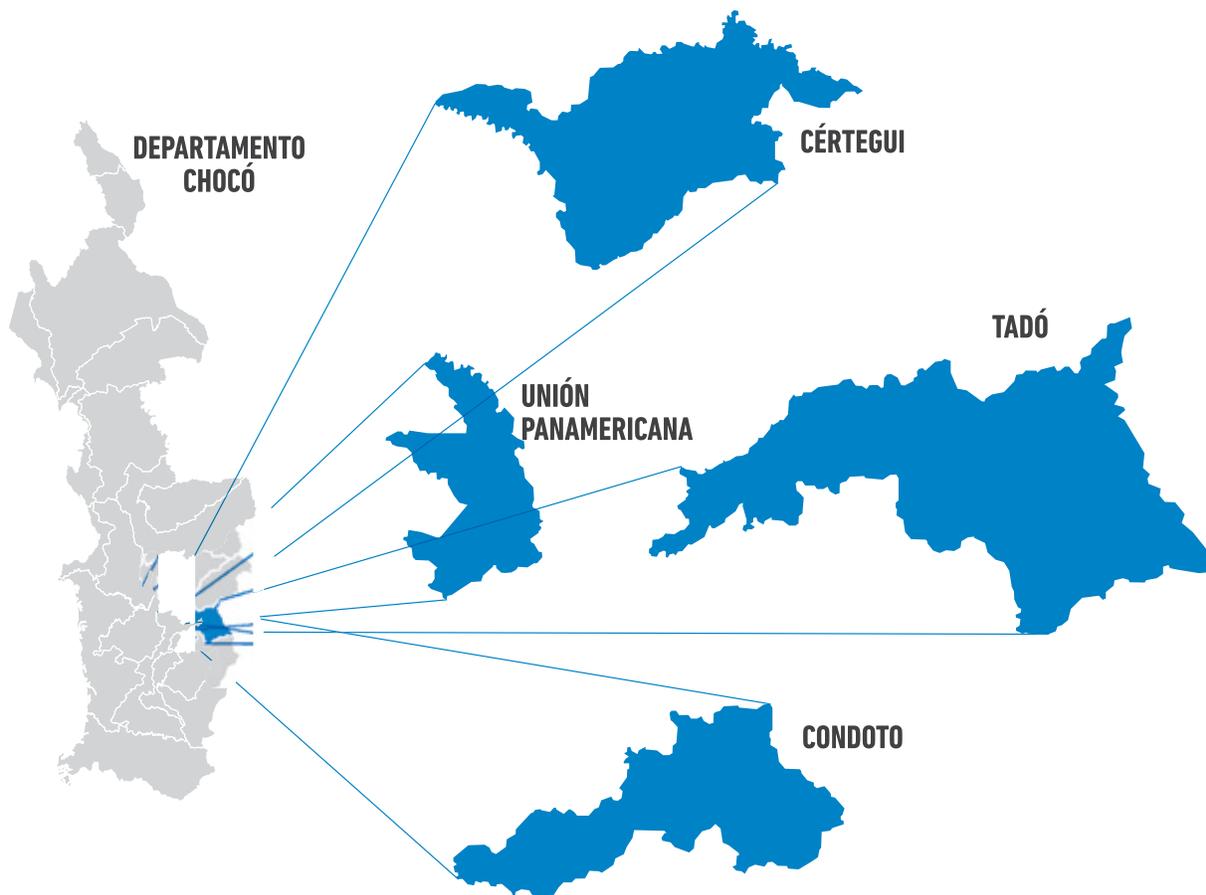
Casa construida sobre la orilla de río Cártegui, junto a la carretera de acceso al municipio del mismo nombre, este lugar surge a partir de la instalación de un campamento minero en el año 1775. Fotografía tomada por Jaime Mojica, Servicio Geológico Colombiano



Figura 3.1. Ubicación de los municipios en el mapa de Colombia



Figura 3.2. Ubicación de los municipios en el mapa del departamento de Bolívar



3.1. MUNICIPIO DE CONDOTO (CHOCÓ)

Localización:

5° 06' 01" de latitud norte
76° 32' 44" de longitud oeste

Extensión: 890 km²

Altitud de la zona urbana: 70 m.s.n.m.

Temperatura promedio: 28 °C

Límites: Al norte con el municipio de Tadó, al sur con los municipios de Novita y San José del Palmar, al este con el departamento de Risaralda y al oeste con los municipios de Unión Panamericana y Río Iró.



Fotografía 31. Iglesia del municipio de Condoto (Chocó).

Economía: La principal actividad económica de Condoto es el aprovechamiento de los recursos naturales, es por eso que es conocida como la capital minera de Chocó, los antecedentes de actividad minera se remontan al siglo XVII con la extracción de oro, la cual se desarrolla en su maría de manera artesanal. La agricultura es una actividad secundaria en el municipio, destaca la producción de maíz, yuca, plátano, ñame, chontaduro, borojo, achín y caña de azúcar. En último lugar se encuentra la ganadería con la cría de ganado vacuno, porcino, peces y aves de corral.

Ecología: El clima en el municipio de Condoto se caracteriza por las altas temperaturas y constantes lluvias, la vegetación es de grandes bosques y selvas en los que se encuentran finas maderas para la aplicación en la industria. Esta diversidad de bosque se encuentra amenazada por la deforestación y la minería ilegal. Las principales fuentes hídricas son el río Condoto y el río Tajuato, los cuales son abastecidos por un gran sistema de quebradas y ríos. El Río Condoto es un importante afluente de comunicación entre los municipios y veredas de la zona, el lecho del río es rico en platino, por lo cual es regularmente explotado por la comunidad.

Población: EL 95.6% de la población en el municipio es afrocolombiana, el otro 4.5% lo representa la población mestiza, conformada por personas provenientes de la costa atlántica, el eje cafetero y municipios de Antioquia, los cuales han llegado allí por la dinámica de la actividad minera, se estima que para el año 2020 la población que habita la cabecera municipal sea de 9.627, contra 2.740 en las zonas rurales, para un total de 12,367.

3.2. MUNICIPIO DE TADÓ (CHOCÓ)

Economía: La principal actividad económica del municipio de Tadó es la agricultura, destacan los cultivos de plátano, chontaduro, borojó, cacao, piña, yuca y marañón. La riqueza minera en la región aún subsiste, es común el comercio de oro y platino, aunque la minería ilegal deja la marca de una explotación sin control.

Localización:

5° 16' 10" de latitud norte
76° 73' 10" de longitud oeste

Extensión: 878 km²

Altitud de la zona urbana: 75 m.s.n.m.

Temperatura promedio: 28 °C

Límites: Al norte con los municipios de Cértogui y Bagadó, al sur con el río Iró, al este con el departamento de Risaralda y al oeste con el municipio de Unión Panamericana.

Ecología: El principal afluente y río navegable es el San Juan, el cual lo atraviesa de oriente a sur-occidente y riega gran parte de la extensión del municipio; el clima es cálido húmedo con frecuentes precipitaciones. La vegetación predominante son los bosques y selvas, los cuales albergan una rica diversidad en fauna, donde se pueden encontrar animales raros y curiosos. E el municipio se encuentra contaminación por mercurio en sus aguas, las cuales sobre pasan los límites permitidos, lo cual se atribuye a las practicas de minería ilegal.

Población: Según los datos del DANE obtenido en el censo de 2018, para el año 2020 la población de Tadó es de 17.913 habitantes, 10.724 en la cabecera municipal y 7.189 en la áreas rurales.



Fotografía 3.2. Catedral de San José de Tadó (Chocó).

3.3. MUNICIPIO DE CÉRTEGUI (CHOCÓ)

Economía: La economía del municipio de Cértegui se basa principalmente en la explotación de oro y platino, siendo tradicionalmente una zona minera. Por su ubicación geográfica y formación selvática, el comercio de madera juega un papel importante, esto seguido de pequeñas actividades de agricultura desarrolladas en las zonas rurales.

Ecología: Como la gran mayoría de los pueblos de Chocó, Cértegui tiene una gran biodiversidad ecológica, rodeado de ríos y quebradas; gracias a su ubicación central dentro del departamento, el municipio cuenta con una espesa vegetación, lo cual permite disfrutar de la naturaleza, el aire puro y observa una gran número de animales silvestres.

Población: Según datos del DANE para el censo de 2018, en 2020 la proyección total de la población es de 5.760 habitantes distribuidos en 3.334 en la cabecera municipal y 2.426 en las zonas rurales del municipio.

Localización:

5° 41' 41" de latitud norte

76° 39' 40" de longitud oeste

Extensión: 342 km²

Altitud de la zona urbana: 43 m.s.n.m.

Temperatura promedio: 28 °C

Límites: Al norte con los municipios Atrato y Lloró, al sur con los municipios de Unión Panamericana y Tadó, al oriente con Lloró y Bagadó y al occidente con el río Quito y Cantón de San Pablo.



Fotografía 3.3. Panorámica del parque principal de Cértegui.

3.4 MUNICIPIO DE UNIÓN PANAMERICANA (CHOCÓ)

Economía: La minería es por tradición la actividad económica de mayor desarrollo en el municipio, seguida por el comercio de madera, la pesca se ha hecho escasa y la agricultura de la región es solo para la subsistencia, se encuentran cultivos de plátano, maíz, ñame, yuca, y frutas como: Borojó, zapote, papaya, piña, aguacate, guanábana, guayaba, cítricos, chontaduro, mil pesos y coco. Unión Panamericana es un paso obligatorio que comunica a los municipios del departamento de Chocó con los del interior del país, esto conlleva ciertas dificultades, aunque también se caracteriza como un municipio con un gran potencial turístico.

Ecología: La minería tecnificada, que se lleva a cabo en la mayoría de la extensión del municipio, ha generado la sedimentación y erosión de las cuencas de los ríos, esta actividad ha incidido directamente en la reducción de la pesca, además de ser causante de las desviación de los caudales, los cuales invaden los centros poblados.

En el municipio de Unión Panamericana se encuentran áreas boscosas estructurales y recuperadas, los cuales presentan un alto índice de riqueza en flora y fauna. Se encuentra un relieve formado por valles y planicies aluviales generadas por los ríos, especialmente en la llanura del río San Juan, seguido por colinas y montañas, las cuales son la extensión de la cordillera occidental.

Población: Según los datos del DANE obtenido en el censo de 2018, para el año 2020 la población de Unión Panamericana es de 6,982 habitantes, 2,999 en la cabecera municipal y 3,983 en las áreas rurales.

3.5. LOCALIZACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO

Se localiza en el suroriente del departamento del Chocó, en la subregión de San Juan, abarcando los municipios de Cértégui, Managrú, Unión Panamericana, Tadó, Itsmina, Condoto, Andagoya y Nóvita. El Distrito comprende la cuenca media-alta de los ríos San Juan (ríos Iró, Condoto y Opogodó, y las quebradas Santa Rita y Tapacundó) y San Pablo (río Cértégui, y las quebradas Candelaria, Casanueva, Las Ánimas y La Vuelta), abarcando alturas desde 200 msnm en el sector de Playa de Oro, al oriente, hasta 50 msnm en la confluencia de la quebrada Tapacundó y el río Opogodó. El Distrito Minero corresponde con parte de las planchas 184 y 203 a escala 1:100 000 del Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC)

Localización:

5° 16' 59" de latitud norte
76° 37' 1" de longitud oeste

Extensión: 147 km²

Altitud de la zona urbana: 119 m. s. n. m.

Temperatura promedio: 26 °C

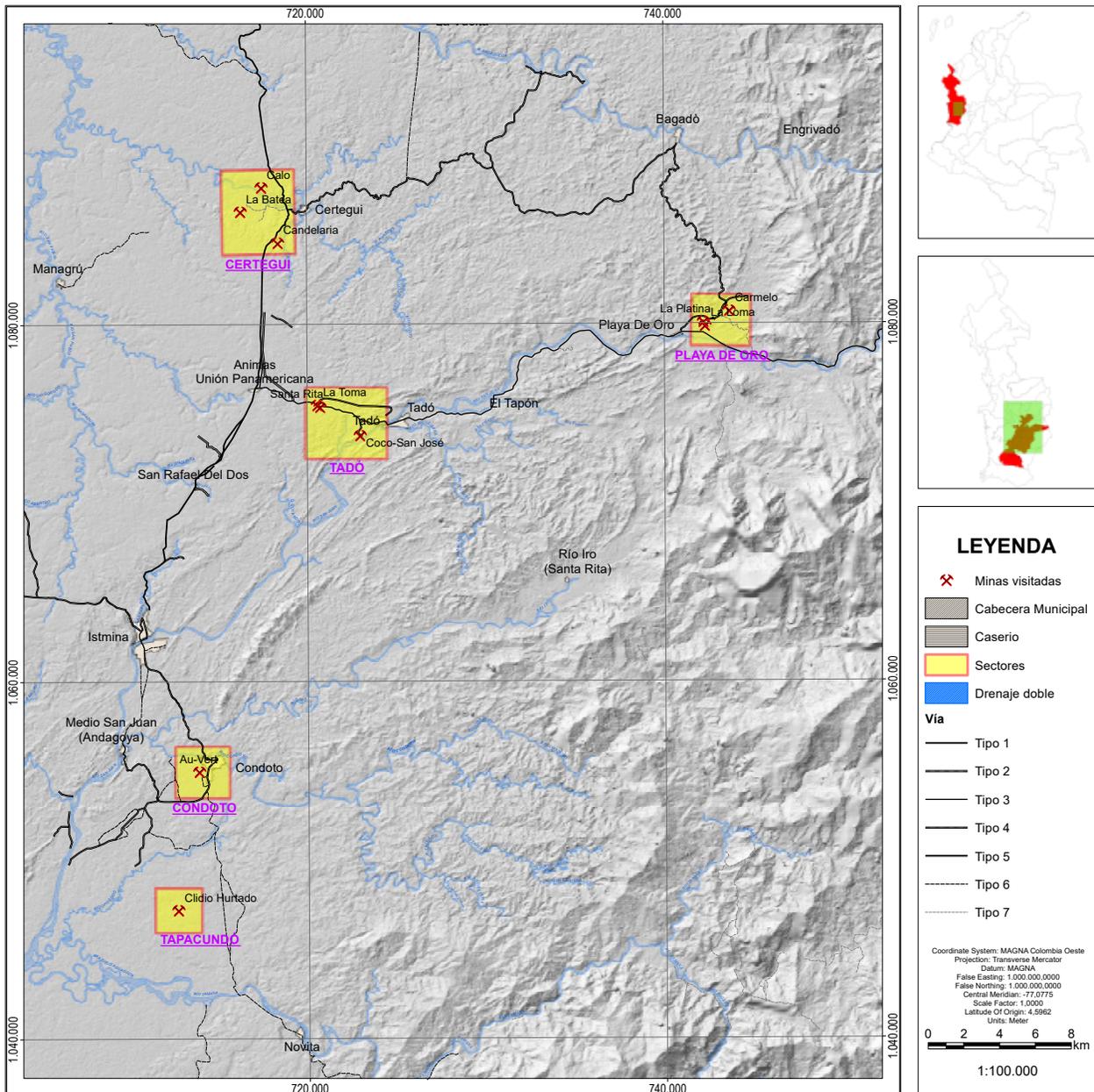
Límites: Al norte con el municipio de Cértégui, al sur con el municipio de Itsmina, al oriente con el municipio de Tadó y al occidente con el municipio de Cantón de San Pablo.



3.5.1. VÍAS DE ACCESO

Al Distrito Minero se accede por vía terrestre desde La Virginia (Risaralda) por la Ruta Nacional 50, que pasa a través de Pueblo Rico, Playa de Oro y Tadó y llega al municipio de Ánimas-Unión Panamericana. O también se accede desde el municipio de Quibdó, hacia el sur, por la Ruta Nacional 13, pasando por los municipios de Yutó, La Toma y Cértegui, hasta llegar al municipio de Ánimas-Unión Panamericana; desde este punto se sigue por la misma vía hacia el sur a Istmina y Condoto, hasta llegar a Nóvita.

Figura 3.3. Localización del Distrito Minero del Chocó

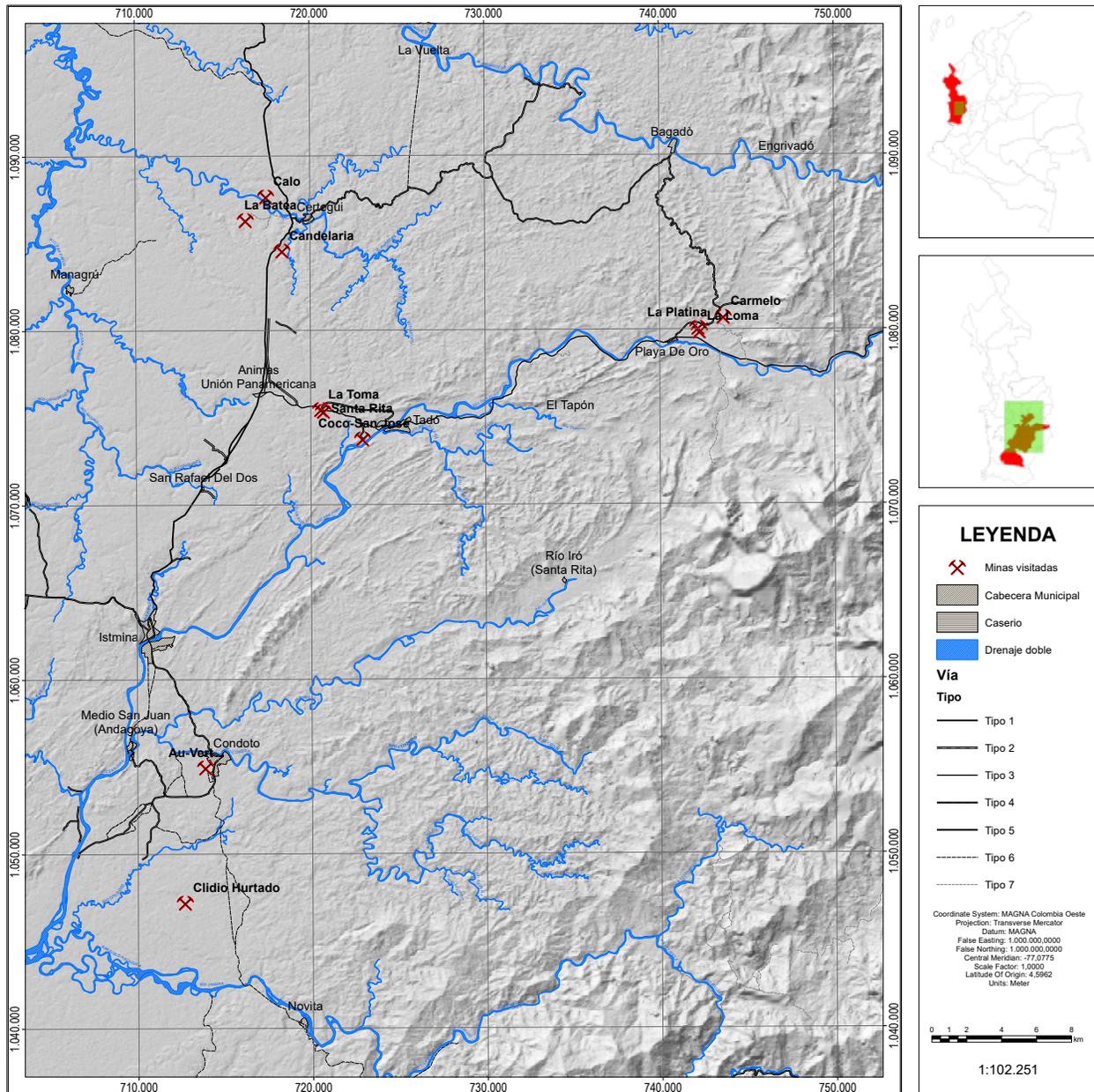


La distribución de las explotaciones mineras ha sido informalmente clasificada en cinco sectores: teniendo en cuenta la distribución geográfica de unidades productoras mineras, se consideran los sectores de Cértegui, Tadó, Playa de Oro, Condoto y Opogodó (figura 3.3.)

3.6. UBICACIÓN GEOGRÁFICA DE LAS MINAS Y PLANTAS DE BENEFICIO PARA EL MUESTREO GEOMETALÚRGICO

Las minas y plantas de beneficio visitadas en el Distrito Minero del Chocó se localizan en las veredas Casanueva, Caló y La Batea (Cértégui), Playa de Oro, El Carmelo y San Antonio (Tadó), La Toma (Ánimas-Unión Panamericana) y Espantamuerto y Tapacundó (Condoto) (figura 3.4.).

Figura 3.4. Mapa de localización de las labores mineras visitadas



4.

ASPECTOS GEOLÓGICOS

La zona de estudio pertenece a un ambiente tectónico de margen activo, donde la corteza oceánica de la placa del Pacífico se aproxima en dirección noreste, subsumiéndose bajo la placa Suramericana y conformando un ambiente tectónico compresivo activo que da como resultado el emplazamiento del Bloque del Chocó (Duque-Caro, 1990), el cual migra desde el occidente, acrecionándose al continente a lo largo de megafallas de rumbo, como la falla Garrápatas-Dabeiba. En este bloque se desarrolla un arco magmático representado por el Batolito de Mandé, donde tienen lugar procesos mineralizantes de oro y cobre.

En términos de tectónica de placas, el Bloque del Chocó, actualmente denominado Arco Panamá-Chocó, se ha acrecentado al Bloque Andino del norte de la placa Sudamericana, y se interpreta que originalmente se formó en una meseta oceánica (plateau) como parte de la placa Caribe (Redwood 2018).

Collage de rocas características de río, representativas de los depósitos aluviales encontrados en la zona minera de Chocó. Fotografía tomada por Jaime Mojica, Servicio Geológico Colombiano.

4.1. FUNDAMENTOS TEÓRICOS: GEOLOGÍA Y YACIMIEN- TOS MINERALES

El escenario geológico de la parte más septentrional de Suramérica está enmarcado por una amplia zona de deformación conocida como Bloque Norandino, cuya configuración tectónica se debe a la colisión oblicua, con subducción y acreción de terrenos alóctonos oceánicos en sentido dextral, agrupados como el Reino Tectónico del Oeste (WTR), donde interactúan los denominados terrenos San Jacinto, Sinú y Cañasgordas, en los cuales se localizan las mineralizaciones visitadas al sur de Puerto Libertador. (Cediel et al, 2003) y (González, 2001).

Los terrenos oceánicos acrecionados del Cretáceo superior están conformados por basaltos, sedimentitas y, en menor proporción, por unidades vulcanoclásticas de la Formación Barroso, y por turbaditas, chert y calizas de la Formación Penderisco. De forma discordante afloran rocas sedimentarias cenozoicas, consideradas parte del prisma acrecionario, y se conocen como Cinturón Plegado de San Jacinto, al norte, y Sinú, al oeste.

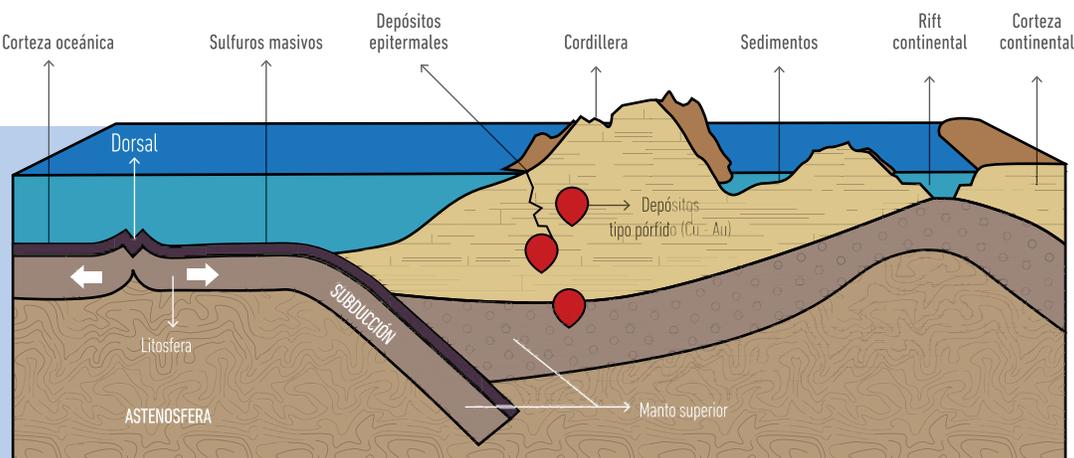
Los terrenos oceánicos están adosados a la corteza continental compuesta por rocas metasedimentarias paleozoicas del Complejo Cajamarca. La margen de contacto entre ellos es la zona de falla Cauca-Romeral (Cediel y Cáceres 2000; González & Londoño, 2002a; 2003; Cediel et al., 2003; Villagómez & Spikings, 2013).

Las rocas de afinidad oceánica están siendo intruidas por dioritas, tonalitas y stocks porfiríticos de composición intermedia, del Cretáceo tardío (Kulla y Oshust, 2018). Estas rocas serían la fuente de las mineralizaciones de Cu, Au y Ag presentes.

La geología es la ciencia que estudia el origen, la composición y la estructura del planeta Tierra, así como la evolución y los procesos que la han modificado desde su origen (cerca de 4.600 millones de años) hasta el tiempo actual. La parte sólida está compuesta por rocas cuya composición es variada, dependiendo de la profundidad y de los procesos tanto internos como superficiales en los que interviene. El interior de la Tierra se ha diferenciado en tres capas concéntricas principales, según características establecidas especialmente por métodos geofísicos. Ellas son:

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

Figura 4.1. Depósitos auríferos y su relación con la tectónica de placas. Fuente: modificado a partir de Melgarejo J. et al., 1990.



Fuente: modificado a partir de Melgarejo J. et al., 1990.

y está compuesta principalmente por rocas básicas y ultrabásicas. La corteza continental en general está formada esencialmente por rocas y minerales silicatados y elementos litófilos (con afinidad por el oxígeno).

Manto. Es la capa intermedia. Está comprendida entre los 70 y 2900 km de profundidad. En esta capa, que generalmente se subdivide en manto inferior y manto superior.

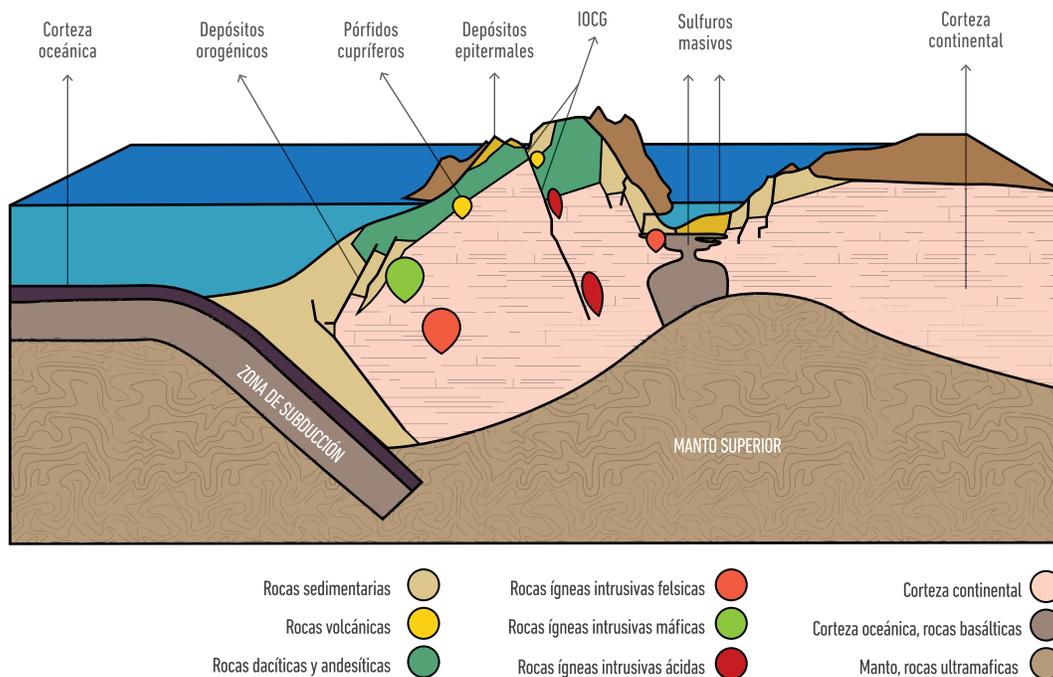
Núcleo. Es la parte interna de la Tierra. Tiene una profundidad de 2900 a 6000 km. Se cree que en la parte interna, el núcleo está formado por minerales metálicos siderófilos, como el níquel y el hierro.

La dinámica de la Tierra se manifiesta en corrientes de convección formadas desde el interior del manto terrestre hacia la corteza, donde tiene lugar la ruptura de la corteza en fragmentos o retazos, soportados en el manto superior a través de una zona denominada astenosfera.

La corteza se compone de placas o fragmentos móviles individuales, más o menos rígidos, que se desplazan e interactúan entre ellos, y que se conocen como placas tectónicas. En la dinámica terrestre se crea y se destruye corteza continuamente. La creación o formación de corteza se produce en los límites divergentes de las placas tectónicas (dorsales oceánicas y rifts continentales). En los límites convergentes de las placas tectónicas, donde estas se mueven hacia un punto común, a veces una placa se hunde (subduce) debajo de otra; estas áreas, que se conocen como zonas de subducción, son responsables de la formación de grandes cadenas montañosas, como los Andes; además, son responsables de la generación de eventos sísmicos y del emplazamiento y acumulación de yacimientos minerales (sulfuros masivos, pórfidos y yacimientos epitermales de metales preciosos, entre otros). El origen de los depósitos minerales metálicos está estrechamente relacionado con ambientes asociados a la interacción de placas tectónicas (fragmentos de corteza terrestre) (figura 4.1).

4.1.1. GENERALIDADES DE YACIMIENTOS AURÍFEROS

Figura 4.2. Depósitos auríferos en ambientes compresivos de márgenes tectónicas activas.



Fuente: modificado a partir de Lydon, 2007, en Godfellow, W. D. y Lydon, J. W. (2007).

Un yacimiento mineral es la acumulación en superficie, o cerca de ella, de compuestos metálicos o no metálicos que, debido a su extensión, disposición o enriquecimiento, pueden recuperarse con beneficio económico. El oro es un metal precioso de color amarillo, brillo metálico, denso (19,3 g/cc) y blando (2,5-3 Mohs), muy apreciado por su belleza, utilidad y escasez; no se oxida ni pierde su lustre. Entre los metales conocidos, se lo considera el más dúctil y maleable.

Desde el punto de vista geoquímico, se considera que el oro es un elemento con movilidad restringida; se transporta en soluciones acuosas a través de complejos clorurados y sulfurados. Los fluidos involucrados en este proceso reaccionan con las rocas circundantes y permiten la removilización del oro en fluidos que viajan a través de fracturas y poros.

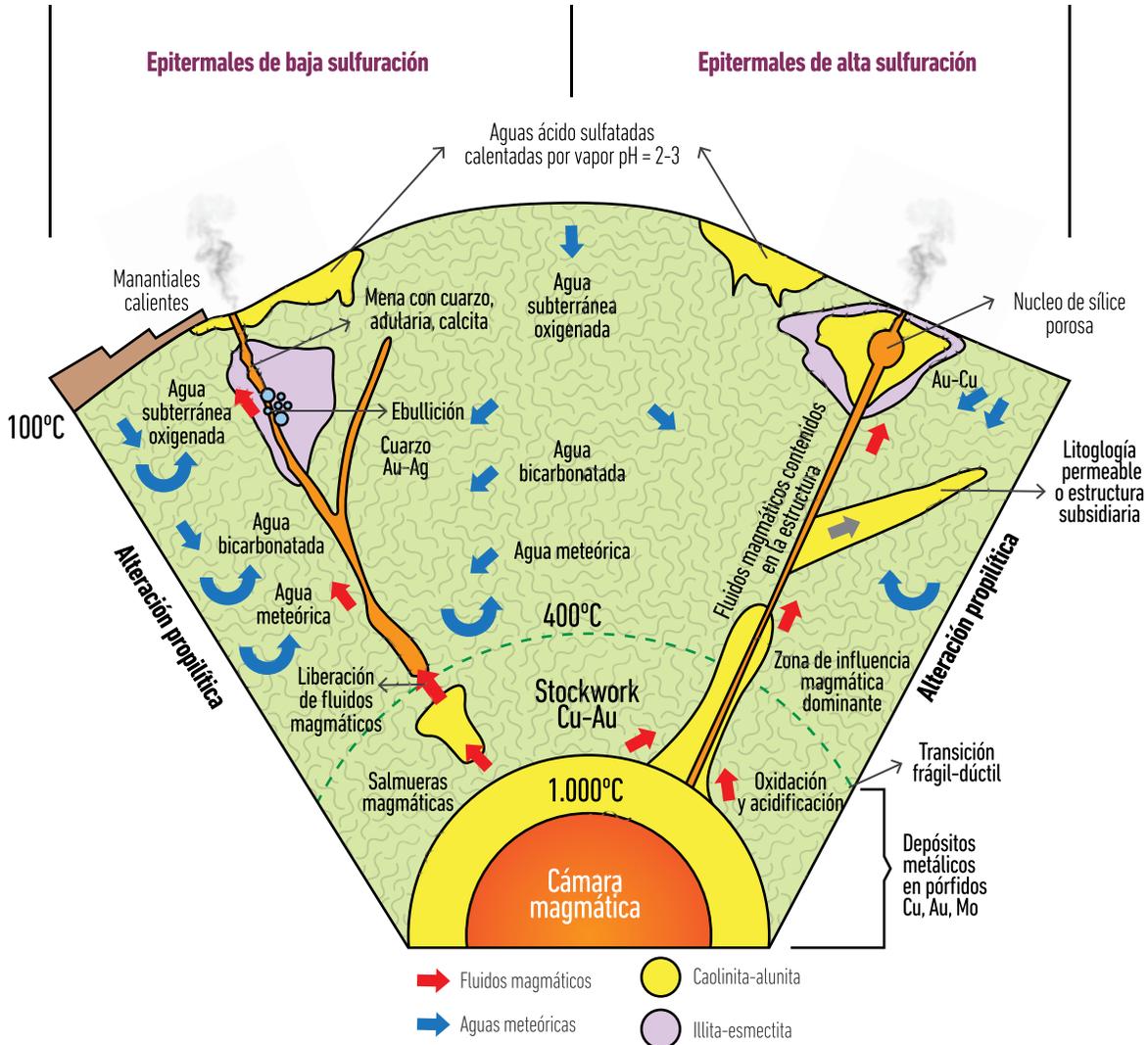
Los cambios de presión, temperatura y reactividad geoquímica dan lugar a su precipitación. En los yacimientos minerales, el oro se asocia principalmente con elementos como la plata (Ag), el arsénico (As), antimonio (Sb), mercurio (Hg), selenio (Se) y telurio (Te). En algunos depósitos se presenta asociado con hierro (Fe), zinc (Zn), plomo (Pb) y cobre (Cu). El tamaño y tipo del depósito aurífero depende de los factores ya mencionados, así como de la magnitud del evento y el tiempo de aparición.

La posición tectónica de Colombia es estratégica y privilegiada, porque tiene una gran variedad de ambientes favorables para la formación de depósitos minerales; corresponde con márgenes convergentes o márgenes activos donde tienen lugar la formación de montañas (cordillera de los Andes), actividad volcánica y sísmica y acumulación de minerales metálicos como el Au, Cu, Pb y Zn (figura 4.2). A continuación se mencionan y describen las generalidades de los principales yacimientos auríferos del mundo que han sido descritos, y los 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 se precipitan en las fracturas y fallas de las rocas encajantes (vetiformes) o en forma de diseminaciones formadas dentro de la roca de 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 H₂S (reducido), mientras que en los de alta sulfuración el azufre se presenta como S⁺⁴, en forma de SO₂ (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 Vetás-California, corresponde al tipo epitermal de alta sulfuración (figura 4.3).

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 a 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 piritita, 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).

Figura 4.3. Modelo generalizado de formación de depósitos auríferos epitermales



Fuente: tomado de Camprubí et al., 2003.

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 Dovia (Valle del Cauca) y Anzá (Antioquia).

Depósitos orgénicos de oro. Son depósitos auríferos formados en zonas de fractura o de cizalla, que se producen por el transporte de metales en fluidos de origen metamorfo. Las condiciones de formación corresponden a ambientes sometidos a grandes esfuerzos tectónicos, como los que se dan en cadenas montañosas en crecimiento y deformación. El depósito orgénico consiste en numerosas venas de cuarzo en relleno de fracturas, con contenidos bajos de sulfuros, dispuestos generalmente en bandas, y con contenidos variables de Sb, Bi, Te y Hg. La arsenopirita es el sulfuro dominante, mientras que la pirita o la pirrotina se encuentran subordinadas; el oro se encuentra asociado con estos sulfuros. Los filones pueden tener ex-

tensiones de varios kilómetros y se distribuyen según la disposición estructural de las rocas hospedantes. De Colombia pueden citarse como ejemplos de depósito tipo oro orogénico, la zona minera de Amalfi (Antioquia), la mina El Vapor (Puerto Berrío, Antioquia) y la zona minera de Segovia (Antioquia), en la cordillera Central; de igual manera, en este trabajo se reconoce que el yacimiento aurífero de la mina El Canadá, en La Llanada (Nariño), podría corresponder a un depósito mesozonal tipo orogénico (figura 4.4).

Depósitos de óxidos de hierro-cobre-oro (IOCG).

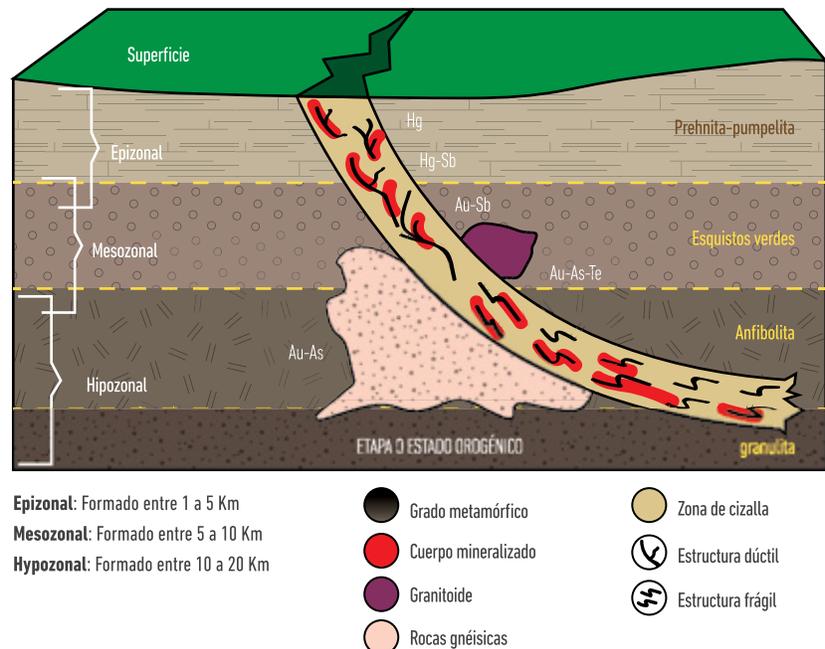
Son depósitos auríferos formados en zonas de fractura o de cizalla de gran profundidad, que se producen por circulación de fluidos acuosos hipersalinos (>30% NaCl Eq) de alta temperatura de precipitación (500 °C). Están relacionados con la abundancia de magnetita-hematita y presencia de sulfuros de Fe y Cu y contenidos de carbonato, Ba, P o F. Se encuentran distribuidos a lo largo de la franja metalífera de los Andes chilenos; entre ellos sobresale el depósito de Candelaria.

Depósitos de oro relacionados con intrusivos (intrusion related gold deposits). Son depósitos auríferos que tienen un amplio rango de estilos de mineralización característicos espaciales, definidos a partir de un cuerpo magmático central. Depósitos de este tipo se han reconocido Fort Knox (Alaska) y la provincia de Tintina (Canadá). En Colombia, varios distritos mineros han sido inicialmente clasificados en este grupo, como el depósito del cerro Gramalote (Antioquia) y el depósito de oro de la serranía de San Lucas (Bolívar) (Leal, Melgarejo y Shaw, 2011) (figura 4.5).

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 ante 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 en condiciones reductoras (atmósfera pobre en oxígeno). En Colombia, las áreas más favorables para la existencia de paleoplaceres son depósitos de metaconglomerados con oro en la serranía de Naquén y Caranacoa (Guainía), y Taraira (Vaupés).

Otros tipos de depósitos. Según la importancia o el potencial, en Colombia se puede destacar potencialidad de 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

Figura 4.4. Modelo general de depósitos auríferos de tipo orogénico.



Fuente: modificado a partir de Goldfarb, Groves y Gardoll (2001).

subproducto). Se destaca como un área potencial las minas Vieja y El Sapo (Tolima), asociadas con las calizas de la Formación Payandé.

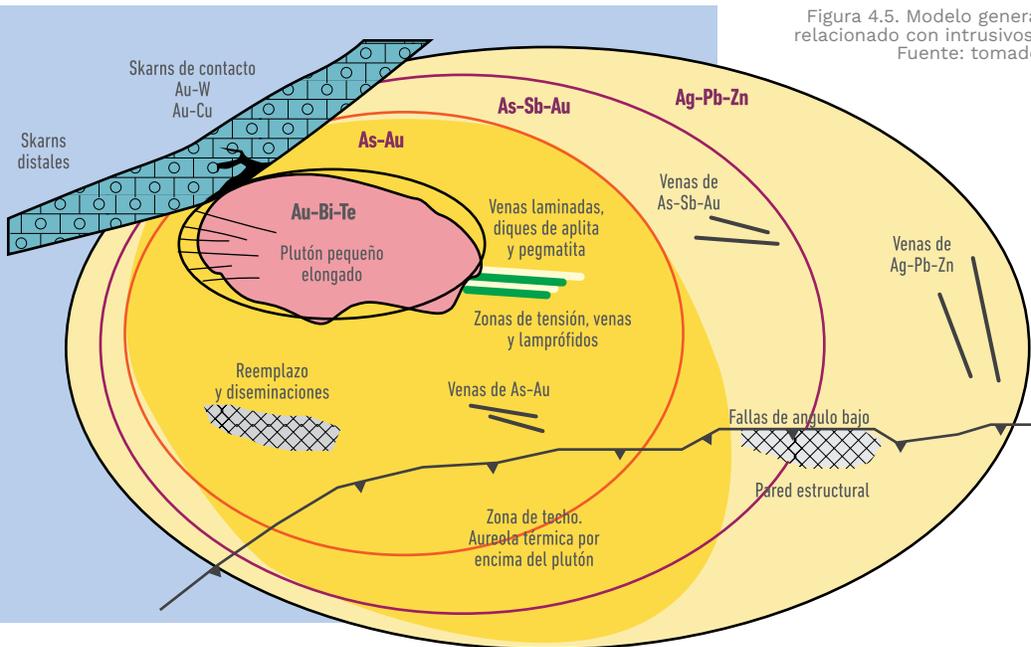


Figura 4.5. Modelo general de depósito aurífero relacionado con intrusivos (provincia de Tintina). Fuente: tomado de Hart et al. (2002).

4.2. FUNDAMENTOS DE LOS DEPÓSITOS DE PLACER

Algunos procesos geológicos superficiales permiten la concentración mecánica de metales preciosos y minerales pesados, que se acumulan en los sedimentos para formar depósitos de interés económico, definidos como depósitos de placer. Se trata de acumulaciones secundarias de concentración mecánica, denominadas también yacimientos sedimentarios detríticos.

El modelo genético de los depósitos de placer combina varios procesos naturales exógenos sobre un yacimiento primario formado al interior de la tierra. Una vez que los minerales se emplazan en las rocas y se localizan en las partes altas de las montañas por actividad tectónica, se inicia un proceso de meteorización tanto física como química, que conduce a la fragmentación de la roca y a la liberación de minerales. En seguida, las partículas inician un proceso de transporte por medio de vehículos como agua, viento o hielo, y mientras se desplazan, paulatinamente se desgastan, se reducen de tamaño y se segregan. Tan solo los minerales de mayor dureza resisten la abrasión y la descomposición química, los cuales finalmente se concentran y depositan de acuerdo a las condiciones topográficas e hídricas específicas (figura 4.6).

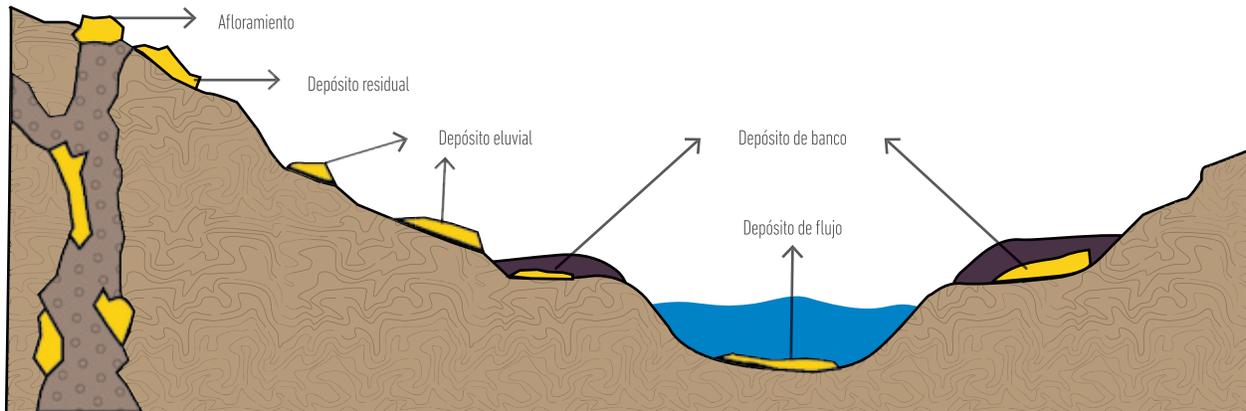
Una vez liberados y segregados los minerales, la velocidad de flujo del agua determina cuáles minerales se transportan en suspensión, ya que cuando esta decrece las partículas más densas se de-

Figura 4.6. Procesos naturales para la formación de depósitos de placer



cantan y acumulan. En consecuencia, la segregación tiene lugar por densidad, hasta el punto en que se acumulan los minerales pesados para formar depósitos de placer (figura 4.7).

Figura 4.7. Clasificación de depósitos de placer según su génesis



Fuente: Economic geology–Sedimentary ore deposits (Soltan, 2017)

Por lo general los minerales de interés económico son densos, duros, tienen alta resistencia mecánica, no se fracturan con facilidad y tienen también muy alta resistencia a la descomposición química. Entre los depósitos de importancia económica están aquellos con elevados contenidos de metales preciosos como oro y platino, de piedras preciosas y semipreciosas, de arenas negras (minerales de Fe, Ti, Cr, W y Sn) y de coltán (minerales de Nb, Ta, Ce e Yt), entre otros (Garnett y Bassett, 2005).

Figura 4.8. Propiedades de minerales más comunes en placeres aluviales

MINERAL	COMPOSICIÓN	DENSIDAD (g/ml)	DUREZ (Mohs)	TENACIDAD	MOLIENDABILIDAD
Diamante	C	3.5	10	Frágil	1
Oro	Au(Ag)	15.0–19.3	2.5–3.0	Maleable	11
Platino	Pt(Fe,Pd,Os,Ir)	14–19	4.0–4.5	Maleable	10
Casiterita	SnO ₂	6.8–7.1	6–7	Frágil	6
Rutilo	TiO ₂	4.2–4.3	6–6.5	Frágil	3
Zircón	(Zr,Hf)SiO ₄	4.7	7.5	Frágil	2
Monazita	(Ce,La,Y,Th)PO ₄	5.0–5.3	5–5.5	Frágil	9
Cuarzo	SiO ₂	2.65	7	Frágil	5
Granate	Al ₃ B ₂ (SiO ₄) ₃	3.5–4.3	6.5–7.5	Frágil	4
Ilmenita	(Fe,Mg,Mn)TiO ₃	4.7	5.5–6.0	Frágil	8
Magnetita	Fe ₃ O ₄	5.2	6	Frágil	7

Fuente: Garnett (2005)

Los depósitos de placer pueden ser clasificados de diversas formas, teniendo en cuenta características como: el principal mineral de interés constituyente, los mecanismos de formación, la edad de formación, las características físicas y químicas de mineral, lo mismo que la evolución geológica del área de formación o las características geomorfológicas. Sin embargo, para los placeres auríferos prevalece la clasificación de los depósitos de acuerdo con su génesis o sus características de formación: depósitos residuales, depósitos eluviales, depósitos aluviales y depósitos de terraza o paleoplacer (Garnett, 2005; Wells, 1969).

4.2.1. DEPÓSITOS RESIDUALES

Se forman por acumulación directa en el sitio de afloramiento de los minerales de interés y se concentran mediante procesos de descomposición química y mecánica. Algunos depósitos de importancia se explotan en California, USA, como El Dorado County (Wells, 1969).

4.2.2. DEPÓSITOS ELUVIALES

Son aquellos que se forman por acumulación sobre pendientes o laderas, bien sea por transporte en un medio sólido o por efecto de transporte gravitacional. Proviene de minerales liberados de una fuente cercana, y posteriormente preservados por meteorización y formación de suelos. El depósito de Mount Mountain en Nevada es buen ejemplo (Wells, 1969).

4.2.3. DEPÓSITOS GLACIARES

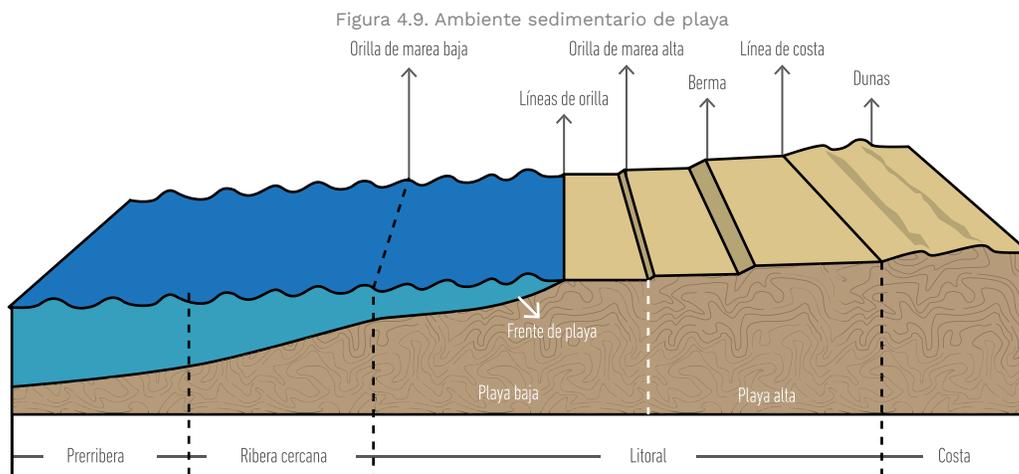
A partir de una mineralización primaria en ambientes glaciares se transportan y seleccionan al interior de estos, ocurriendo la acumulación por desglaciación o entre periodos interglaciares. En Alaska, muchos depósitos son de este tipo.

4.2.4. DEPÓSITOS EÓLICOS

El transporte de materiales de grano fino en ambientes desérticos permite la segregación y acumulación de minerales pesados en frentes de dunas, dunas transgresivas y dunas estacionarias; ejemplo de estos depósitos de minerales pesados se encuentran en Nueva Zelanda y el sur de África.

4.2.5. DEPÓSITOS DE PLAYA

Se forman a lo largo de líneas de costa, por interacción con los sedimentos que llegan al mar (figura 4.9). Los minerales pesados, retrabajados por oleaje, se acumulan en las curvas de la línea de costa, mostrando estratificación gradada y preservándose por progradación de la línea de playa. Depósitos de oro, arenas negras, zircón y rutilo de este tipo se conocen en Alaska, Australia y Suráfrica. En Colombia se encuentran depósitos de arenas negras en la Sierra Nevada de Santa Marta. (figura 4.9).

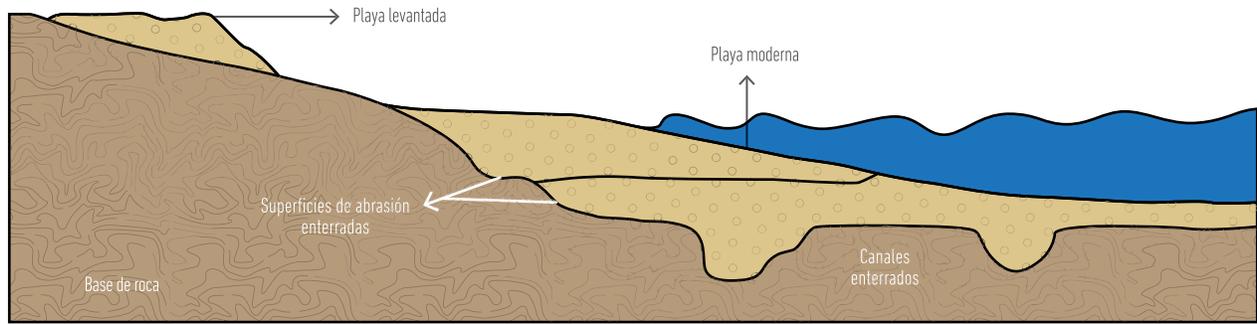


Fuente: modificado de Tarbuck y Lutgens (2005)

4.2.6. DEPÓSITOS ALUVIALES

En ambientes sedimentarios continentales, los minerales se transportan en un medio fluvial y se acumulan en los fondos de los canales, en sitios de pérdida de energía por cambios en las características del canal, como variación de pendiente e irregularidades del fondo del canal, o por cambios en las condiciones hidrodinámicas, como variación de caudal o de energía (figura 4.11).

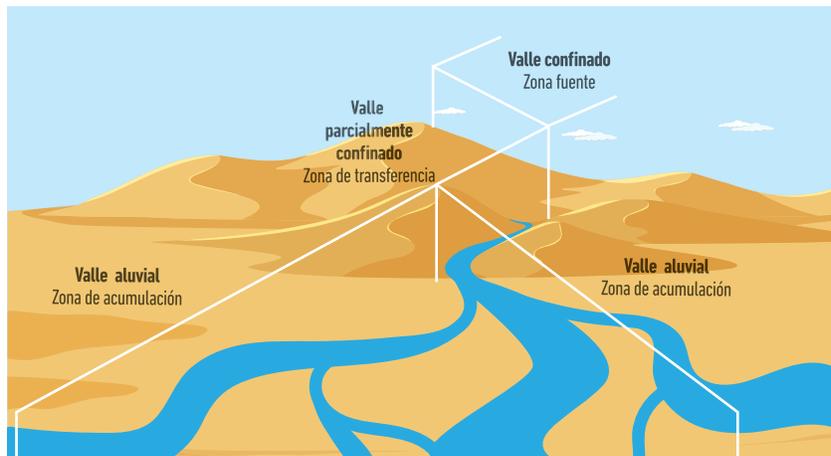
Figura 4.10. Perfil característico de depósitos de placeres de playa



Fuente: modificado de Selley (1976)

El ambiente fluvial tiene unas características geomorfológicas definidas por tres zonas consecutivas: la zona fuente, dominada por procesos erosivos, donde se inicia el aporte de sedimentos y se forman canales de drenaje con valles estrechos y confinados. Le sigue una zona denominada de transferencia, donde prevalecen procesos de transporte de sedimentos que conforman valles un poco más amplios, pero parcialmente confinados en laderas bajas. Finalmente se encuentra la zona de acumulación, con valles amplios e inconfiados en amplias cuencas sedimentarias, donde tiene lugar la mayor parte de la depositación y se forman los depósitos de mayor magnitud (figura 4.12).

Figura 4.11. Control topográfico y características fluviales



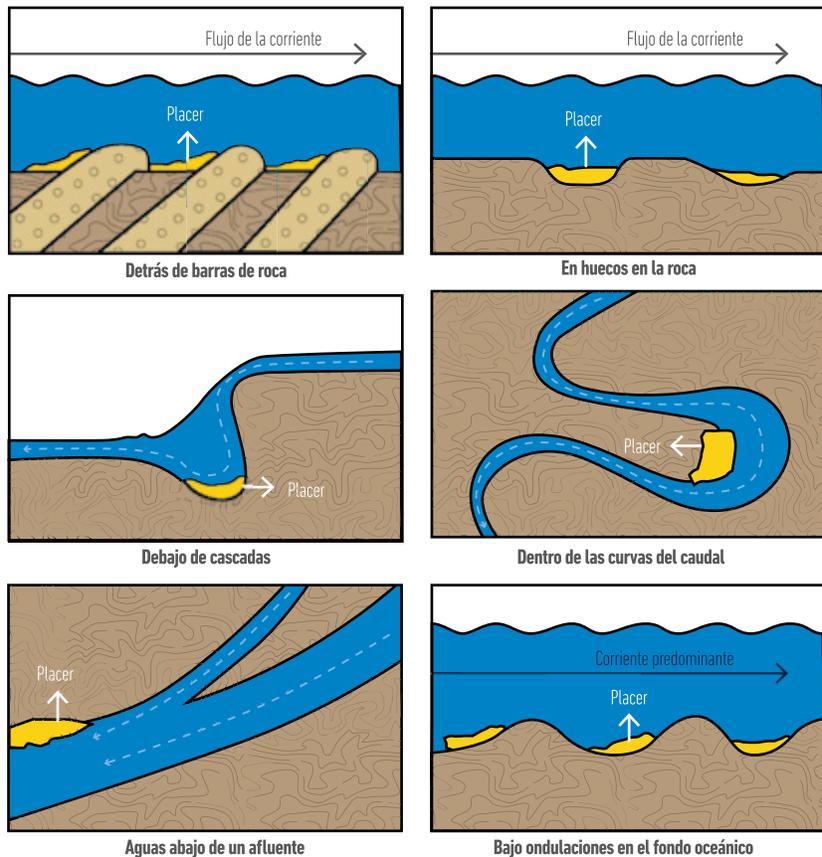
Fuente: modificado de Brierley y Fryirs (2004)

Los placeres aluviales de oro se forman por etapas. La etapa inicial tiene lugar en la zona fuente, por concentración de partículas liberadas de la roca parental que se alojan en fracturas y huecos, detrás de irregularidades del fondo del canal de drenaje o debajo de saltos y cascadas (MacDonald, 1984). Una segunda etapa de concentración fluvial ocurre cuando las corrientes trenzadas, que viajan a través de canales estrechos, rápidamente pasan a espacios abiertos de valles amplios, lo que conlleva pérdida de energía cinética y decantación de sobrecarga de sedimento. También, en las corrientes trenzadas se presentan barras laterales lenticulares y estrechas, formadas por acreción de sedimentos, que tienden a enriquecerse en el extremo aguas arriba; estos depósitos se consideran transitorios (). Una tercera etapa ocurre cuando los bloques se han destruido y la carga viene representada por gravas y cantos redondeados y bien gradados, que viajan como carga de fondo y paulatinamente se rezagan y van decantando por el avance lento del lecho, para conformar bancos o capas bien gradadas en la zona de acumulación. En corrientes meandriformes, el enriquecimiento se presenta en la barra puntual formada en la parte interna del meandro (figura 4.12).

4.2.7. DEPÓSITOS DE TERRAZAS Y PALEOPLACERES

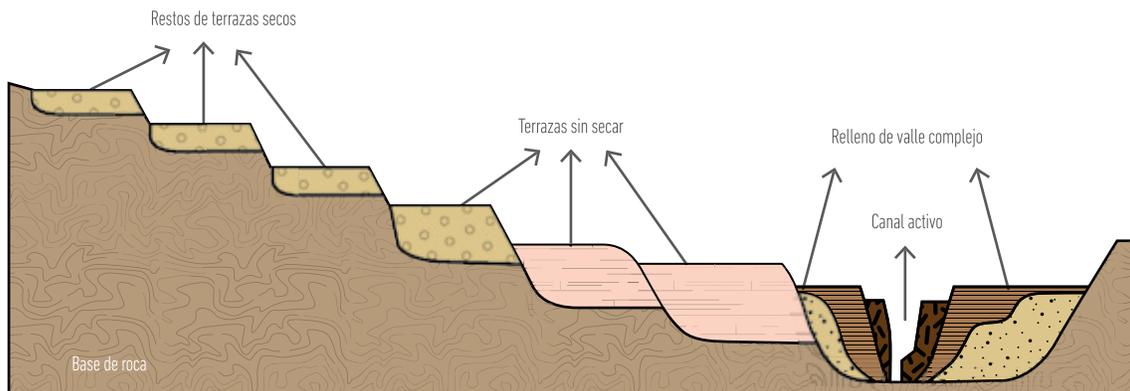
Se forman por transporte fluvial en cuencas sedimentarias antiguas, en las que, por variaciones del nivel del mar, se forman terrazas topográficamente más altas parcialmente erosionadas y adosadas a las laderas de las montañas (figura 4.13). Regularmente aparecen por acumulación de gravas en abanicos aluviales y llanuras aluviales antiguas, que por actividad tectónica y variación del nivel del mar quedan colgadas y adosadas a las laderas. En Colombia, en la llanura costera del Pacífico muchos depósitos son de este tipo.

Figura 4.12. Localización de depósitos fluviales de placer



Fuente: modificado de Skinner y Porter (1995)

Figura 4.13. Formación de terrazas aluviales



Fuente: modificado de Blum y Törnqvist (2000)

4.3. GEOLOGÍA Y MINERALOGÍA DEL DISTRITO

4.3.1. GEOLOGÍA REGIONAL

Con la acreción de corteza oceánica y la formación del arco volcánico del Baudó se promueve la formación una franja distensiva, cuya disposición geométrica de bloques conforma las cuencas sedimentarias del Atrato y del San Juan, separadas entre sí por el cinturón deformado de Itsmina. Los depósitos sedimentarios se desarrollan sobre un basamento de corteza oceánica adosada a la cordillera Occidental. Los sedi-

mentos marinos se consolidan desde el Paleoceno, y se colmatan finalmente con sedimentos continentales de abanicos aluviales y depósitos fluviales recientes enriquecidos en metales preciosos.

4.3.2. SUCESIÓN ESTRATIGRÁFICA

Los metales preciosos que se explotan en los valles geográficos de los ríos Atrato y San Juan provienen de la vertiente occidental de la cordillera Occidental, donde afloran cuerpos magmáticos terciarios que instruyen secuencias sedimentarias cretácicas y terciarias. Adosadas al piedemonte de la cordillera se encuentran entonces secuencias sedimentarias de abanicos aluviales, llanuras aluviales y depósitos aluviales recientes.

Las unidades litoestratigráficas cartografiadas en la zona se describen a continuación, diferenciándose las unidades volcano-sedimentarias y magmáticas, lo mismo que las secuencias sedimentarias.

4.3.2.1. BATOLITO DE MANDÉ

Es el cuerpo intrusivo de mayor tamaño en esta parte de la cordillera. De forma alargada y estrecha, y de aproximadamente 20 km de ancho entre los límites de Antioquia y Chocó, se extiende en dirección N-W por más de 200 km hasta Panamá. Recibe su nombre del corregimiento de Mandé en el municipio de Urrao, departamento de Antioquia, ubicado sobre el flanco occidental de la cordillera Occidental (Álvarez, 1971).

El Batolito de Mandé es de afinidad granítica, compuesto por una amplia variación litológica, textural y composicional que incluye gabro, gabronorita, cuarzodiorita y tonalita. Adicionalmente ocurren hacia los bordes pequeños intrusivos (stocks) andesíticos y dacíticos (Rodríguez et al., 2010). Presenta contactos intrusivos o fallados con rocas vulcanosedimentarias del Complejo Santa Cecilia-La Equis (Ingeominas, 1999).

La edad calculada para estas rocas plutónicas varía entre 48 M.a. (Buchely et al., 2009) y 42 a 45 M.a. (U-Pb en zircones, Leal-Mejía, 2011; Montes et al., 2015).

Por su potencial metalogénico, ha sido estudiado con detalle en áreas específicas, principalmente en Pantanos-Pegadorcito (Ramírez y Arias, 1974), Murindó (Guarín y Álvarez, 1977) y Acandí (Ingeominas-Naciones Unidas, 1982).

4.3.2.2. COMPLEJO SANTA CECILIA-LA EQUIS

La Formación Santa Cecilia aflora al oriente del Batolito de Mandé, y está conformada por flujos basálticos y lavas almohadilladas, con intercalaciones locales de limolitas, lodolitas calcáreas, tobas y calizas, mientras que la Formación La Equis aflora al occidente del Batolito, y está compuesta por andesitas porfídicas, basaltos piroxénicos amigdalares, brechas volcánicas y aglomerados, con rocas sedimentarias asociadas localmente (Ingeominas, 1999).

Así pues, el Complejo Santa Cecilia-La Equis agrupa ambas formaciones (Salazar et al., 1991), extendiéndose hacia el norte desde el corregimiento Santa Cecilia, municipio Pueblo Rico (Risaralda), como una franja alargada con dirección N-S, de 2 a 10 km de ancho.

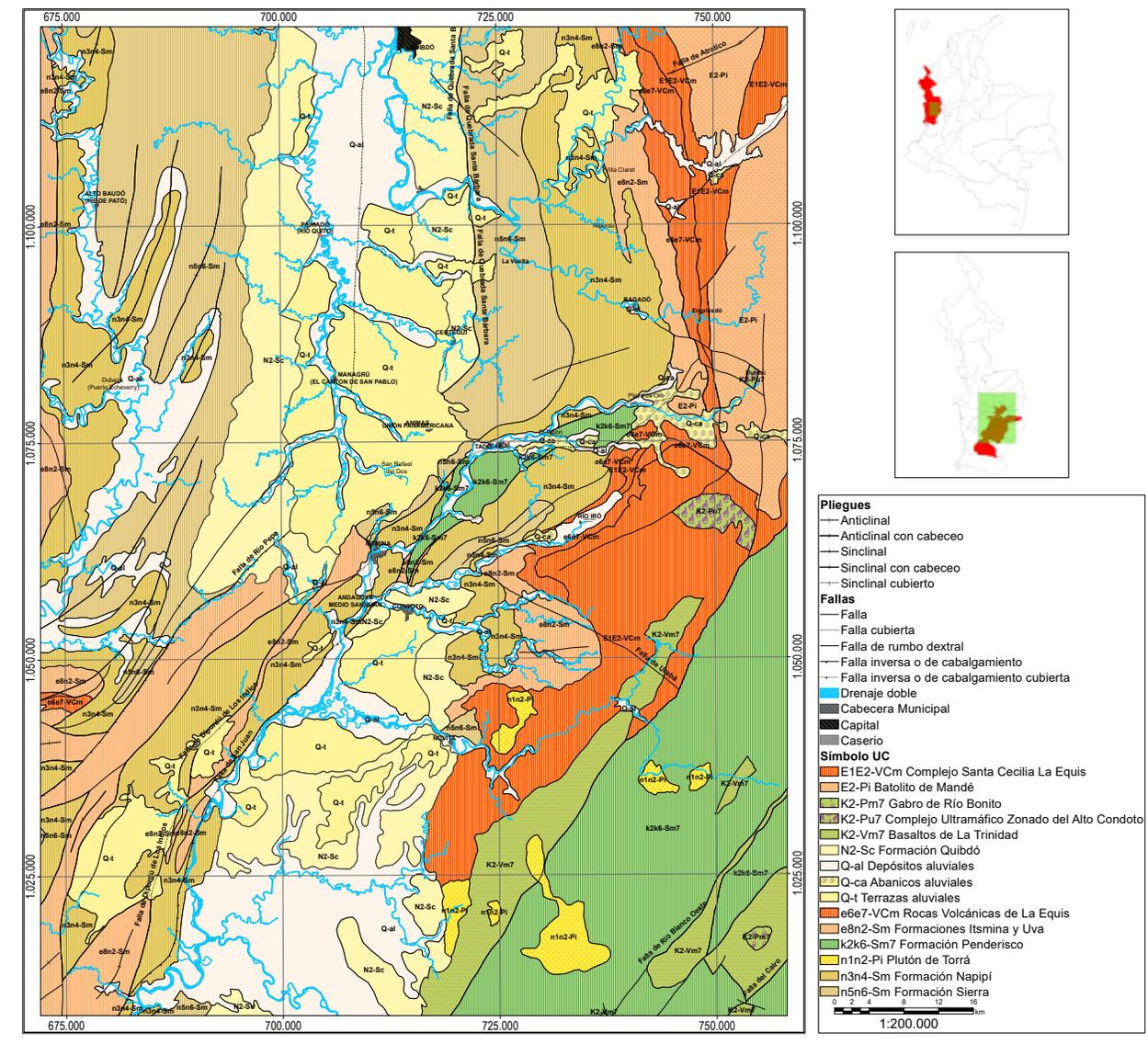
La edad establecida para el Complejo es de $45,3 \pm 0,8$ M.a., establecida por el método Ar-Ar en roca total para un basalto de dos piroxenos (Rodríguez y Sierra, 2010). Esta datación coincide con otras realizadas para el complejo, como como K/Ar en tonalitas ($42,7 \pm 0$, M.a. y $54,7 \pm 1,3$ M.a.) (Sillitoe et al., 1982) y Ar/Ar en basaltos ($50,7 \pm 2$ M.a. y $43,1 \pm 0,4$ M.a.) (Buchely et al., 2009; Kerr et al., 1997).

4.3.2.3. COMPLEJO ULTRAMÁFICO ZONADO ALTO CONDOTO

Este complejo está localizado en la vertiente occidental de la cordillera Occidental de Colombia y cuenta con una litología que exhibe zonaciones composicionales de rocas ultramáficas, con predominante presencia de dunitas en el centro, dunitas piroxénicas, clinopiroxenitas y wehrlita, entre otras peridotitas, con variaciones en los tamaños de cristales desde 0,2 hasta 10 mm y texturas cúmulo en algunos sectores (Schmidt, Von der Handt, Grimm, Laukert y Mojica, 2012).

Las intrusiones ultramáficas zonales se producen como cuerpos pequeños en los límites de terreno que están conectados con la actividad de subducción. Siempre están dispuestas a lo largo de lineamientos, que en algunos casos tienen más de 1000 km de largo (como es el caso en Alaska, los Urales, la frontera Colombia-Ecuador y, probablemente, el este de Borneo). Las fallas transcurrentes con sentido N-S pueden haber resultado en la disminución de presión necesaria para facilitar la formación y el ascenso de magmas tholeiíticos con alto contenido de Mg (Tistl et al., 1994).

Figura 4.14. Mapa geológico generalizado el distrito minero del Chocó



Fuente SGC (2016)

Figura 4.15. Correlación estratigráfica de las cuencas de los ríos Atrato y San Juan

EDAD		CUENCA RÍO SAN JUAN					CUENCA DEL ATRATO		CUENCA SAN JUAN		
		Suarez Rodríguez 1990	Cossio 2002	Repsol 1996	Texas company	Montoya 2003	Duque-Caro 1990	Suarez Rodríguez 1996	Ingeominas Igac-2005	Servigecol 2008	
Cuaternario	Holoceno		Aluviones terrazas	Terrazas	Aluviones terrazas	Depósitos recientes	Fm. Quibdó	Fm. Quibdó	Aluviones terrazas	Aluviones terrazas	
	pleistoceno					Formación Mayorquin	Fm. Munguido	Fm. Munguido			
Neógeno	Plioceno	Fm. Atrato	Mayor Quin Reposo	Fm. Atrato	Fm. Atrato	Hiato	Fm. Sierra	Fm. Sierra	Mayor Quin Reposo	Mayor Quin Reposo	
	Mioceno superior	Fm. Munguido	Fm. Novita	Fm. Munguido	Fm. Munguido	Formación reposo S. lodo arenosas	Fm. Napipi	Fm. Napipi	Condoto Fm. Nayo	Hiato	
	Mioceno medio	Hiato	Hiato		Hiato	Sediment. Ladrilleros	Fm. Uva	Hiato		F. Condoto	
	Mioceno inferior	F. Condoto		F. Condoto			S. arcillo arenosas	Hiato		Fm. Napipi	C. Mojarra
		C. Mojarra Fm. Itsmina	C. Mojarra Fm. Itsmina	C. Mojarra Fm. Itsmina	facies Suruco / facies Condoto	Sediment. calcareo arenosas	Fm. Uva	Fm. Uva		C. Mojarra	Fm. Itsmina
Paleógeno	Oligoceno	Fm. Sierra		Fm. Sierra	Fm. Sierra	Hiato	Fm. Salaqui	Fm. Salaqui	Fm. Uva Fm. Itsmina	Fm. Uva	
	Eoceno		Hiato				Fm. Charonando	Fm. Clavo	Fm. Sierra	Hiato	
	Paleoceno	Fm. Iró		Fm. Iró	Fm. Iró	Fm. Río Piedras		Fm. Vallesi	Fm. Iró	Fm. Iró	
Cretacico	Cretacico	Basamento económico	Fm. Prenderisco Fm. Barroso	Grupo Dagua	Diabásico Grupo Dagua	F. Espinal Diabásico Cisneros	Diabásico Cisneros	Fm. Barroso	Diabásico Cisneros	Diabásico Cisneros	

Fuente: ANH-SGC (2008)

4 .3.2.4 SECUENCIAS SEDIMENTARIAS DE LAS CUENCAS ATRATO Y SAN JUAN

La evolución de las cuencas sedimentarias del Atrato y del San Juan muestra diferencias en las secuencias sedimentarias, debido a lo cual se han clasificado las unidades con nombres diferentes y se han tratado de correlacionar por diversos autores (SGC, 2008).

Cuenca del Atrato

- **Formación Uva**

La Formación Uva fue definida en el río del mismo nombre, donde se levantó una sección incompleta constituida por intercalaciones delgadas de margas, arcillolitas, calizas detríticas y areniscas calcáreas de grano fino a medio (Haffer, 1967). El espesor de esta unidad, en la región del Atrato, es variable y aumenta hacia el sur del sitio donde fue definida: en el río Salaquí tiene 1600 m, en la carretera Quibdó-Medellín 2000 m, y un espesor de 2170 m en el río Baudó (Bouman, 1965).

Se considera que las rocas de la Formación Uva, en la parte occidental, se depositaron en un ambiente de mar somero de plataforma externa con influencia de arrecife, por las características litológicas observadas: calizas algáceas, areniscas, lodositas y margas, y en la cuenca del Atrato a profundidad batial superior (Duque-Caro, 1990), la ocurrencia de microfaua planctónica es indicativa de aguas profundas y una edad ubicada entre el Oligoceno tardío y el Mioceno medio (Ingeominas, 2003).

El contacto con la suprayacente Formación Napipí es concordante, y con la infrayacente Formación Salaquí es discordante (Haffer, 1967).

- **Formación Napipí**

Esta unidad litológica fue definida por Haffer (1967), con la localidad tipo en el río Napipí, al norte de la población de Bojayá (Chocó). Está compuesta por arcillolitas nodulares masivas, con concreciones redondeadas y lenticulares de calizas, y zonas de arcillolitas y areniscas finogranulares (Ingeominas, 2003).

Esta formación aflora sobre la margen occidental del río Baudó, con un espesor hasta de 1500 m en una franja de 5 a 8,5 km de ancho. El contacto de la Formación Napipí con la Formación Sierra se presenta como discordante, marcado por el hiato del Mioceno medio (Duque-Caro, 1990).

El ambiente de sedimentación es de baja energía, en aguas con profundidad mayor a 2000 m, con sedimentos ricos en materia orgánica y oxígeno restringido (Bouman, 1965; Duque-Caro, 1990a). La edad estimada se remonta al Mioceno medio (Bouman, 1965).

- **Formación Sierra**

La Formación Sierra fue definida por Haffer (1967) en el río Munguidó, afluente del río Atrato, como una secuencia monótona de limolitas que gradan localmente a arcillolitas y arenitas finogranulares, con algunos horizontes de conglomerados y rocas carbonatadas en una franja de aproximadamente 15 a 20 km de ancho, que incluye los flancos de los anticlinales de Urudó y Berreberre (Ingeominas, 2003).

El espesor aproximado es de 3300 m, medidos entre los ríos Baudó y Atrato (Bouman, 1965). El contacto entre las formaciones Sierra y Napipí es una discordancia marcada por el hiato del Mioceno medio, y entre Sierra y Quibdó la discordancia está marcada por el hiato.

El ambiente de depositación se considera marino, desde sublitoral hasta batial, y la edad estimada se ubica entre el Mioceno medio y el Plioceno temprano (Haffer, 1967; Duque-Caro, 1990).

- **Formación Quibdó**

La Formación Quibdó fue descrita por Haffer (1967) en la carretera Quibdó-Medellín, al este de Quibdó, cerca al sitio La Troje, como constituida por arcillolitas abigarradas con interestratificaciones de arenitas de grano medio y conglomerados poco consolidados de cuarzo lechoso. Esta formación aflora en la margen occidental del río Quito y en la oriental del río Atrato, formando franjas alargadas de hasta 7 km de ancho, separadas por depósitos cuaternarios de 15 km de ancho (Ingeominas, 2003).

La unidad se deposita en un ambiente continental de alta energía, marcado por el predominio de gravas y arenas gruesas, que representa la sedimentación fluvial y lacustre en la cuenca del Atrato. El espesor de la unidad varía de 700 m a 900 m al sureste de Quibdó (Duque-Caro, 1990).

El contacto definido de la Formación Quibdó con la Formación Sierra en la sección del río Pató es discordante (Ingeominas, 2003). La edad de la Formación Quibdó se ubica entre el Mioceno tardío y el Plioceno (Haffer, 1967).

- **Formación Istmina**

La Formación Istmina fue definida por Figueroa y Núñez (1990) cerca de la población del mismo nombre (Ingeominas, 2003). La unidad consta de limolitas calcáreas y silíceas, con intercalaciones de arenitas finas y ocasionales capas de conglomerado. El espesor puede oscilar entre 2400 metros (SGC, 2008) hasta aproximadamente 5450 metros (Ingeominas-Cossio, 2003).

Se localiza principalmente entre los ríos Ordó y Sivirú, en una franja afectada por plegamiento y en contacto fallado al norte y normal al sur con la Formación Conglomerados de La Mojarra (ANH, 2008). El ambiente de depositación es de turbiditas lodosas (Figueroa y Nuñez, 1990).

- **Formación Conglomerados de La Mojarra**

Fue definida por Figueroa y Núñez (1990) en la cuchilla La Mojarra, y es una unidad no continua lateralmente, sino que se presenta en forma lenticular (Ingeominas, 2003). Su litología comprende arenitas y conglomerados

líticos, con intercalaciones de lodolitas y limolitas grises, y un espesor que varía desde de los 740 metros (según corte geológico, SGC, 2008).

El contacto inferior de la secuencia en el río Profundó es fallado con la Formación Tadó; en el río Suruco, es neto con la Formación Istmina y se marca en la base de un potente conglomerado polimíctico que aflora en la desembocadura del río Suruco al río San Juan. El contacto superior en el río Condoto es neto con la Formación Condoto (Ingeominas, 2003).

La unidad se deposita en un ambiente de turbiditas arenosas y canales submarinos (ANH, 2008). La edad se ubica entre el Mioceno medio al Mioceno tardío (Duque-Caro, 2008). Otros reportes indican edades desde el pre-Mioceno medio a post-Oligoceno temprano o a Mioceno temprano (Texas Petroleum Company, 1990, en Ingeominas, 2003).

Cuenca del río San Juan

- **Formación Condoto**

La Formación Condoto fue definida por Figueroa y Núñez (1990) en el río Condoto, cerca de la población del mismo nombre (Ingeominas, 2003). Está compuesta principalmente por intercalaciones de lodolitas calcáreas y silíceas, con litoarenitas en capas delgadas, un espesor de 2800 m a 3100 m (según corte geológico, SGC, 2008) y un ambiente de depositación de turbiditas lodosas (ANH, 2008).

Esta unidad se localiza en amplias franjas afectadas por plegamientos y fallas, aparentemente en contacto neto sobre la infrayacente Formación Conglomerados de La Mojarra en la zona del río Capiro (ANH, 2008).

La edad estimada para la unidad se ubica entre el Mioceno medio bajo al Mioceno tardío bajo (Duque-Caro, 2008) y el Mioceno medio (Duque, en Ingeominas, 2003).

4.3.2.5. DEPÓSITOS ALUVIALES CUATERNARIOS

Los depósitos aluviales cuaternarios en la zona están representados por terrazas aluviales y llanuras aluviales. Las terrazas se forman por procesos sedimentarios, como abanicos aluviales, flujos de escombros y depósitos de corrientes trenzadas. Están conformadas por guijarros, gravas, arenas y bloques compuestos por fragmentos líticos sedimentarios de la formación Santa Cecilia-La Equis, y fragmentos de rocas ígneas volcánicas, plutónicas. Los sedimentos tienen formas generalmente subredondeadas a subangulosas, que flotan en una matriz areno-lodosa de colores grises moteados. Las terrazas se extienden varios kilómetros de longitud a lo largo del piedemonte de la cordillera, con potencia de espesores variables hasta un máximo de 30 m (Ingeominas, 2003). Por su edad de formación, este nivel de terraza puede considerarse como del Pleistoceno, en razón de la carbonización incipiente que muestran los troncos de madera. Estos depósitos son económicamente muy importantes, debido a la gran cantidad de yacimientos de placer de oro y platino que se encuentran dentro de ellos (Calle et al., 1984).

Las llanuras aluviales se presentan a lo largo de los ríos más importantes de la región (como San Juan, Atrato, Quito, Raspadura, Condoto y Baudó, entre otros) y están constituidas por guijos y guijarros de rocas volcánicas, plutónicas y sedimentarias, además de arena, que provienen de la erosión natural de rocas de la cordillera y de las terrazas preexistentes (Ingeominas, 2003).

4.3.3. GEOLOGÍA LOCAL

Las rocas sedimentarias más antiguas que afloran en esta parte de la cuenca del Atrato-San Juan son del denominado Grupo San Juan, constituido por la Formación Conglomerados de La Mojarra, la Formación Istmina y la Formación Condoto.

La Formación Conglomerados de La Mojarra, considerada como del Mioceno, está constituida por conglomerados cuyos cantos son predominantemente volcánicos. A esta unidad la subrayase discordantemente la Formación Condoto, constituida por arenitas y conglomerados de composición predominantemente lítica.

Las rocas aflorantes en el área donde se hallan los depósitos de metales preciosos se corresponden con rocas de origen sedimentario reciente, constituidas por abanicos y terrazas aluviales de los tributarios de los ríos Atrato y San Juan. Estos depósitos reposan discordantemente sobre rocas terciarias del Grupo San Juan.

Los abanicos aluviales están conformados por conglomerados clastosoportados con cantos de tamaño variable entre 10 cm y 30 cm, constituidos por clastos de composición variada: rocas ígneas calco-coalcalinas, como dioritas, y rocas máficas, como basaltos y gabros, además de chert negro y clastos aislados de arenitas cementadas. Los cantos se encuentran altamente meteorizados, y depósitos aluviales recientes de gravas y arenas conforman los lechos de los ríos Condoto y San Juan.

La secuencia estratigráfica se completa con depósitos cuaternarios recientes, los cuales corresponden a capas gruesas masivas de conglomerados clastosoportados por gravas redondeadas, seguidos de capas de arenitas bien seleccionadas y lodolitas masivas, que completan la secuencia granodecreciente.

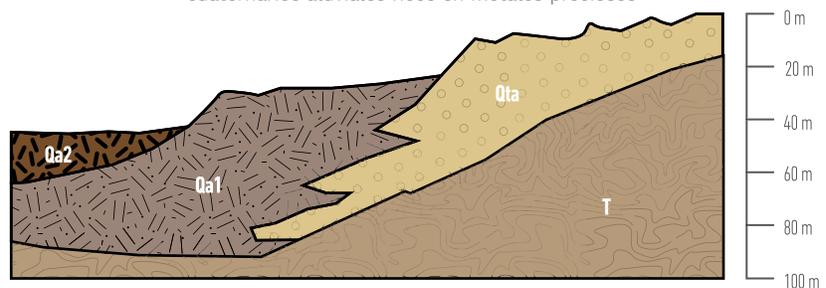
4.3.4. SECUENCIA ESTRATIGRÁFICA

Se encuentran depósitos cuaternarios formados por antiguos flujos de escombros y abanicos aluviales, actualmente disectados y erosionados, los cuales conforman terrazas altas (Qta). Estos depósitos están compuestos de bloques, gravas y cantos redondeados, y clastos soportados por una matriz arenosa o arcillosa. La parte basal de esta secuencia está asociada con conglomerados ricos en platino y oro. Esta es una unidad que reposa discordantemente sobre rocas terciarias del Grupo San Juan.

Se encuentra también un conglomerado de cantos redondeados que reposa discordantemente, compuesto por fragmentos líticos de basalto, diorita, gabros, chert negro bandeado y limolitas silicificadas, clastosoportados con matriz limosa y arenosa, con capas lenticulares de arenas líticas y limos oscuros (Qa1).

La parte superior de la cuenca Atrato-San Juan está conformada totalmente por sedimentos detríticos de origen aluvial, depositados desde el Pleistoceno por los ancestrales ríos Atrato y San Juan, sobre un basamento sedimentario del Terciario superior, constituido por las formaciones Atrato y Quibdó (figura 4.16).

Figura 4.16. Secuencia estratigráfica generalizada de los depósitos cuaternarios aluviales ricos en metales preciosos



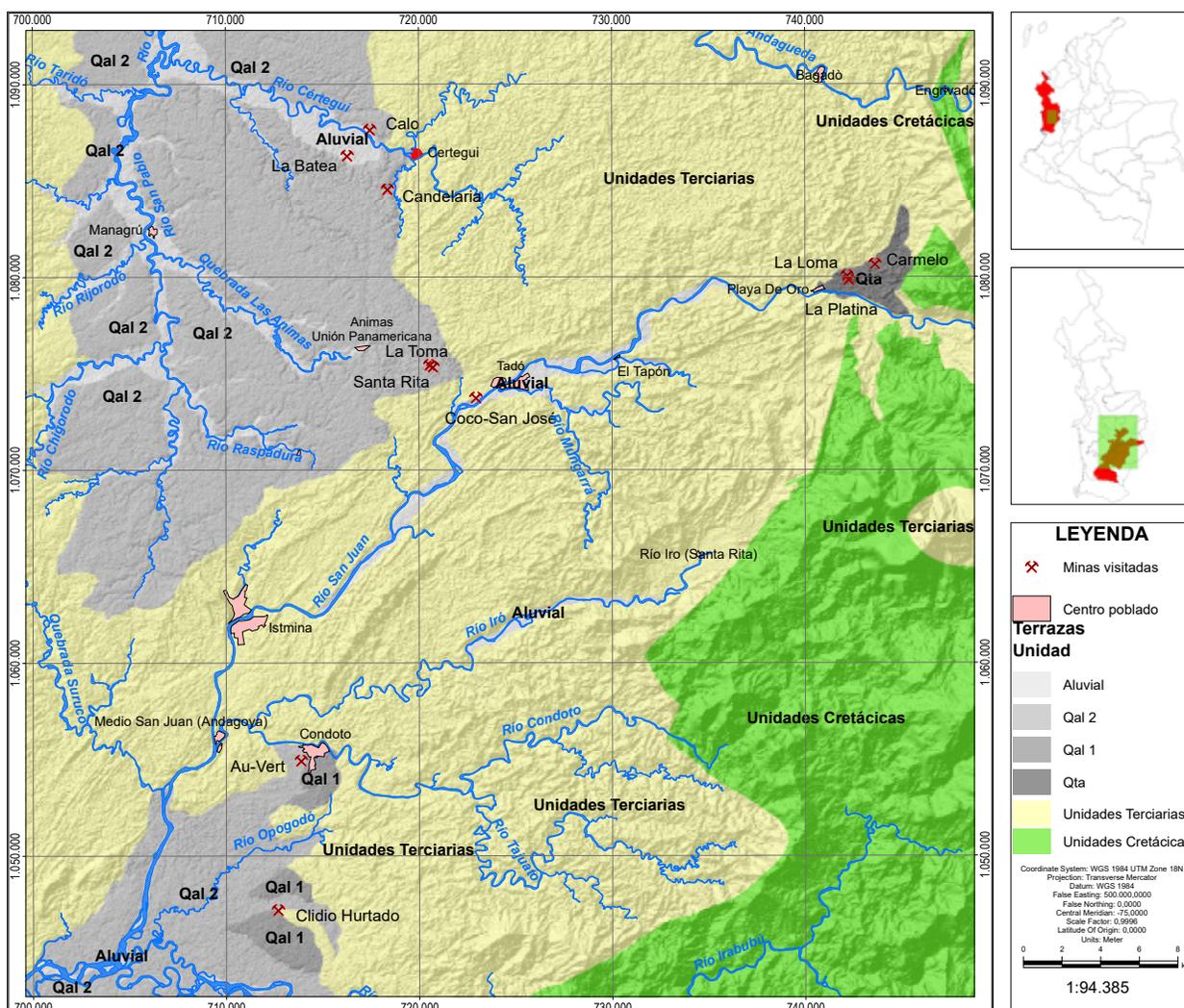
El perfil estratigráfico está constituido por el basamento terciario de las formaciones Atrato, Quibdó y Condoto, conformado por litoarenitas de grano medio, compactas, de color gris azulado; discordantemente se encuentran depósitos cuaternarios antiguos, como flujos de escombros, depósitos de ladera y abanicos aluviales dispuestos a manera de terrazas altas (Qta), los cuales están constituidos por gravas y cantos clastosoportados con matriz arenosa, y gravas clastosoportadas con matriz arcillosa, con intercalación de capas lenticulares de arenas y limos. A esta secuencia se encuentran asociados conglomerados ricos en oro y platino. Sobre estas rocas se depositaron discordantemente conglomerados y gravas líticas de origen

sedimentario, con matriz limosa y capas lenticulares de arenas líticas, limos y turba (Qal1). En el tope de la secuencia se encuentran discordantes los sedimentos recientes de los ríos Atrato, San Juan y Condoto (Qal2) (figura 4.17).

Figura 4.17. Perfil estratigráfico de depósitos aluviales auríferos y platiníferos (Distrito del Chocó)

	Qal 2	<ul style="list-style-type: none"> · Limolitas verdes y amarillentas · Arenitas líticas de color verde amarillento con intercalaciones de lentes de turba. · Conglomerados de grano medio redondeados.
	Qal 1	<ul style="list-style-type: none"> · Limolitas verdes y amarillentas. · Arenitas líticas de color verde amarillento con intercalaciones de lentes de turba. · Conglomerados clasto-soportados de grano medio con fragmentos líticos redondeados.
	Qta	<ul style="list-style-type: none"> · Limolitas y arcillolitas verdes y amarillentas. · Arenitas líticas conglomeráticas de color verde. · Conglomerados clasto-soportados de cantos gruesos redondeados con matriz arenosa de fragmentos líticos y chert.
	T	· Litoarenitas verdes masivas compactas con estratificación plana.

Figura 4.18. Mapa de depósitos cuaternarios en la cuenca Atrato-San Juan



4.3.5. PROCESOS EROSIVOS Y DE METEORIZACIÓN

Los abanicos aluviales antiguos conforman actualmente terrazas altas moderadamente disectadas, caracterizadas por exhibir un perfil de meteorización profundo de hasta 10 m de altura.

Las terrazas aluviales no presentan procesos erosivos desarrollados, y solamente se encuentran disectadas por ríos y quebradas actuales. Por su parte, presentan un perfil de meteorización bien desarrollado, de profundidad moderada (hasta 2 m), con un incipiente desarrollo de capa de suelo de hasta 10 cm para la terraza aluvial Qal1 y un perfil poco desarrollado hasta de 0,5 m para la terraza aluvial Qal2, con desarrollo de materia organizada de hasta 10 cm (fotografía 4.1).

Fotografía 4.1. Perfiles de meteorización en terrazas aluviales (Qal1 y Qal2)



4.3.6. GEOLOGÍA ESTRUCTURAL

El occidente colombiano se encuentra localizado en la zona de convergencia de las placas Caribe, Nazca y Sudamericana, formando un complejo estructural de terrenos acrecionados al continente a lo largo de grandes fallas de rumbo con desplazamiento primordialmente dextral. Como consecuencia de ello se han generado bloques tectónicos levantados y cuencas sedimentarias. Una de esas cuencas es la de los ríos Atrato-San Juan, que corresponde con una depresión elongada con dirección N a N-W (Zapata, 2001).

La cuenca Atrato-San Juan está constituida por dos subcuencas: la del río Atrato con dirección N-S y la del río San Juan con dirección preferencialmente noreste. La subcuenca del Atrato es una amplia depresión estructural formada durante la acreción del Arco Magmático Chocó-Panama, caracterizándose como una cuenca profunda con baja deformación. El flanco oriental de la cuenca coincide con un sistema de fallas que pone en contacto rocas sedimentarias terciarias con las rocas ígneas del Batolito de Mandé. El trazo resultante del sistema de fallas es rectilíneo, con dirección general N-S, estimándose que muchos segmentos de fallas son normales y otros son inversos de alto ángulo. Los patrones geométricos de este sistema de fallas indican desplazamiento de rumbo con sentido lateral derecho (ANH-EAFIT, 2007).

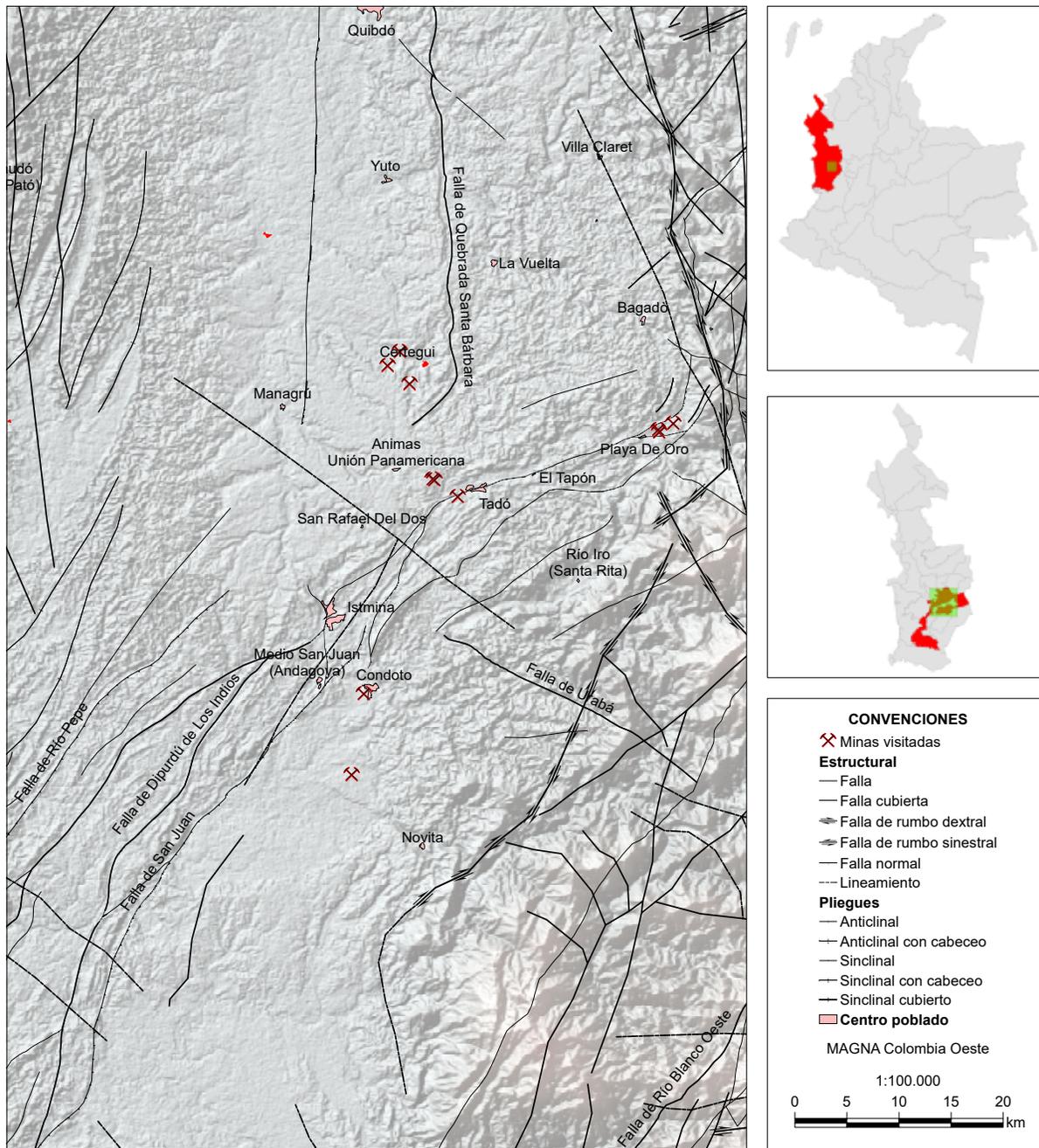
Las subcuencas de los ríos Atrato y San Juan están separadas por la zona deformada de Itsmina, la cual corresponde a una zona estructural con dirección N-60° E y buzamientos fuertes. Está conformada por rocas sedimentarias estratificadas del pre-Mioceno medio, con pliegues apretados y fallados (Zapata, 2001).

La cuenca del río San Juan se formó como consecuencia de la interacción de fallas de rumbo imbricadas con dirección noreste, que dieron como resultado una depresión estructural del tipo full ramp, la cual se encuentra colmatada por sedimentos de origen marino y continental. Esta región del Chocó presenta fallas rumbodeslizantes en dirección noreste, con sentido dextral, siendo las más importantes la falla de Garrapatas, al sur, y la falla del río San Juan, al norte. Los esfuerzos transpresivos entre ellas afectan la secuencia oceánica adosada al continente (figura 4.19).

4.3.7. METALOGÉNESIS Y MINERALIZACIÓN AURÍFERA

El Distrito Minero del Chocó pertenece a la Subprovincia Metalogénica del mismo nombre, que hace parte de la Provincia Metalogénica Andina Occidental, dentro del Dominio Metalogénico Andino. La zona de estudio se caracteriza por la presencia de depósitos de placer superficiales de oro y auro-platiníferos (SGC, 2018).

Figura 4.19. Mapa estructural (Distrito Minero del Chocó)

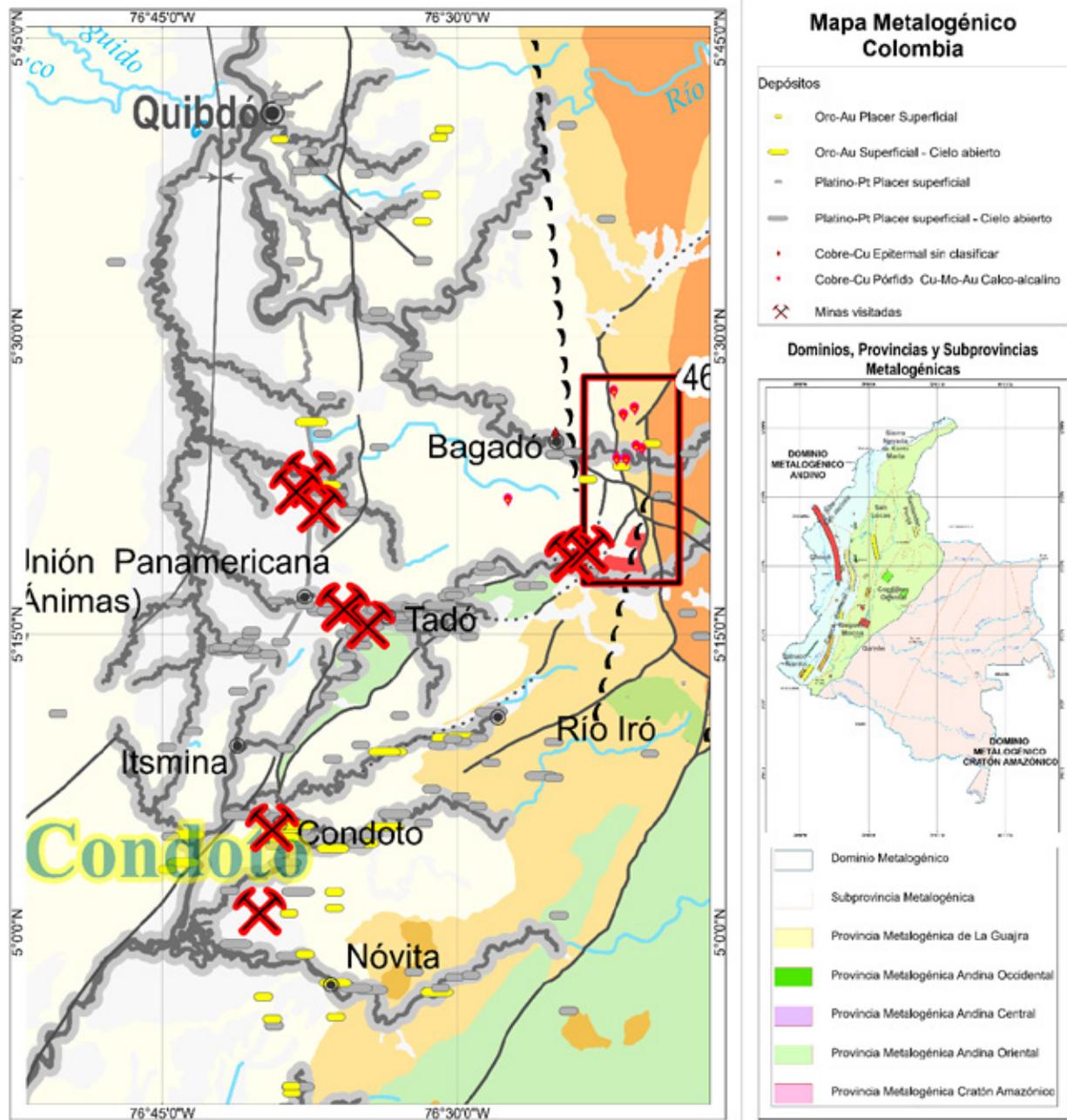


En la cuenca sedimentaria de los ríos San Juan y Atrato se han formado depósitos cuaternarios de concentración mecánica de metales preciosos de platino y oro. Se trata de abanicos aluviales y depósitos de corrientes trenzadas que conforman las terrazas aluviales altas, formadas por la acumulación sucesiva de flujos de escombros y de escorrentía. Sobre las terrazas parcialmente enroscadas se encuentran aluviones recientes, compuestos por conglomerados de cantos polimícticos intercalados con capas gruesas de arenita. Los depósitos de concentración mecánica de origen aluvial se caracterizan por fijar en los paleocanales los metales preciosos transportados, los cuales se encuentran principalmente en los niveles conglomeráticos.

Preliminarmente, se han diferenciado tres depósitos formados en diferentes épocas. Los más antiguos corresponden con las terrazas altas (Qta), adosadas al piedemonte de la cordillera Occidental. Se estima

que, hacia la base, las terrazas de conglomerados y bloques contienen las más importantes concentraciones de platino y oro. El espesor de esta unidad varía entre 30 m y 50 m de profundidad.

Figura 4.20. Mapa de localización del Distrito Minero del Chocó



Fuente: tomado y modificado del mapa metalogénico de Colombia (SGC, 2018)

Discordantes sobre estas terrazas se encuentran depósitos aluviales (Qal1), formados a partir de la erosión de las terrazas altas y de los detritos traídos por los principales ríos. Estos depósitos pueden tener hasta 20 m de profundidad, con gravas redondeadas hacia la base, donde se halla la principal mineralización, y suprayacidos hacia el tope por capas inconsolidadas de arenas y limos, parcialmente meteorizadas. Algunas capas de gravas se pueden encontrar desde los 4 m de profundidad.

Los depósitos auríferos más jóvenes (Qal2) se encuentran en abanicos aluviales recientes de los actuales ríos; pueden alcanzar hasta 5 m de profundidad, desarrollo incipiente de suelo y no presentan meteorización superficial.

La fuente de los metales preciosos para el borde oriental de la cuenca corresponde a oro procedente de los procesos metalogénicos del Batolito de Mandé y platino procedente del complejo ultramáfico del Alto Condoto (CUZAC).

4.3.8. CARACTERIZACIÓN MINERALÓGICA DEL ORO ALUVIAL

Los análisis mineralógicos de metales preciosos de origen aluvial se realizan mediante separación densimétrica, granulométrica y magnética, de acuerdo con la metodología expuesta anteriormente, de tal manera que se obtiene una fracción de minerales livianos, una fracción de minerales pesados, tanto magnéticos como no magnéticos, y una fracción de minerales de arcilla. Finalmente, se obtiene la fracción con minerales pesados y minerales preciosos (arenas negras) como objeto de análisis.

La distribución mineralógica de las gravas y arenas colectadas que corresponden a la fracción liviana (densidad menor a 2,9 gr/cm³) muestra que en su mayoría son minerales formadores de rocas, como cuarzo, plagioclasa, chert y fragmentos líticos de roca ígnea granitoide. La fracción fina corresponde a minerales de arcilla como clorita, illita y caolinita. La fracción de minerales pesados magnéticos corresponde esencialmente a magnetita, mientras que la fracción de minerales pesados no magnéticos contiene aquellos de alta densidad, alta resistencia a la abrasión y alta dureza. Los porcentajes en peso están representados en las tablas de distribución de pesos para cada mina.

Como resultado del análisis mineralógico realizado, se determinó que más del 90 % de minerales son minerales livianos, mientras que la concentración de minerales pesados no magnéticos apenas alcanza valores entre 0,1 % y 0,2 %. Ello explica la razón por la cual es necesario remover gran cantidad de material para obtener una pequeña fracción de minerales pesados y preciosos.

En los puntos a continuación se describen las características mineralógicas de cada mina.

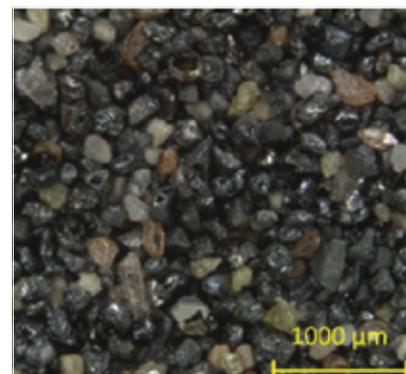
4.3.8.1. MINA CALO

La composición mineralógica de minerales pesados no magnéticos, contenidos en la fracción granulométrica de 250 µm a 500 µm, ordenados de mayor a menor abundancia es: ilmenita anhedral, hematita-goethita anhedral, magnetita subhedral octaédrica, epidota verde pistacho subhedral, zircón rosado subhedral bipiramidal ditetragonal y apatito verde anhedral (figura 4.21).

Figura 4.21. Distribución en peso y porcentual por fracciones (Mina Calo)

MINA	PESO INICIAL	LIVIANOS (<2,9)	PESADOS MAGNÉTICOS	PESADOS NO MAGNÉTICOS	PESO FINOS
Calo	3396,5	3125	0,7	7,8	263
%	100	92,01	0,02	0,23	7,74

Fotografía 4.2. Minerales pesados, fracción de tamaño de 250-500 µm (Mina Calo)



4.3.8.2. MINA LA BATEA

La composición mineralógica de minerales pesados no magnéticos, contenidos en la fracción granulométrica de 250 µm a 500 µm, ordenados de mayor a menor abundancia es: ilmenita subhedral anhedral concóidea, zircón traslúcido rosa anhedral, apatito verde

anhedral, pirita anhedral angular, magnetita subhedral y fragmentos líticos clorítico-anhedrales (figura 4.22).

Figura 4.22. Distribución en peso y porcentual por fracciones (Mina La Batea)

MINA	PESO INICIAL	LIVIANOS (<2,9)	PESADOS MAGNÉTICOS	PESADOS NO MAGNÉTICOS	PESO FINOS
Batea	7305,8	6976,4	0	7,4	322
%	100	95,49	0,00	0,10	4,41
Batea	3948,4	3934,5	0,4	5,5	8
%	100	99,65	0,01	0,14	0,2

4.3.8.3. MINA CANDELARIA

La composición mineralógica de minerales pesados no magnéticos, contenidos en la fracción granulométrica de 250 µm a 500 µm, ordenados de mayor a menor abundancia es: pirita (subhedral cúbica a anhedral angular), galena (¿?) anhedral angular, ilmenita anhedral angular con fractura concóidea, magnetita (euhedral a subhedral octaédrica), zircón subhedral con tonalidad rosada y apatito traslúcido con tonalidad verde anhedral (figura 4.23).

Figura 4.23. Distribución en peso y porcentual por fracciones (Mina Candelaria)

MINA	PESO INICIAL	LIVIANOS (<2,9)	PESADOS MAGNÉTICOS	PESADOS NO MAGNÉTICOS	PESO FINOS
Candelaria	3429,2	3270,9	1,1	2,7	154,5
%	100	95,38	0,03	0,08	4,51

4.3.8.4. MINA LA TOMA

La composición mineralógica de minerales pesados no magnéticos, contenidos en la fracción granulométrica de 250 µm a 500 µm, ordenados de mayor a menor abundancia es: zircón rosado subhedral bipiramidal ditetragonal, apatito verde hexagonal, anfíbol subhedral tabular alargado, turmalina (var. Chorlo) subhedral tabular alargada, ilmenita anhedral, cuarzo lechoso anhedral, pirita subhedral cúbica y hematita-goethita anhedral (figura 4.24).

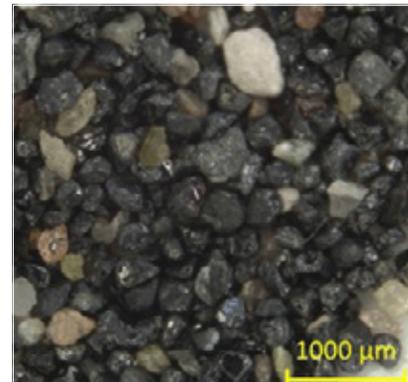
Figura 4.24. Distribución en peso y porcentual por fracciones (Mina La Toma)

MINA	PESO INICIAL	LIVIANOS (<2,9)	PESADOS MAGNÉTICOS	PESADOS NO MAGNÉTICOS	PESO FINOS
La Toma	3873,7	3328,3	0,8	21,5	523,1
%	100	85,92	0,02	0,56	13,5

4.3.8.5. MINA SANTA RITA

La composición mineralógica de minerales pesados no magnéticos, contenidos en la fracción granulométrica de 250 µm a 500 µm, ordenados de mayor a menor abundancia es: ilmenita anhedral, hematita-goethita anhedral a botroidal, magnetita octaédrica (euhedral a subhedral), pirita anhedral, zircón rosado subhedral bipiramidal ditetragonal y rutilo (¿?) traslúcido amarillo anhedral (figura 4.25).

Fotografía 4.3. Minerales pesados, fracción de tamaño de 250-500 µm (Mina La Batea)



Fotografía 4.4. Minerales pesados, fracción de tamaño de 250-500 µm (Mina Candelaria)



Fotografía 4.5. Minerales pesados, fracción de tamaño de 250-500 µm (Mina La Toma)

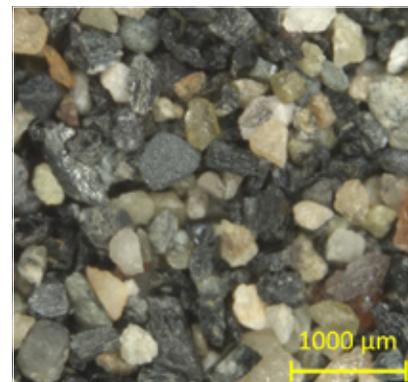


Figura 4.25. Distribución en peso y porcentual por fracciones (Mina Santa Rita)

MINA	PESO INICIAL	LIVIANOS (<2,9)	PESADOS MAGNÉTICOS	PESADOS NO MAGNÉTICOS	PESO FINOS
Santa Rita	2213,7	1340,4	0,5	0,8	872
%	100	60,55	0,02	0,04	39,39

4.3.8.6. MINA CARMELO

La composición mineralógica de minerales pesados no magnéticos, contenidos en la fracción granulométrica de 250 µm a 500 µm, ordenados de mayor a menor abundancia es: ilmenita anhedral con fractura concóidea, anfíbol subhedral, magnetita euhedral octaédrica, zircón traslúcido con tonalidad rosada subhedral, apatito subhedral traslúcido con tonalidad verde, olivino (¿?) anhedral de tonalidad verde y brillo vítreo, hematita-goethita (anhedral-subhedral) y apatito traslúcido con tonalidad amarilla (anhedral-subhedral) (figura 4.26)

Figura 4.26. Distribución en peso y porcentual por fracciones (Mina Carmelo)

MINA	PESO INICIAL	LIVIANOS (<2,9)	PESADOS MAGNÉTICOS	PESADOS NO MAGNÉTICOS	PESO FINOS
Carmelo	4159,5	4053,4	0,9	16,6	88,6
%	100	97,45	0,02	0,40	2,13

4.3.8.7. MINA LA LOMA

La composición mineralógica de minerales pesados no magnéticos, contenidos en la fracción granulométrica de 250 µm a 500 µm, ordenados de mayor a menor abundancia es: hematita (anhedral-subhedral), ilmenita anhedral con fractura concóidea, magnetita subhedral octaédrica, apatito traslúcido con tonalidad amarilla y verde, zircón rosado subhedral, pirita (desde euhedral cúbica hasta anhedral), muscovita anhedral y granate rosado isométrico euhedral (figura 4.27).

Figura 4.27. Distribución en peso y porcentual por fracciones. Mina La Loma

MINA	PESO INICIAL	LIVIANOS (<2,9)	PESADOS MAGNÉTICOS	PESADOS NO MAGNÉTICOS	PESO FINOS
La Loma	2863,3	2650,2	3,4	0,8	208,9
%	100	92,56	0,12	0,03	7,3

4.3.8.8. MINA LA PLATINA

La composición mineralógica de minerales pesados no magnéticos, contenidos en la fracción granulométrica de 250 µm a 500 µm, ordenados de mayor a menor abundancia es: ilmenita anhedral con fractura concóidea, magnetita euhedral isométrica (octaédrica a anhedral), pirita (subhedral a anhedral), zircón con tonalidad rosada (de euhedral a subhedral), apatito rosado y verde (euhedral hexagonal a subhedral) y hematita anhedral reniforme (figura 4.28).

Fotografía 4.6. Minerales pesados, fracción de tamaño de 250-500 µm (Mina Santa Rita)



Fotografía 4.7. Minerales pesados, fracción de tamaño de 250-500 µm (Mina Carmelo)



Fotografía 4.8. Minerales pesados, fracción de tamaño de 250-500 µm. Mina La Loma

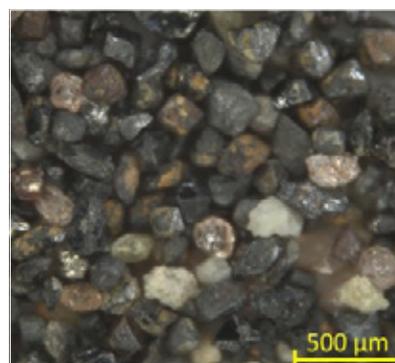


Figura 4.28. Distribución en peso y porcentual por fracciones (Mina La Platina)

MINA	PESO INICIAL	LIVIANOS (<2,9)	PESADOS MAGNÉTICOS	PESADOS NO MAGNÉTICOS	PESO FINOS
La Platina	3879,6	3001,1	3,2	2,3	873
%	100	77,36	0,08	0,06	22,5

4.3.8.9. MINA COCO-SAN JOSÉ

La composición mineralógica de minerales pesados no magnéticos, contenidos en la fracción granulométrica de 250 µm a 500 µm, ordenados de mayor a menor abundancia es: zircón rosado euهدral tetragonal bipiramidal ditetragonal, apatito verde hexagonal bipiramidal hexagonal, magnetita (de euهدral a subهدral octaédrica), ilmenita anهدral, granate con tonalidad roja dodecaédrica, pirita subهدral cúbica y hematita-goethita anهدral (figura 4.29).

Figura 4.29. Distribución en peso y porcentual por fracciones (Mina Coco-San José)

MINA	PESO INICIAL	LIVIANOS (<2,9)	PESADOS MAGNÉTICOS	PESADOS NO MAGNÉTICOS	PESO FINOS
Coco	3803,8	3351,2	6,1	5,5	441
%	100	88,1	0,16	0,14	11,59

4.3.8.10. MINA AUVERT

La composición mineralógica de minerales pesados no magnéticos, contenidos en la fracción granulométrica de 250 µm a 500 µm, ordenados de mayor a menor abundancia es: ilmenita (anهدral-subهدral), granate dodecaédrico con tonalidad roja, zircón rosado subهدral bipiramidal ditetragonal, apatito verde anهدral, rutilo (??) amarillo anهدral, magnetita octaédrica euهدral, hematita (anهدral-subهدral), pirita cúbica (euهدral a anهدral) y arsenopirita anهدral (figura 4.30).

Figura 4.30. Distribución en peso y porcentual por fracciones (Mina AuVert)

MINA	PESO INICIAL	LIVIANOS (<2,9)	PESADOS MAGNÉTICOS	PESADOS NO MAGNÉTICOS	PESO FINOS
Auvert	2624,2	1980,3	2,1	2,8	639
%	100	75,46	0,08	0,11	24,35
Auvert	1464,5	1132,5	3,8	3,2	325
%	100	77,33	0,26	0,22	22,19

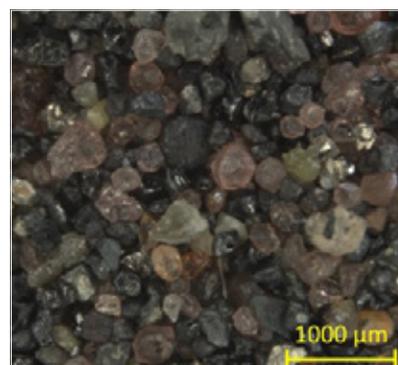
4.3.8.11. MINA CLIDIO

La composición mineralógica de minerales pesados no magnéticos, contenidos en la fracción granulométrica de 250 µm a 500 µm, ordenados de mayor a menor abundancia es: ilmenita irregular subهدral con fractura concóidea, hematita (anهدral-subهدral), pirita euهدral cúbica (irregular-anهدral a subهدral), zircón de tonalidad rosada (generalmente euهدrales), apatito verde (subهدral-anهدral), magnetita isométrica euهدral octaédrica, cromita (??) subهدral, apatito traslúcido e incoloro y apatito traslúcido con tonalidad amarilla (figura 4.31).

Fotografía 4.9. Minerales pesados, fracción de tamaño de 250-500 µm (Mina La Platina)



Fotografía 4.10. Minerales pesados, fracción de tamaño de 250-500 µm (Mina Coco-San José)



Fotografía 4.11. Minerales pesados, fracción de tamaño de 250-500 µm. Mina Auvert

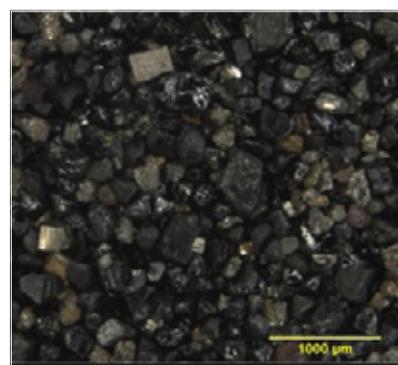


Figura 4.31. Distribución en peso y porcentual por fracciones. Mina Clidio

MINA	PESO INICIAL	LIVIANOS (-2,9)	PESADOS MAGNÉTICOS	PESADOS NO MAGNÉTICOS	PESO FINOS
Clidio	1297,5	1090,6	0,3	2,1	204,5
%	100	84,05	0,02	0,16	15,76
Clidio	1954,5	1751,5	0,1	2,1	200,8
%	100	89,61	0,01	0,11	10,27

Fotografía 4.12. Minerales pesados, fracción de tamaño de 250-500 µm (Mina AuVert)



4.3.9. CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS DEL ORO

Mediante análisis macroscópicos se establecen las características morfológicas de tamaño, forma y textura externa, mientras que de los análisis microscópicos se obtienen las características de forma y textura interna.

Los parámetros cuantitativos involucran la obtención del largo (L), ancho (A) y espesor (E) de cada grano de oro, con el fin de determinar diámetros equivalentes, circularidad, factor de forma Corey e índice de aplanamiento de Cailleux (Eyles, 1995; Knight et al., 1999a; Youngson y Craw, 1999; Wierchowiec, 2002; Townley et al., 2003; Rasmussen et al., 2006; Barrios et al., 2015); además, se considera el diámetro de esfera equivalente $ESD=(LWT)/1/3$ (Bonev et al., 2002; Barrios et al., 2015).

El índice de aplanamiento de Cailleux [$CFI=(L + W) / 2 T$] cuantifica la redistribución de una partícula maleable debido a golpes y flexiones sufridas durante su transporte en ambiente fluvial (Cailleux y Tricart, 1959), lo mismo que la posible distancia de su fuente de mineralización, de modo que valores más grandes de CFI indican mayores distancias de la fuente. (Townley et al., 2003).

El factor de forma de Corey [$CSF=T / \sqrt{(LW)}$] describe numéricamente el nivel de *aplanamiento hojuelar*, de modo que valores cercanos a 0 son asociados a partículas planares y valores aproximados a 1 indican formas más esféricas (Corey, 1949).

El diámetro de la esfera equivalente asigna un único valor relacionado con el tamaño de la partícula respecto de una esfera encapsulada en un cubo con dimensiones equivalentes (tres dimensiones de una partícula) (Jennings y Parslow, 1988).

La circularidad representa la aproximación de las partículas a un círculo perfecto definido por la fórmula $C=(4\pi A/P^2)$, siendo una variable que toma valores menores o iguales a 1.

Otra característica importante en la descripción realizada a partir de la metalografía, dado que las partículas de oro aluvial frecuentemente exhiben diferentes colores, tonalidades y texturas porosas o esponjiformes, además de coronas enriquecidas en oro producto de lixiviación de plata (Alves et al., 2020).

4.3.9.1. TAMAÑO DEL GRANO DE ORO

La distribución granulométrica por tamaño de partículas, considerando el diámetro equivalente, indica una tendencia decreciente en el número de partículas a medida que aumenta el tamaño de grano. Se observa que la mayoría de los granos se encuentran por debajo de 500 µm, mientras que la partícula más grande alcanza un tamaño de casi 1600 µm (figura 4.32).

La distribución en peso muestra una distribución relativamente constante a partir de 300 µm, que varía entre el 6 % y 12 %. Es notable un incremento en el rango entre 1000 µm y 1100 µm, que alcanza el

22 %. Esta proporción puede ser una característica del depósito o puede interpretarse también como la mezcla de dos áreas de aporte (figuran 4.33).

4.3.9.2. ANÁLISIS CUANTITATIVO DE LOS GRANOS DE ORO

Mediante la extracción selectiva de partículas de oro (*picking*) de los concentrados no magnéticos se hallaron 285 partículas de oro, con ayuda de estereomicroscopio (Zeiss Axiocam) y analizador de imágenes (Image-J). Se toma como base una ley promedio de oro de 850, con densidad de 19,32 g/cm³, para establecer el peso por partícula y los respectivos porcentajes en peso por rango de tamaño.

Del total de 285 granos de oro, 180 presentan diámetro equivalente <150 µm, 67 se hallan en un rango de tamaño entre 150-250 µm, 29 están en el rango de tamaño 250-500 µm y 9 partículas de oro están el rango de tamaño 500-1000 µm (figura 4.34).

La distribución de tamaño de grano para cada una de las minas indica que hay mayor homogeneidad hacia las fracciones menores a 100 µm y mayor dispersión hacia las fracciones de mayor tamaño; así mismo, hay mayor variabilidad o dispersión de tamaño en las minas Clidio, La Toma, Santa Rita y Carmelo.

Según la distribución para cada mina visitada en el Distrito Minero del Chocó, se tiene que para la mina Clidio los granos de oro registran diámetros equivalentes mínimos de 27 µm y máximos de 470 µm, en tanto que tres partículas de oro de esta mina exhiben valores atípicos máximos de hasta 640 µm; La Loma reporta valores mínimos de diámetro equivalente de 65 µm y valores máximos de 104 µm; La Platina registra diámetros equivalentes mínimos de 36 µm, valores máximos de 250 µm y dos partículas de oro con valores atípicos máximos de 656 µm; Carmelo presenta valores mínimos de 38 µm y máximos de 540 µm; Candelaria expone valores mínimos de 51 µm, máximos de 270 µm y un valor atípico máximo de 508 µm; La Batea expone valores mínimos de 46 µm, máximos de 285 µm y un valor atípico de 396 µm; Coco registra

Figura 4.32. Distribución de partículas de oro por número de granos

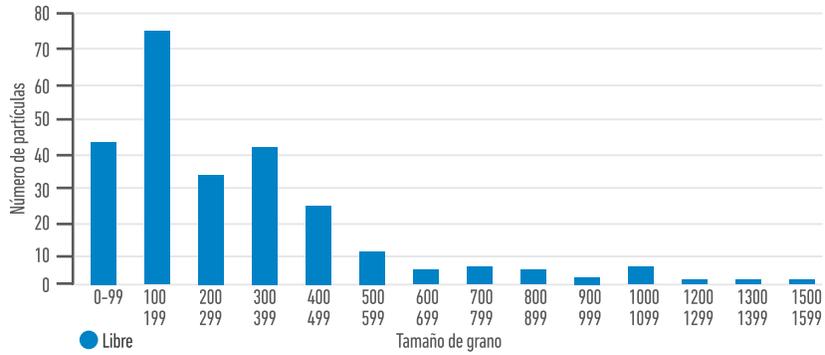


Figura 4.33. Distribución de partículas de oro en peso

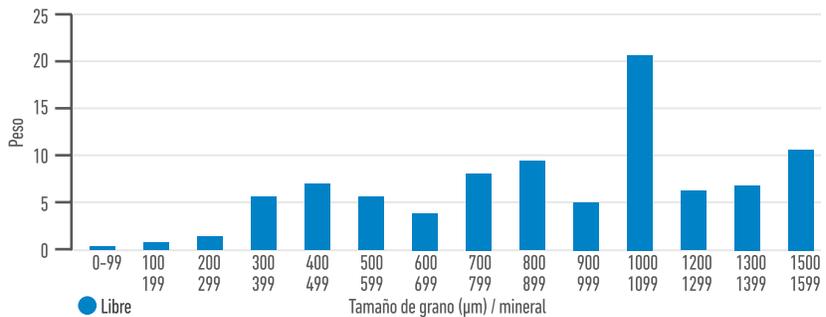
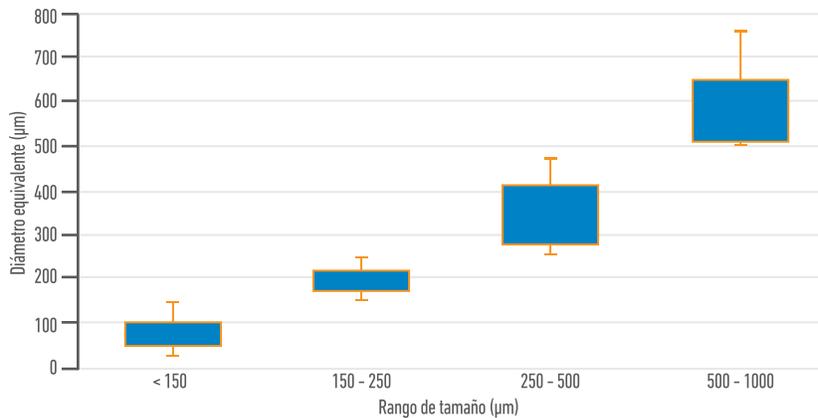
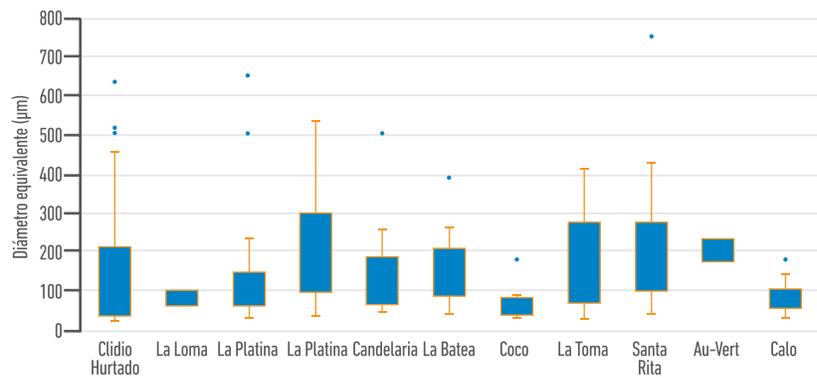


Figura 4.34. Distribución de granos de oro según el diámetro equivalente y rangos de tamaño (Distrito Minero del Chocó)



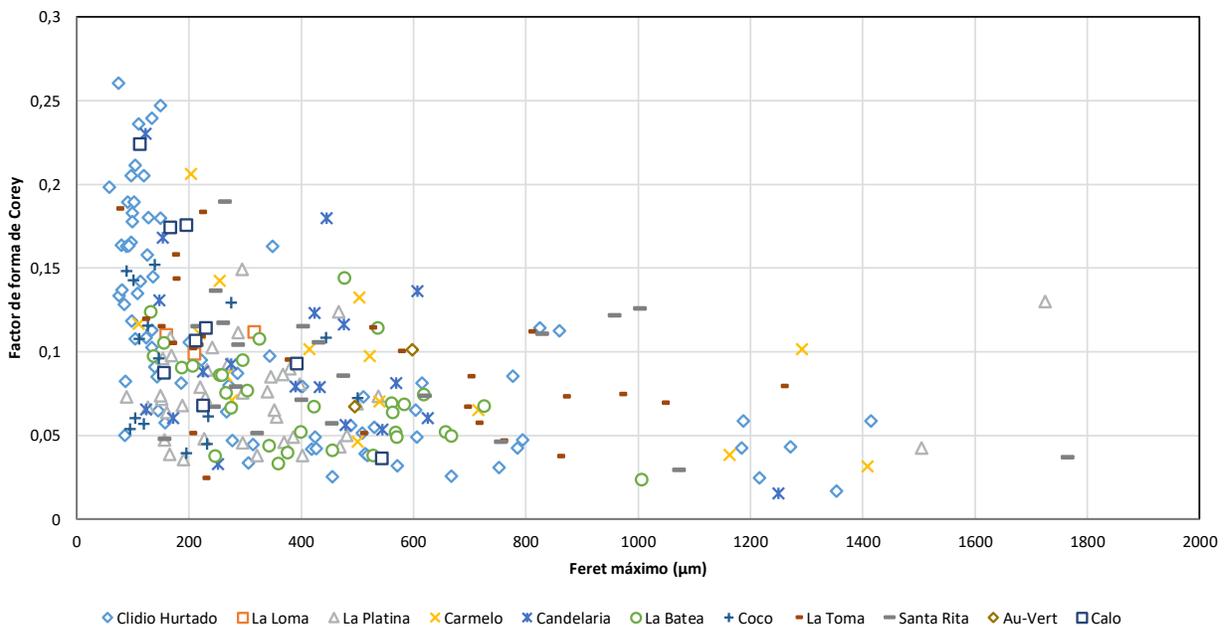
valores mínimos de 35 μm , valores de 97 μm y un valor atípico de 185 μm ; La Toma muestra valores mínimos de 31 μm y máximos de 418 μm ; Santa Rita expone valores mínimos de 46 μm , máximos de 440 μm y un valor atípico de 758 μm ; en el caso de mina Au-Vert, los valores registrados de diámetro equivalente para los granos de oro son mínimos desde 238 μm y máximos hasta de 178 μm ; por último, para la mina Calo se reportan valores mínimos de 36 μm , máximos de 150 μm y un valor atípico de 186 μm (figura 4.35).

Figura 4.35. Distribución de granos de oro según el diámetro equivalente y mina visitada (Distrito Minero del Chocó)



La distribución del factor de forma de Corey (CSF) con respecto al feret máximo de cada partícula (figura 4.36) en general muestra valores de CSF bajos ($\leq 0,3$) en un rango que va de 0 a 1, lo que indica una tendencia de todos los granos de oro a presentar formas hojelares. Si bien esta observación es concluyente, gracias a este gráfico de dispersión se establecen dos campos de tendencias C1 y C2. En el campo C1 los valores CSF máximos son de 0,26 y no superan el feret máximo de 200 μm , lo cual indica que las partículas pequeñas tienen tendencia a ser más esféricas, mientras que para el campo C2 los valores CSF van desde 0,02 hasta 0,13 y se registra un amplio rango de partículas desde 58 μm hasta 1765 μm , lo cual indica que las partículas grandes tienden a ser más planares.

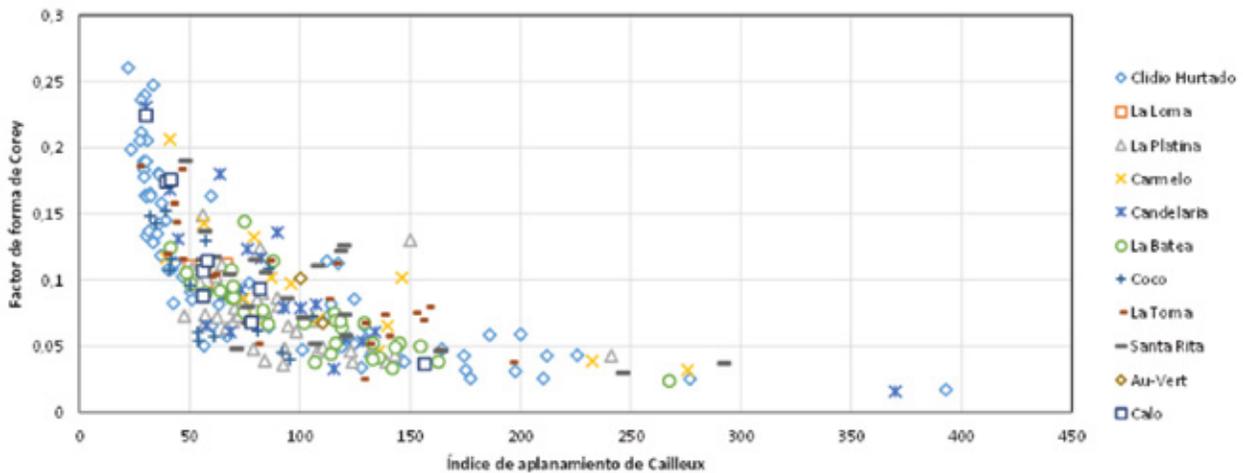
Figura 4.36. Factor de forma de Corey vs feret máximo (Distrito Minero del Chocó)



Se expone la relación entre el factor de forma de Corey y el índice de aplanamiento de Cailleux, con el fin de establecer el comportamiento estadístico de las formas del oro respecto a su distancia relativa de la fuente mineralizada. Como era de esperar, el diagrama de dispersión (figura 4.37) permite observar la relación inversamente proporcional entre estos dos parámetros. Es decir, valores cercanos a 0 según el factor de forma de Corey (presencia de granos hojelares), indican distancias más grandes entre la localización de estos granos y su fuente mineralizada.

Si bien el índice de aplanamiento de Cailleux cuantifica la redistribución de una partícula maleable debido a golpes y flexiones sufridas durante su transporte en ambiente fluvial (Cailleux y Tricart, 1959) y se considera que un valor menor a 16 indica una distancia menor a 1 Km de su fuente mineralizada (Townley et al., 2003), este no es el caso. Todas las partículas de oro analizadas reflejan valores menores a 25, lo que indica que la distancia a su fuente es mayor a 1 Km.

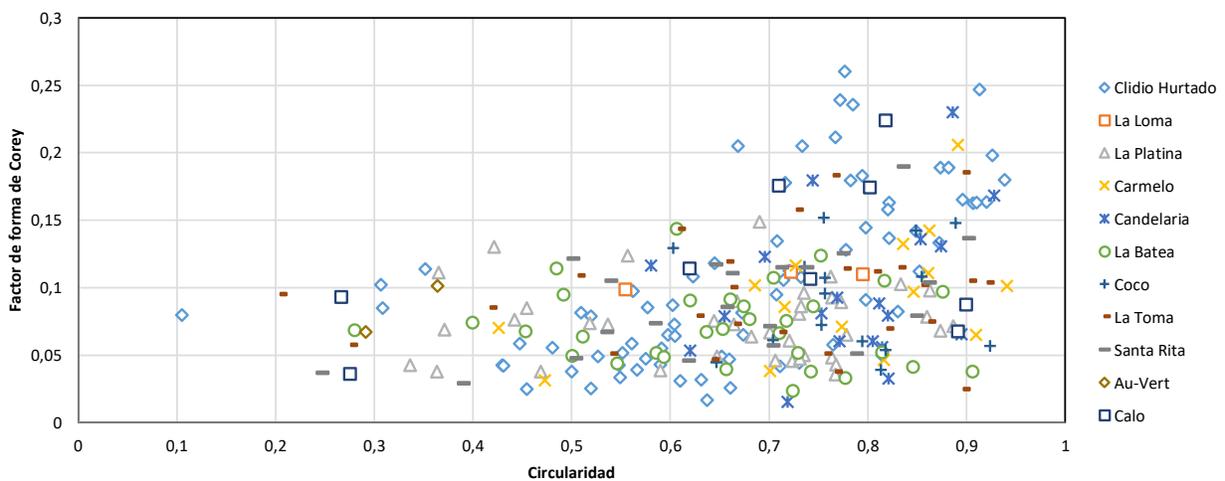
Figura 4.37. Factor de forma de Corey vs índice de aplanamiento de Cailleux (Distrito Minero del Chocó)



La relación entre la circularidad y el factor de forma de Corey indica una tendencia a desarrollar formas circulares para partículas planares (C1) y otra tendencia de desarrollo de formas circulares en partículas menos planares (C2), especialmente en aquellas minas del depósito Qa1 (figura 4.38).

En el campo C1 la mayoría de las partículas, según la circularidad, registran valores amplios desde 0,1 hasta 0,93, directamente relacionadas con un valor CSF menor a 0,12, es decir, partículas muy hojelares, mientras que una menor proporción de partículas para el campo C2 engloba valores de circularidad entre 0,7 y 0,94, con valores de CSF de hasta 0,26.

Figura 4.38. Factor de forma de Corey vs circularidad (Distrito Minero del Chocó)

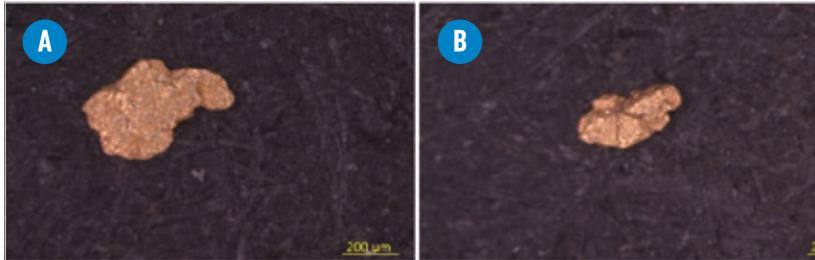


Las descripción macroscópica de partículas de oro, así como sus características microscópicas, se realiza para cada una de las minas del Distrito, indicando la distribución por rango de tamaño y luego sus características microscópicas.

4.3.9.3. MINA CALO

En esta mina se analizaron 37 partículas de oro (figura 41), y según los porcentajes en peso calculados se determina que las partículas menores a 150 µm son el 5,05 % en peso; en un rango de tamaño de 150-250 µm se reporta un 26,60 % en peso y en un rango de tamaño de 250-500 µm un 67,75 % en peso (figura 4.39).

Fotografía 4.13. Morfología de partículas de oro (Mina Calo): (a) oro en rango de tamaño de 250-500 µm; (b) oro en rango de tamaño 150-250 µm

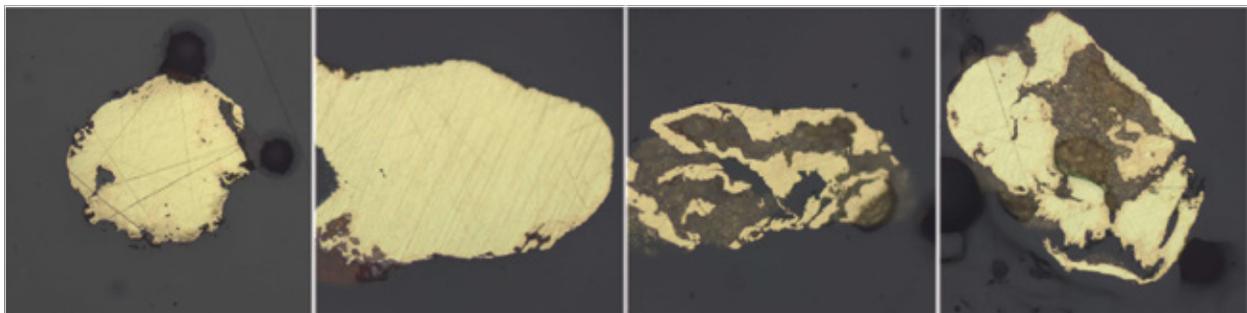


Se caracterizan 6 partículas de oro para la mina Calo bajo microscopio de luz reflejada: 3 tienen tonalidad amarillo, 2 corresponden a oro amarillo con anillo enriquecido en oro (tonalidad rojiza) y 1 partícula de oro amarillo aparece asociada a hematita anhedral (figura 4.40 y fotografía 4.14).

Los análisis petrográficos en la mina Calo indican que las

partículas de oro tienden a ser semicirculares, con bordes subredondeados y superficie uniforme. Algunos granos presentan superficies discontinuas irregulares, correspondientes a anteriores superficies laminares que se doblan para conformar granos esféricos o por la unión de dos o más partículas que se juntan durante el transporte, fenómeno que se presenta por la alta maleabilidad del oro. Las partículas presentan además bordes de enriquecimiento de oro.

Fotografía 4.14. Microfotografías de partículas de oro y sus características (Mina Calo)



4.3.9.4. MINA LA TOMA

Aquí se analizaron 26 partículas de oro (ver figura 15), de las cuales se obtiene que el 75,03 % en peso está en un rango de tamaño menor a 150 µm, el 4,22 % en peso se halla en un rango de tamaño de 150-250 µm y el 20,75 % en peso se encuentra en el rango de 250-500 µm (fotografía 5.15).

Figura 4.39. Distribución de porcentaje en peso por rangos de tamaño (Mina Calo)

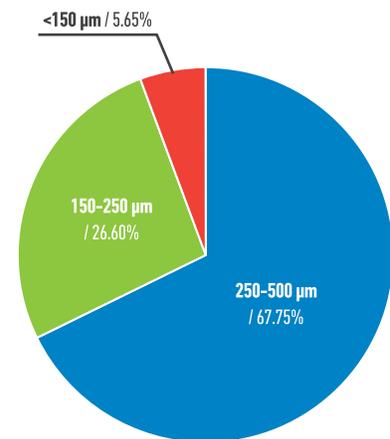
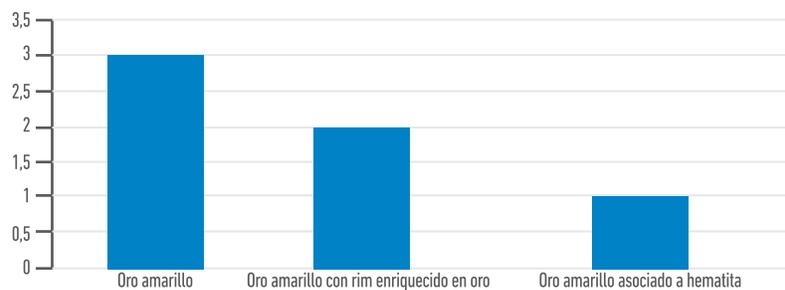
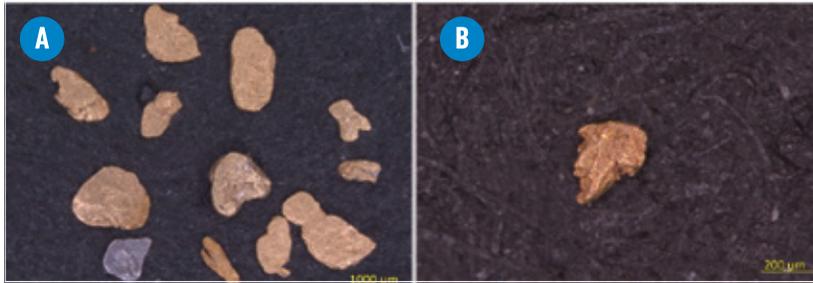


Figura 4.40. Distribución de características partículas de oro (Mina Calo)



Fotografía 4.15. Fotografías bajo estereomicroscopio (Mina La Toma): (a) oro en rango de tamaños variables, menores a 150 μm hasta 1000 μm ; (b) oro en rango de tamaño de 150-250 μm



Bajo el microscopio, las partículas de oro de la Mina la Toma son generalmente laminares elongadas, con bordes angulares a subredondeados. Por lo general tienen superficies homogéneas, con bajo desarrollo de anillos de enriquecimiento. Algunas partículas presentan parches o zonas de enriquecimiento de oro nativo alrededor de oro rico en plata, mientras que algunas partículas de platino tienen formas tabulares semicirculares con bordes redondeados.

Se analizan 9 partículas de oro para esta mina bajo microscopio de luz reflejada (figura 4.42), determinándose que 6 de ellas tienen tonalidad amarilla, 2 corresponden a partículas de oro amarillo pálido y 1 a oro amarillo con corona enriquecida en oro (tonalidad rojiza) (fotografía 4.16).

Figura 4.41. Distribución de porcentaje en peso según rangos de tamaño (Mina La Toma)

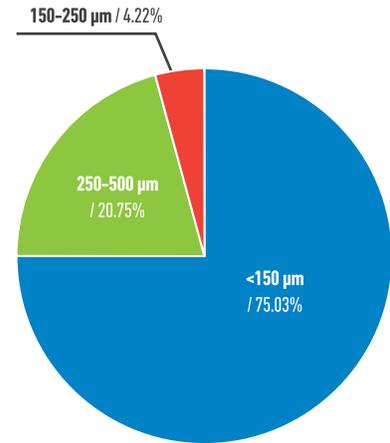
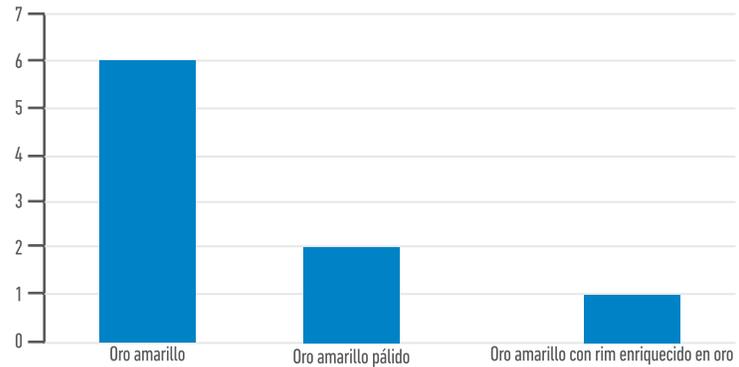
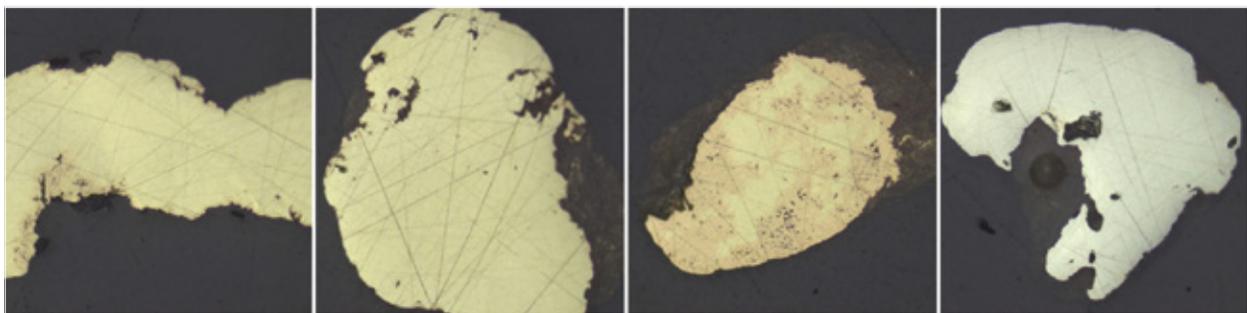


Figura 4.42. Características partículas de oro bajo microscopio (Mina La Toma)



Fotografía 4.16. Morfología de granos de oro (Mina La Toma)



4.3.9.5 MINA LA PLATINA

En la mina La Platina se analizan 40 partículas de oro (fotografía 4.17), de estas el 2,03% en peso se halla en rango de tamaño <150 μm , el 2,63% en peso se registra en rango de tamaño 150-250 μm y el 95,34% en peso en un rango de tamaño de 250-500 μm .

La descripción microscópica de las partículas de oro de la mina La Platina indica que son generalmente laminares semicirculares a elongadas, con bordes angulares a subredondeados. La mayoría de las partículas

presentan reemplazamiento de electrum por oro nativo. Estas partículas con reemplazamiento tienen superficie rugosa irregular por cavidades derivadas de la recristalización del oro.

Se caracterizan 9 partículas de oro para esta mina bajo microscopio de luz reflejada (figura 4.44), determinándose que 1 partícula es de oro es amarillo pálido, 2 corresponden a oro amarillo con corona porosa enriquecida en oro, 2 son partículas de oro amarillo pálido con corona porosa enriquecida en oro y 6 tienen textura esponjiforme con tonalidad rojiza enriquecida en oro (Fotografía 4.18).

Fotografía 4.17. Fotografías bajo estereomicroscopio (Mina La Platina): (a) oro en rango de tamaño de 250-500 μm ; (b) oro en rango de tamaño de 150-250 μm

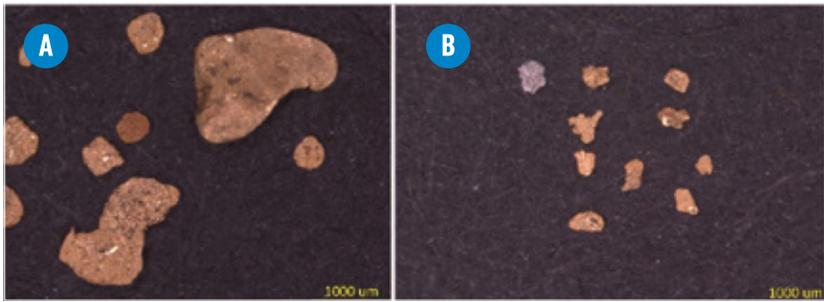


Figura 4.43. Distribución de porcentaje en peso según rangos de tamaño (Mina La Platina)

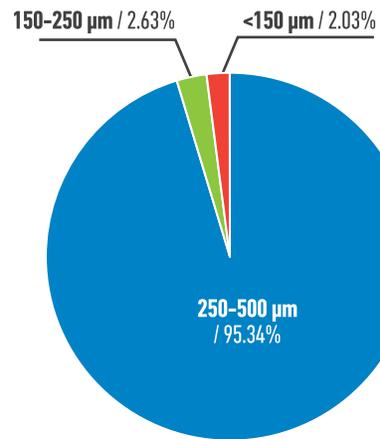
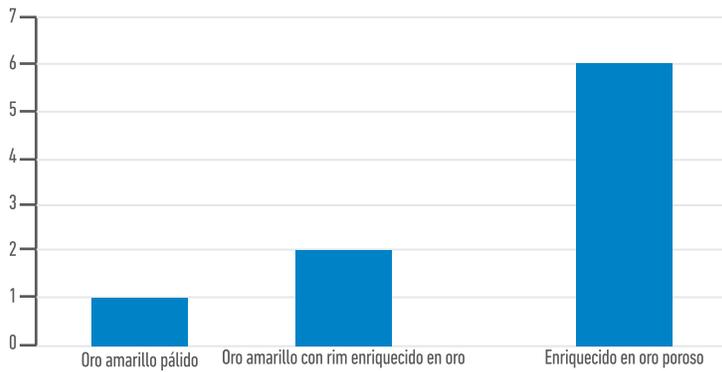
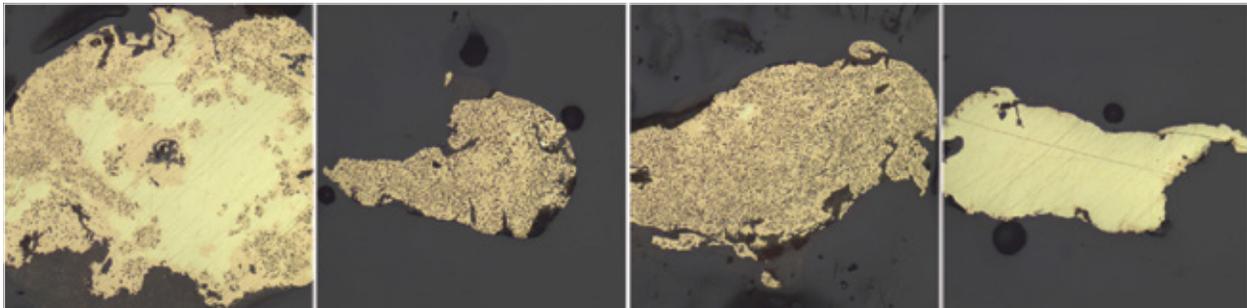


Figura 4.44. Características partículas de oro bajo microscopio (Mina La Platina)



Fotografía 4.18. Morfología de granos de oro (Mina La Platina)



4.3.9.6. MINA CLIDIO

Aquí se analizan 75 partículas de oro, y según los porcentajes en peso calculados se determina que las partículas menores a 150 μm son el 2,06 % en peso, mientras que en el rango de tamaño de 150-250 μm se reporta un 4,25 % en peso, en el rango de tamaño de 250-500 μm un 57,57 % en peso y, por último, el rango de tamaño de 500-1000 μm abarca el 36,42 % en peso (fotografía 4.19 y figura 4.45).

Las características microscópicas de las partículas de oro de la mina Clidio muestran que son generalmente laminares semicirculares a elongadas, con bordes angulares a redondeados. Por lo general las partículas

tienen superficies homogéneas, con escaso desarrollo de anillos de enriquecimiento de oro en los bordes. Presentan frecuentes discontinuidades por efecto del doblamiento laminar derivado del transporte. Algunas partículas presentan inclusiones de cuarzo y zircón.

Se caracterizan 25 partículas de oro para esta mina bajo microscopio de luz reflejada (figura 4.46) determinándose que 17 de ellas tienen tonalidad amarilla, 1 es amarillo pálido, 2 corresponden a oro amarillo con corona porosa enriquecida en oro, 2 son partículas de oro amarillo pálido con corona porosa enriquecida en oro, se tiene 1 partícula de oro amarillo con inclusion de cuarzo anhedral, 1 partícula de oro amarillo palido con inclusion de zircón euhedral y 1 partícula de oro amarillo con inclusion de magnetita anhedral.

Fotografía 4.19. Fotografías de partículas de oro por rango de tamaño (Mina Clidio): (a) oro en rango de tamaño de 500-1000 μm ; (b) oro en rango de tamaño de 250-500 μm ; (c) oro en rango de tamaño 150-250 μm ; (d) oro en rango de tamaño menor a 150 μm

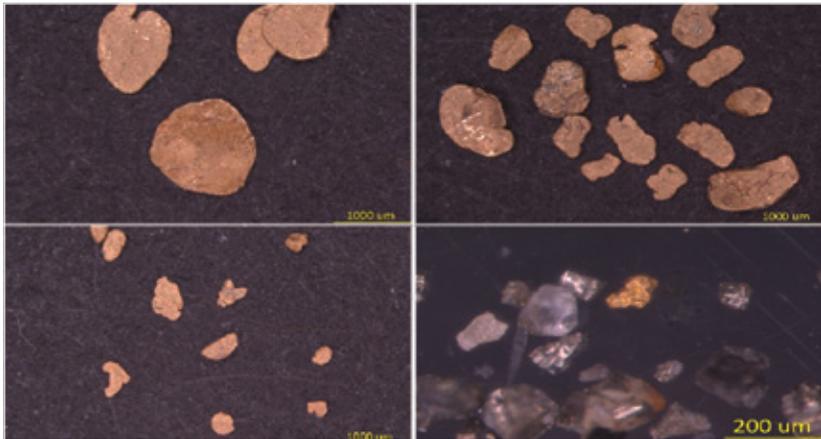


Figura 4.45. Distribución de porcentaje en peso según rangos de tamaño (Mina Clidio)

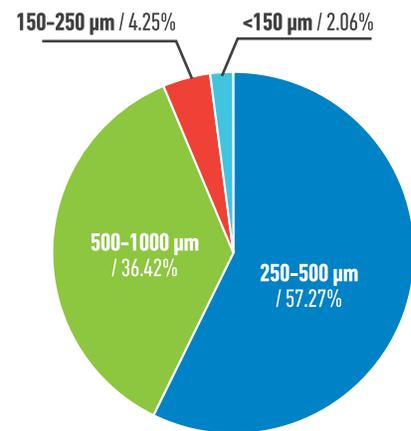
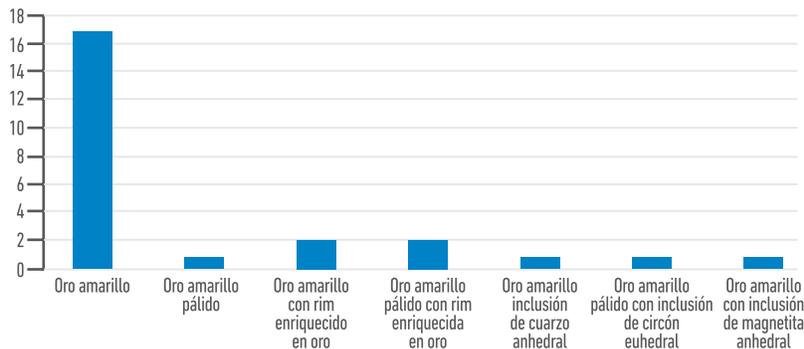
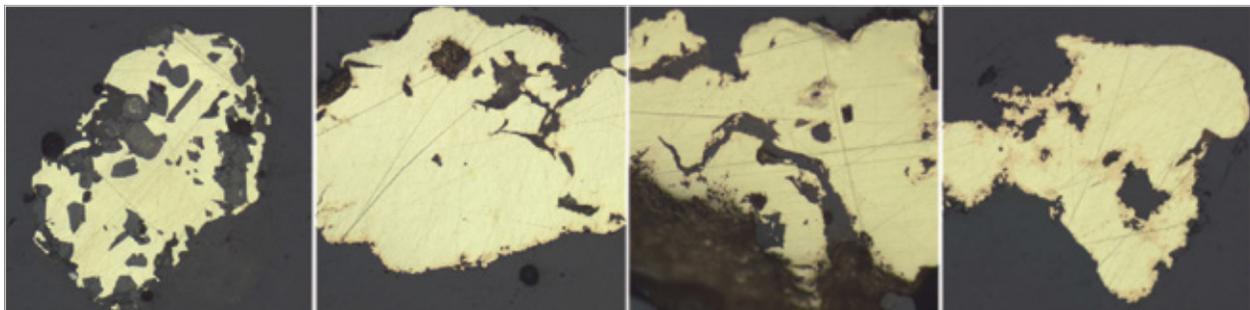


Figura 4.46. Características partículas de oro bajo microscopio (Mina Clidio)



Fotografía 4.20. Morfología de granos de oro (Mina Clidio)



4.3.10. ANÁLISIS CUANTITATIVO DE PARTÍCULAS DE PLATINO

La determinación de partículas de platino se realiza mediante petrografía y análisis de imágenes de 52 partículas de platino halladas en 7 de las 11 minas visitadas: Candelaria (7), La Toma (7), Santa Rita (30),

La Platina (1), Carmelo (1), Clidio (4) y Au-Vert (2). Así mismo, se realizan análisis metalográficos a un total de 25 partículas de platino, las cuales pertenecen a las minas Candelaria (11), Santa Rita (11), Coco (2) y Carmelo (1).

4.3.10.1. TAMAÑO DE GRANO DEL PLATINO

La distribución granulométrica por tamaño de partículas, considerando el diámetro equivalente, muestra que el mayor número de partículas oscila en tamaños de 200-500 μm y que su número decrece a medida que aumenta el tamaño de grano hasta valores cercanos a 1100 μm (figura 4.47).

La distribución en peso muestra una tendencia bimodal, con una población importante en el rango de 300-600 μm , equivalentes al 39 %, mientras que la población de partículas más grande, mayor a 700 μm , alcanza el 27 % (figura 4.48).

Figura 4.47. Número de partículas de platino por rango de tamaño en el Distrito Minero del Chocó

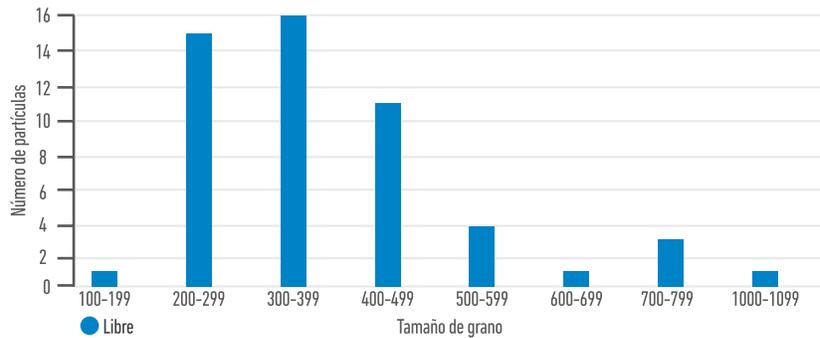
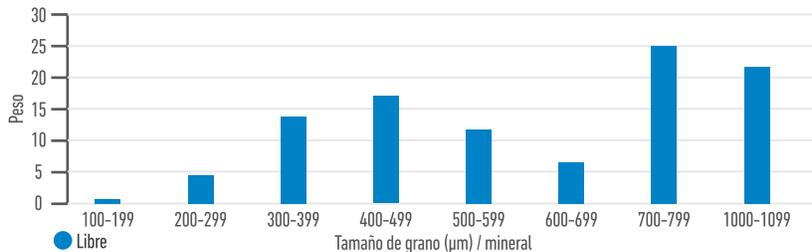
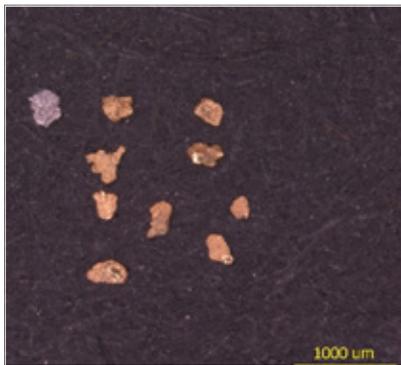


Figura 4.48. Porcentaje en peso de las partículas de platino por rango de tamaño en el Distrito Minero del Chocó



Fotografía 4.21. Fotografía de partícula de platino (Mina La Platina)



4.3.10.2. MINA LA PLATINA

En las muestras de la mina La Platina se halló solamente una partícula de platino, de tamaño cercano a los 500 μm y forma platiforme, con bordes angulares y superficie rugosa (fotografía 4.21).

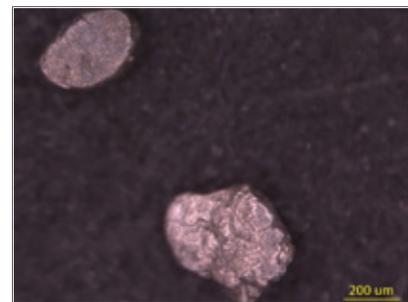
4.3.10.3. MINA LA TOMA

De muestras procedentes de la mina La toma se hallaron 7 partículas de platino, analizadas con estereomicroscopio son subhedrales, presentan formas subredondeadas y superficies rugosas con líneas de fractura hacia el centro (fotografía 4.22).

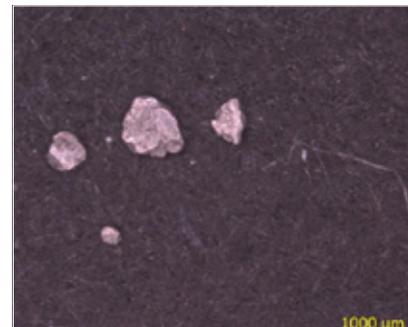
4.3.10.4. MINA CLIDIO

En las muestras de la mina Clidio se hallaron 4 partículas de platino de forma subesférica y subhedral, con superficies rugosas y tamaño variable menor a 500 μm (fotografía 4.23).

Fotografía 4.22. Fotografía de partículas de platino (Mina La Toma)



Fotografía 4.23. Fotografía de partículas de platino (Mina Clidio)



Respecto a la distribución de tamaño de las partículas, considerando para cada mina el tamaño como diámetro equivalente (d2Eq), se tiene que en la mina Clidio los granos de platino presentan valores mínimos de 86 μm y máximos de 284 μm . Así mismo, las muestras de la mina La Platina y la mina Carmelo contienen solo una partícula por mina, con diámetros equivalentes de 164 μm y 198 μm , respectivamente.

En la mina La Toma el tamaño mínimo de las partículas de platino es de 146 μm , y el máximo es de 266 μm , existiendo una mayor concentración de datos en el cuartil 3, lo que indica que un alto número de partículas oscila alrededor de un valor de diámetro equivalente de 200 μm .

En cuanto a la mina Santa Rita, el tamaño mínimo de las partículas es de 101 μm y el máximo de 380 μm , aunque dos partículas reflejan valores atípicos, por encima de los valores máximos, de hasta 520 μm ; es notable que para la mina Santa Rita se genere una concentración de datos cercanos a los 200 μm , indicando que las mayoría de sus partículas oscilan alrededor de este valor. La mina Candelaria presenta por su parte tamaños de partículas mínimos de 102 μm y máximos de 208 μm .

Por último, en la mina Au-Vert se encuentran los tamaños más grandes de partículas de platino, oscilando entre 217 μm y 393 μm (figura 4.49).

Para las 52 partículas de platino analizadas se calcula el factor de forma de Corey (CSF) y se contrasta con el diámetro equivalente de cada partícula (figura 63). En general, los valores de CSF son bajos ($\leq 0,25$) en un rango (0 - 1], lo que indica una tendencia de todos los granos a presentar formas planares-hojuelares, y aunque dichas estas partículas se hallan lejos del valor 1 CSF (partícula esférica), exhiben aristas y vértices circulares.

Se pueden diferenciar dos poblaciones: el campo C1, donde el factor de Corey solo alcanza hasta 0,15, con feret máximo de 400 μm , corresponde a platino laminado, perteneciente a las minas La Toma, Candelaria y La Platina. Por otro lado, para el campo C2 se tienen valores de CSF entre 0,15 y 0,25, para platino relativamente más esférico y de mayor tamaño, perteneciente a las minas Santa Rita y Clidio, de lo cual se asume que han sufrido menor transporte (figura 4.51).

Considerando el factor de forma de Corey y el índice de aplanamiento de Cailleux, que relaciona las formas con respecto a la fuente mineralizada, se muestra una relación inversamente proporcional entre estos dos parámetros, lo cual indica una gran distancia y una posible fuente común de platino (figura 4.52).

Figura 4.49. Distribución de tamaño de partículas de platino (D2eq) (Distrito del Chocó)

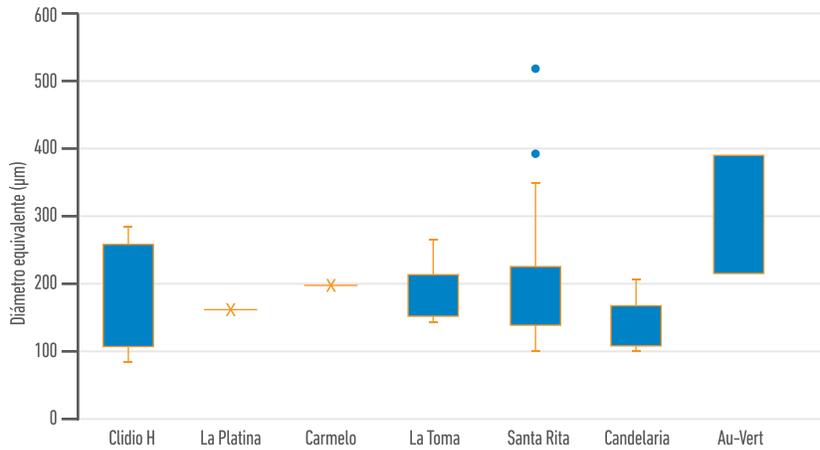
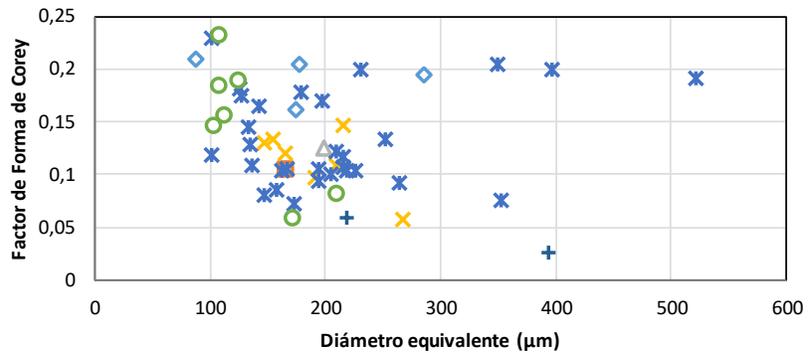


Figura 4.50. Factor de forma de Corey vs diámetro equivalente (μm)



◆ Clidio H □ La Platina ▲ Carmelo × La Toma * Santa Rita ● Candelaria + Au-Vert

La relación entre factor de forma y circularidad del platino permite establecer dos poblaciones: una dentro del campo C1, donde la mayor densidad de partículas se concentra desde valores 0,8 hasta 0,95 de circularidad (muy circulares), y una población dentro del campo C2, con valores de circularidad entre 0,2 y 0,78 (menos circulares).

La comparación de estos factores entre oro y platino muestra diferencias notables, pues la circularidad del oro varía desde 0,7 a 0,95 para una pequeña población (figura 4.52), mientras que la circularidad del platino es mayor, variando desde 0,8 a 0,94 para la mayoría de las partículas. Por otro lado, el oro es mucho más laminar que el platino, dado que el factor de forma para el oro es menor a 0,15 para la mayoría de las partículas, mientras que para el platino varía hasta 0,25. Estas diferencias pueden indicar procedencia de diferentes fuentes, además de las diferencias de maleabilidad y dureza entre platino y oro (figura 4.52).

Figura 4.51. Factor de forma de Corey vs índice de aplanamiento de Cailleux

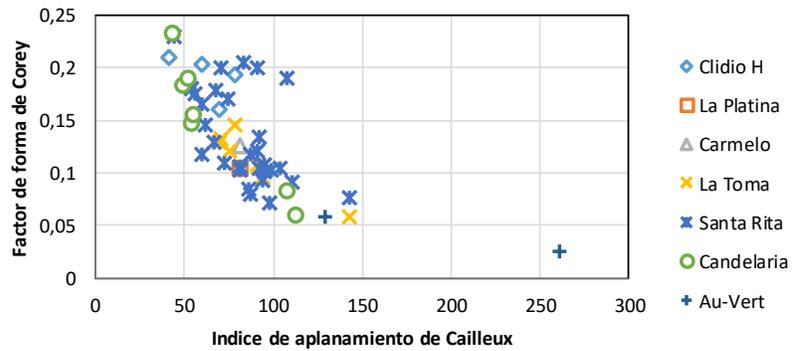
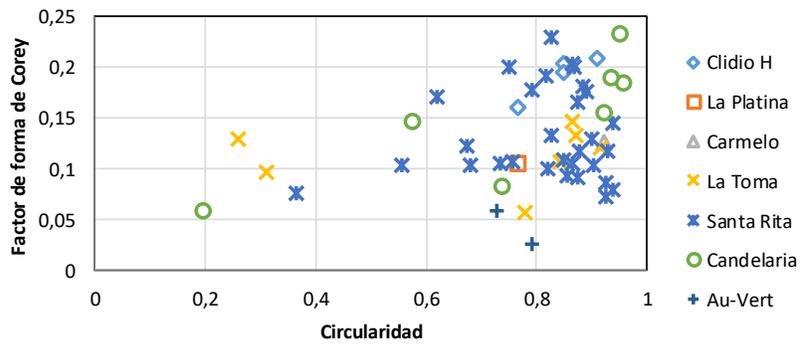


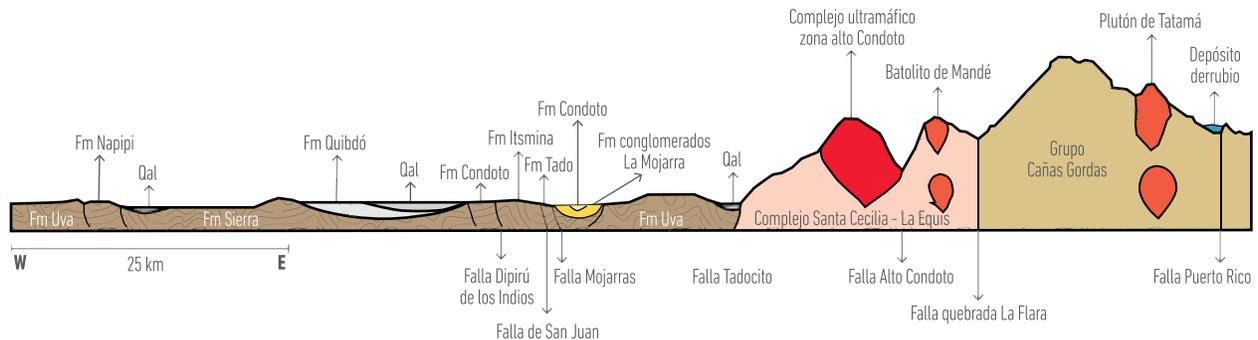
Figura 4.52. Factor de forma de Corey vs circularidad



4.3.11. MODELO METALOGÉNICO

Este modelo está evidentemente relacionado con los procesos orogénicos de levantamiento de la cordillera Occidental y los procesos magmático-hidrotermales relacionados al Batolito de Mandé, que dieron lugar a la formación de depósitos auríferos en la parte alta de la cordillera, así como con el posterior desarrollo de procesos erosivos y de transporte hacia la cuenca Atrato-San Juan, que finalmente terminaron acumulando metales preciosos en los conglomerados basales de los abanicos aluviales que colmatan la cuenca de estos ríos (figura 4.53).

Figura 4.53. Modelo metalogénico para los depósitos aluviales del Distrito Minero del Chocó



4.3.12. UNIDADES GEOMETALÚRGICAS (UGMS)

Se considera una única unidad geometalúrgica cuando se trata de depósitos aluviales superficiales y la naturaleza del oro es similar en todas las minas visitadas. Sin embargo, es necesario tener en cuenta que puede haber variaciones importantes en la profundidad de las franjas mineralizadas y esto incide directamente en los costos de explotación. Otro elemento a tener en cuenta es que en la terraza alta (Qta) la ley del oro puede resultar mayor, debido al enriquecimiento observado en las partículas de oro.

4.4. CONSIDERACIONES EN GEOLOGÍA Y MINERALOGÍA PARA EL BENEFICIO

- Como resultado del análisis mineralógico en cada mina, se determinó que más del 90 % de minerales son livianos, mientras que la concentración de minerales pesados no magnéticos apenas alcanza valores entre 0,1 % y 0,2 %. Ello explica por qué es necesario remover gran cantidad de material para obtener una pequeña fracción de minerales pesados y preciosos.
- Con excepción de los metales preciosos, los minerales de interés económico que los acompañan son ilmenita, hematita-goethita, magnetita, epidota, zircón, cromita y apatito; sin embargo, se encuentran en concentraciones relativamente bajas, alrededor de 0,1 % a 0,2 % del total de minerales.
- Los análisis morfológicos de las partículas de oro indican que estas son persistentemente laminares, teniendo en cuenta que el factor de forma de Corey alcanza valores máximos de 0,3.
- El rango de tamaño de las partículas de oro (diámetro equivalente) varía entre 54 μm y 1500 μm .
- La distribución en peso tiende considerablemente hacia los tamaños más grandes, siendo significativo el peso de las partículas mayores a 600 μm .
- La distribución de tamaño de grano para cada una de las minas indica que hay mayor homogeneidad en las fracciones menores a 100 μm y mayor dispersión en las fracciones de mayor tamaño. Así mismo, hay mayor variabilidad o dispersión de tamaño en las minas Clidio, La Toma, Santa Rita y Carmelo.
- La relación entre la circularidad y el factor de forma de Corey indica una tendencia a desarrollar formas circulares en las partículas planares, y otra tendencia similar en partículas menos planares, especialmente en las minas del depósito Qa1.
- Las partículas de oro del depósito aluvial de terraza alta Qta, donde están las minas La Loma y La Platina, frecuentemente exhiben diferentes tonalidades de color y textura porosa o esponjiforme, lo mismo que bordes o coronas enriquecidas en oro.
- Todo el terreno se considera una única unidad geometalúrgica, teniendo en cuenta que se trata de depósitos aluviales superficiales y la naturaleza del oro es similar en todas las minas visitadas. Sin embargo, puede haber variaciones importantes en la profundidad de las franjas mineralizadas, lo que incide directamente en los costos de explotación. Otro factor a tener en cuenta es que en la terraza alta (Qta) la ley del oro puede resultar mayor, debido al enriquecimiento observado en las partículas de oro.

Como resultado del análisis mineralógico en cada mina, se determinó que más del 90 % de minerales son livianos, mientras que la concentración de minerales pesados no magnéticos apenas alcanza valores entre 0,1 % y 0,2 %. Ello explica por qué es necesario remover gran cantidad de material para obtener una pequeña fracción de minerales pesados y preciosos.



5.

ASPECTOS MINEROS

En este capítulo se presentan los resultados de las visitas a explotaciones aluviales del departamento del Chocó, en los municipios de Condoto, Tadó, Cértegui y Unión Panamericana. En el numeral 5.1 se detallan conceptos para comprender mejor el análisis que se realiza y consideraciones técnicas para el desarrollo de buenas prácticas de la minería en el distrito.

Mina artesanal subterránea denominada Guache, desarrollada en la vereda Santa Rita. Fotografía tomada por Jaime Mojica, Servicio Geológico Colombiano

5.1. FUNDAMENTOS TÉCNICO - MINEROS

Para el desarrollo del presente capítulo se adaptaron algunos términos del Glosario minero (MinMinas, 2015), presentados a continuación:

La minería se define como la ciencia, las técnicas y actividades que tienen que ver con el descubrimiento, la exploración y la explotación de yacimientos minerales. Estrictamente hablando, el término se relaciona con los trabajos subterráneos y a cielo abierto (superficie) encaminados al arranque y al tratamiento de una mena o la roca asociada. La minería es una de las actividades más antiguas de la humanidad, y consiste en la obtención selectiva de minerales y otros materiales a partir de la corteza terrestre.

Una mina es una excavación en el subsuelo que tiene como propósito la explotación técnica y económica de un yacimiento mineral, que puede ser a cielo abierto (en superficie) o subterránea.

Una mena son los minerales que representan interés económico en un yacimiento mineral.

Explotaciones pequeñas: son extracciones en pequeña escala, sin técnica y de poca profundidad, que se realizan con herramientas e implementos simples de uso manual, accionados por la fuerza humana, y cuya cantidad extraída no sobrepase en ningún caso a las 250 toneladas anuales de material.

Para este capítulo se define como mina artesanal aquella que se explota sin técnica minera específica o que combina las prácticas empíricas con algunas técnicas mineras, en la que se han ido incorporando herramientas y equipos para lograr mayor productividad.

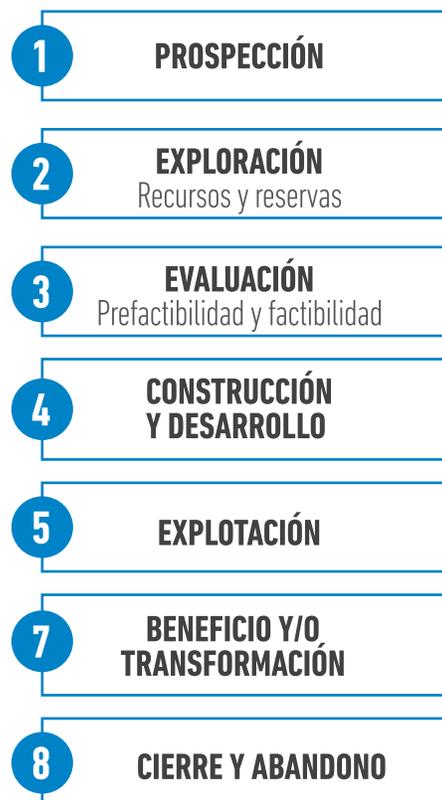
Yacimiento mineral es una acumulación natural de una sustancia mineral fósil, cuyo volumen es tal que su explotación resulta interesante desde el punto de vista económico.

Otros términos técnicos pueden consultarse en Estándar colombiano de recursos y reservas minerales (Comisión Colombiana de Recursos y Reservas Minerales, Agencia Nacional de Minería, 2018).

5.1.1. ETAPAS DE UN PROYECTO MINERO

El proyecto minero inicia con la etapa de búsqueda de recursos minerales de interés, que comprende la fase de prospección, y luego en la exploración se realizan estudios más detallados de la geología del depósito mineral, definiendo mediante estudios de prefactibilidad y factibilidad si se continúa con el proyecto minero, dependiendo de diversos aspectos, como las características del depósito mineral, los recursos y las reservas, el precio del mineral en el mercado internacional, la rentabilidad del proyecto, los aspectos sociales y de las comunidades, los trámites de legalidad minera y de legalidad ambiental, y las áreas de

Figura 5.1. Etapas de un proyecto minero.



restricción minera, todo lo cual resulta determinante para la que se consolide del proyecto minero (Carvajal Herrera, 2008; Minminas, 2015).

Los recursos minerales de un yacimiento pueden ser estimados sobre la base de la información geocientífica. Las reservas minerales son un subconjunto modificado de los recursos minerales indicados y medidos, que requieren la consideración de los factores modificadores que afectan la extracción, incluyendo factores de minería, procesamiento, metalúrgicos, infraestructura, económicos, de mercado, legales, ambientales, sociales y gubernamentales (Comisión Colombiana de Recursos y Reservas Minerales-Agencia Nacional de Minería, 2018).

Una vez se establece que el proyecto minero continúa se inicia la etapa de construcción y montaje, en la que, como su nombre lo dice, se instalan y realizan las obras y accesos necesarios para ejecutar la etapa de explotación del mineral. Esta última actividad cuenta con tres tipos de labores: preparación, desarrollo y operación, las cuales constituyen el ideal para que un proyecto minero se lleve a cabo, debido a que es fundamental determinar si se cuenta con recursos y reservas mineras en las fases de exploración, prefactibilidad y factibilidad, para establecer la viabilidad de continuar con el desarrollo del negocio minero.

La descripción detallada de las etapas de un proyecto minero se puede estructurar de la siguiente manera (figura 5.1):

Prospección: consistente en localizar variaciones anormales de concentración de uno o más elementos en un área de la corteza terrestre donde pueda existir un depósito mineral.

Exploración: que permite lograr un conocimiento detallado del depósito mineral descubierto en la etapa de prospección, a fin de plantear un modelo geológico y de recursos del yacimiento que conduzca a un estudio de prefactibilidad donde se defina la continuidad del proyecto.

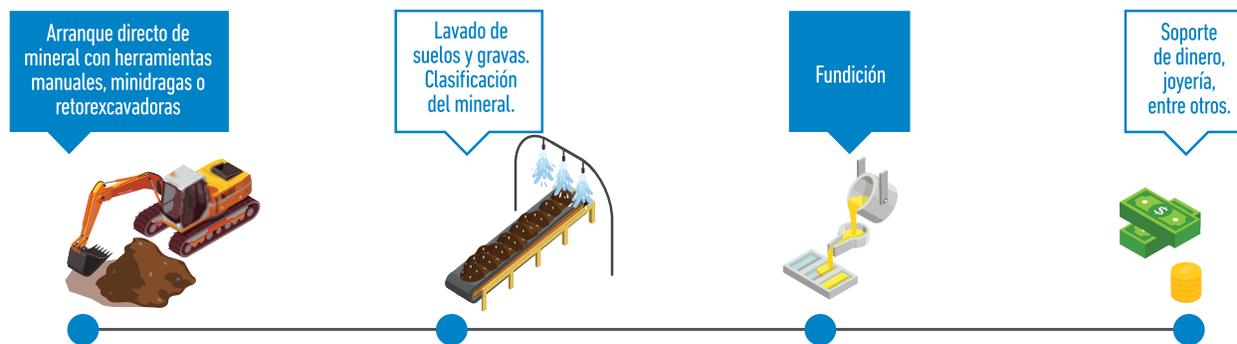
Evaluación del proyecto: en esta etapa se adelanta el estudio de factibilidad del proyecto, donde se considera la evaluación económica, los costos, las inversiones, los análisis de reservas, los trámites legales, sociales, mineros, ambientales y de planeamiento minero.

Construcción y desarrollo: comprende el conjunto de actividades que permiten el acceso al yacimiento y el establecimiento de la infraestructura para el proyecto; incluye la adquisición de permisos para iniciar la explotación, al igual que el diseño y el planeamiento detallado de la misma, además de trabajos previos que se realizan para llegar a la mina, tales como vías de acceso, instalaciones, servicios sanitarios, eléctricos, agua, campamentos, montajes mineros y de beneficio.

Explotación: es el proceso de extracción y procesamiento de los minerales, así como la actividad orientada a la preparación y desarrollo de las áreas que abarca el depósito mineral. También es la aplicación de un conjunto de técnicas y normas geológico-mineras y ambientales para extraer un mineral o depósito de interés económico para su transformación y comercialización (figura 5.1). La explotación comprende dos etapas consecutivas: (i) *preparación*, o labores mineras que se llevan a cabo para facilitar la explotación apropiada (arrancar y extraer el mineral) del yacimiento o depósito, una vez se ha completado la exploración minera y se ha logrado el acceso y el desarrollo, tanto en el rumbo como en el buzamiento, y (ii) *producción*, fase durante la cual se extraen y procesan los materiales de interés económico, se readecúan los terrenos intervenidos y se desarrolla la mina, mediante la ejecución de actividades y ciclos que permiten que permanezca en operación y producción, tales como operaciones unitarias empleadas para desprender el mineral, cargarlo y transportarlo, denominadas, respectivamente, arranque, carga y transporte.

Beneficio y/o transformación: es el conjunto de operaciones empleadas en el tratamiento de minerales para separar los componentes valiosos de los constituyentes no deseados (ganga), por medios físicos y mecánicos.

Figura 5.2. El proceso minero aluvial



Cierre y abandono: etapa de finalización de la explotación, eliminación de montajes y de infraestructura, desarrollado en varias fases: (i) fase del ciclo minero, donde tiene lugar la disminución gradual de la producción, (ii) ejecución del plan de cierre de la mina y (iii) fase de ejecución del plan de restauración geomorfológica y ambiental del área intervenida, para finalmente organizar el retiro de equipos e infraestructura.

5.1.2. MÉTODOS DE EXPLOTACIÓN

Los métodos de explotación se refieren a la forma geométrica usada para explotar un yacimiento determinado y al modo de dividir el cuerpo mineralizado en sectores aptos para el laboreo. Los métodos adoptados dependen de varios factores, principalmente: calidad, cantidad, tamaño, forma y profundidad del depósito, accesibilidad y capital disponible (Minminas, 2015).

Fotografía 5.1. Explotación a cielo abierto



Por ejemplo, la minería a cielo abierto (fotografía 5.1) comprende las actividades y operaciones mineras desarrolladas en superficie para extracción del mineral, mientras que la minería aluvial de oro extrae el mineral depositado en terrazas aluviales, playas, barras y cauces de ríos.

El método de explotación más viable será el que permita mayor recuperación de la inversión, y el que se adapte mejor a las condiciones geológicas y geométricas del yacimiento, tanto como a la protección y recuperación de las condiciones ambientales.

Por su parte, la minería subterránea comprende las actividades y operaciones mineras desarrolladas en socavones bajo tierra, los cuales se denominan *guaches* en el departamento del Chocó, para cuyo estudio se visitó el municipio de Unión Panamericana.

5.1.2.1. MÉTODOS DE ARRANQUE

Esta operación corresponde a al arranque y remoción del depósito de placer aurífero (de aluvión) hasta que permita su manipulación para ser transportado al sistema de beneficio (canalón). El arranque puede ser realizado con métodos manuales y mecánicos.

Arranque mecánico: este tipo de arranque funciona donde la resistencia in situ de la roca es de media a baja, mediante el uso de máquinas como retroexcavadora, monitor, minidraga, draga, motobomba.

Motobombas: equipo utilizado para desplazar el agua desde un estanque, quebrada o río hasta el frente de explotación, donde por presión del agua se va desprendiendo el material.

Arranque Manual: realizado con herramientas como palas, picas, barras, almocafres (figura 70).

5.1.2.2. CARGUE Y TRANSPORTE DE MINERAL

En las minas, después de haber arrancado el mineral y el material estéril por medios manuales o mecanizados, se realiza el cargue y transporte para trasladarlo al sistema de beneficio.

Este proceso se realiza generalmente de manera directa desde el momento del arranque hasta el punto donde se localiza el canalón. En algunos casos se utiliza la tracción humana por medio de carretillas y baldes, otra forma es el arranque y cargue directo con la pala de la retroexcavadora hasta los canalones para el beneficio del oro, y en ocasiones se emplean las volquetas para transporte. El transporte por vía húmeda se realiza con agua a través de mangueras de las motobombas, en el caso de minidrugas y elevadoras; en el caso de los monitores y agua chorreada, se usa el agua como medio de transporte hacia los canalones.

5.1.2.3. MÉTODOS DE EXPLOTACIÓN DE DEPÓSITOS PLACERES AURÍFEROS

Los depósitos de placeres se forman por la depositación gravitacional de minerales pesados o de alta densidad, que son transportados generalmente por flujos de agua u otros y son depositados en puntos específicos en los relieves, usualmente planos o levemente inclinados.

Según la Clasificación genética de yacimientos minerales (Smirnov, 1976), los placeres corresponden a:

Serie: Exógena

Grupo: placer, formados durante el intemperismo o destrucción de cuerpos de antiguos yacimientos minerales químicamente estables, de alta dureza o de peso específico alto. Son depósitos cercanos a la superficie, generalmente de forma tabular y de extensión considerable (oro, platino, detritos).

Clase: aluviales, glaciales, eluviales, deluviales, etc.

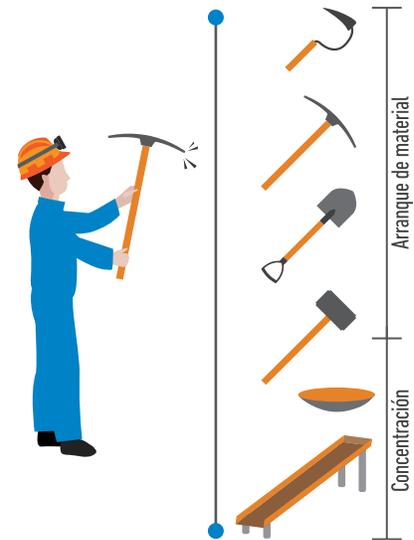
Aluviales: depósitos de fragmentos que han sido arrastrados por aguas y depositados lejos del lugar de su formación, pudiendo depositarse en cauce del río y en terrazas.

Detritos: fragmentos de partículas sólidas de roca producidas por desintegración química y/o mecánica.

Para el caso de este estudio los yacimientos corresponden a depósitos de placer auríferos de clase aluvial.

En los depósitos de placer del departamento del Chocó se encuentran principalmente minerales metálicos detríticos como oro, plata, platino y cobre. Los depósitos de placer aluviales generalmente presentan los minerales de interés en detritos y diseminados en el yacimiento, generalmente con tenores bajos; sin embargo, debido a las extensiones, cantidades de mineral y el hecho de que se encuentran en superficie, es posible una mayor facilidad de acceso, explotación y recuperación de mineral.

Figura 5.3. Arranque manual y herramientas para minería artesanal aluvial



El minado de placeres se puede realizar mediante métodos como: bateas y canalones; minado hidráulico (lavado de mineral, monitores); dragado.

Estos sistemas de explotación se utilizan en depósitos de placeres auríferos que presentan tenores bajos, con referencias entre 0,1-0,2 g/m³ (Minminas, 1988); para las muestras analizadas en esta guía, se observaron (sección 6.3) valores entre 0,01 y 0,96 g/m³.

El método de explotación que se utiliza define las capacidades económicas y las cantidades de producción proyectadas por los explotadores. Es el caso de las bateas, canalones, minidragas y monitores que generalmente son utilizados por los pobladores locales del departamento del Chocó, en el marco de pequeñas explotaciones artesanales (Mape), pequeña minería y minería de subsistencia. Las operaciones más grandes corresponden a minado hidráulico, con uso de retroexcavadoras, dragas y clasificadoras para lavado de material, las cuales se encuentran tanto en la minería formal de pequeña y mediana escala como en las actividades mineras no formalizadas o de minería ilegal.

Estos métodos de explotación aluvial requieren el tratamiento del material estéril, correspondiente a lodos, gravas y arenas, durante y posteriormente al proceso de recuperación del oro, por lo que es necesaria la disposición adecuada de estériles, la sedimentación de partículas en suspensión en las aguas y el control y neutralización de sustancias contaminantes.

Explotación con bateas y canalones tradicionales

Corresponde a la explotación tradicional desarrollada por las comunidades mineras del Chocó desde épocas ancestrales; comprende el uso de técnicas básicas, como son el arranque manual de mineral en orillas y cauces de ríos y quebradas, así como en las laderas de las terrazas, donde también se utiliza agua chorreada o agua corrida. Al material removido se le realiza el barequeo, con el uso de la batea, para concentrar el mineral removido del depósito aluvial, y también se instalan canalones artesanales.

Otra técnica tradicional involucra el chorreo de agua (agua chorreada o agua corrida), la cual proviene de una fuente cercana o un estanque, desde donde se conduce por gravedad hasta el corte para desprender el material de las terrazas y conducirlo hasta los canalones pequeños, generalmente de madera o metálicos, donde se atrapan los minerales.

Las herramientas que se utilizan son artesanales y de uso manual, como palas, picas, barras, baldes, cachos, bateas, almocafres y canalones.

Explotación por motobomba (monitor-elevador-retroexcavadora-cargador)

Este método utiliza monitores con motobombas para el arranque de material de los taludes por presión del chorro de agua. Se utilizan también elevadoras para succionar el material que se encuentra con diferencia de nivel y elevarlo por tubería hasta el canalón de beneficio. En pequeña minería artesanal se utilizan de manera independiente sistemas monitor-canalón y elevadora-canalón. En este tipo de actividad, los equipos usados son las motobombas, para el transporte de agua, arena, grava y mineral hasta un canalón de 3-5 m de largo (o de hasta 20-30 m), el cual contiene rifles y trampas para atrapar el mineral.

En las terrazas aluviales por vía seca se arranca el material con retroexcavadoras y se carga directo en las clasificadoras, conformadas por canalones, algunas veces en forma de Z. En otras ocasiones se realiza repaleo entre equipos de retroexcavadoras o con ayuda de volquetas, para transportar el material a la clasificadora.

Debido al alto nivel de las aguas freáticas se requiere generalmente de bombeo constante en las áreas de trabajo.

Explotación con dragas

- **Dragas de succión:** se trata de bombas de aspiración con mangueras de 6” a 8”, manejadas por buzos que trabajan a profundidades máximas de 5 m a 10 m, y que pueden succionar hasta 25 m³/h de material, para ser tratado en un canalón provisto de trampas y cribas que retienen y separan. En las áreas estudiadas del Chocó se utilizan motores de tamaño pequeño, por lo que se denominan minidragas.
- **Dragas de cucharas:** se utilizan en proyectos de la gran y mediana minería, generalmente para mover grandes cantidades de material. Estas dragas tipo Juba pueden procesar en gran minería más de 500 000 yd³/mes, y en mediana minería alrededor de 3000 m³/día. El proceso consiste en arranque del mineral, lavado, clasificación, utilización de equipos de concentración y de procesos químicos. En ocasiones incluso se construyen dragas de cucharas para ser utilizadas en la pequeña minería (Minminas, 1988).

Explotación por guaches (explotación subterránea aluvial)

Es una explotación de oro de aluvión por medio de labores subterráneas artesanales y accesos inclinados con escalas que sirven para el tránsito del personal, con una profundidad entre 5-15 m. Una vez se llega al nivel del material aluvial mineralizado se abren pequeñas galerías en diversas direcciones, desde donde se va extrayendo el mineral con baldes y ayuda de garruchas o pequeños malacates, realizando en ocasiones un transporte manual. El sostenimiento se asegura con cuadros de madera en forma artesanal, forrando las paredes de material aluvial inestable de la explotación.

Explotación por sistema de canalón y relleno

Consiste en la explotación del área mineralizada mediante bloques de superficiales mediante bloques superficiales con dimensiones establecidas acorde a la topografía del terreno, en una cuadrícula de trabajo que establece las zonas de explotación, el tamaño de los bloques y la secuencia de trabajo. Se pueden conformar bloques superficiales hasta de 100 m x 100 m, en conjuntos de 3 o 4 bloques separados por canales profundos que llegan hasta el piso de la formación aluvial y sirven como vía de evacuación de agua y material hacia las zonas con mayor depresión topográfica. La razón de descapote ha de ser de 1 : 1, o máximo de 2 : 1, con espesores de estéril entre 8-10 m y zonas de mineralización entre 5-10 m. Los bloques explotados serán posteriormente rellenos con material estéril y colas de lavado, para ser luego nivelados y reforestados. Para la operación se requiere de maquinaria como bulldozer, retroexcavadora, cargador, zona de beneficio (lavadero) y fosas de sedimentación de aguas (Minminas, 1988).

5.2. METODOLOGÍA DE TRABAJO

Para el análisis minero se realizaron las siguientes actividades:

- Revisión de antecedentes mineros del departamento del Chocó, tales como estadísticas de la Agencia Nacional de Minería, informes y estudios geológicos de la región.
- Preparación del formulario de recolección de información de campo en los aspectos mineros.
- Reconocimiento cartográfico de la zona, su topografía, geología y localización de las minas a visitar.
- Contacto telefónico con representantes de la actividad minera en el departamento del Chocó, en los municipios de Condoto, Tadó, Itsmina, Cértegui y Unión Panamericana.
- Planeación de las actividades de campo.
- Identificación en la zona a estudiar, de las minas que se podían visitar para desarrollar los temas mineros; para esta selección se tuvieron en cuenta temas de seguridad, facilidades de acceso y cronograma de trabajo.

- Socialización con los mineros de las actividades a desarrollar.
- En las minas seleccionadas se realizó un recorrido técnico por día, con un equipo técnico conformado por un ingeniero de minas, un geólogo y una persona delegada por mina que tuviera buen conocimiento de las actividades que se desarrollan allí.
- Georeferenciación de las minas.
- La información recopilada corresponde a la captación en campo de información visual y escrita, a un formato tipo encuesta que se aplicó con las personas que acompañaban el recorrido de la visita de la mina y a entrevistas.
- En la elaboración del informe de descripción y análisis, el ingeniero de minas utilizó los datos de campo para describir en cada Mape aspectos como sistemas y métodos de explotación, método de arranque, cargue y transporte de material, y aspectos ambientales mineros.
- La información del capítulo geológico se incorporó tanto en la descripción de las mineralizaciones como en la identificación preliminar de métodos de explotación que se pueden aplicar en las diferentes vetas.
- Se elaboraron consideraciones técnicas, a manera de recomendaciones para el mejoramiento de las explotaciones y de la seguridad del personal.

Fotografía 5.2. Socialización con los consejos comunitarios

Antes de comenzar los trabajos de campo en las minas, se realizó inicialmente una socialización de los objetivos del proyecto con mineros de la zona, estableciendo una programación de las actividades por grupos de trabajo (a realizar según la disponibilidad y acceso a las minas), la cual se fue ajustando a las diversas condiciones que se presentaron. Los consejos que participaron en el proyecto fueron: Consejo Comunitario Mayor Cocomaicoro, Consejo Comunitario Mayor Cocomaua, Consejo Comunitario Mayor Cocomacer y Consejo Comunitario Mayor Tadó.



Las minas caracterizadas corresponden principalmente a minas artesanales de pequeña escala (MAPE). Con la información obtenida se plantean consideraciones que pueden servir en los procesos de planificación minera de las explotaciones.

Para este estudio, las Mape se clasificaron según el avance minero, y las herramientas y técnicas utilizadas como mina artesanal o de pequeña explotación, así:

- **Mape:** es la explotación de recursos minerales de oro, realizada por individuos, grupos o comunidades que usan principalmente técnicas manuales y semimecanizadas.
- **Explotaciones pequeñas:** son extracciones en pequeña escala, sin técnica y de poca profundidad, realizadas con herramientas e implementos simples de uso manual, accionados por la fuerza humana, y cuya cantidad extraída no sobrepasa en ningún caso las doscientas cincuenta toneladas anuales de material (Minminas, 2015).

En este capítulo se define como una mina artesanal aquella que se explota sin técnica minera específica, o que combina las prácticas empíricas con algunas técnicas mineras, en la cual se han ido incorporando herramientas y equipos para lograr mayor productividad

En este capítulo se define como una mina artesanal aquella que se explota sin técnica minera específica, o que combina las prácticas empíricas con algunas técnicas mineras, en la cual se han ido incorporando herramientas y equipos para lograr mayor productividad.

La minería de oro artesanal y en pequeña escala (MAPE) es la extracción de oro realizada por mineros independientes o compañías pequeñas que cuentan con un capital de inversión y de producción limitados. En general para producir el oro, la mena se extrae de la tierra y se procesa por medio de muchas técnicas manuales o semimecanizadas para luego convertirse en un bien de valor a través de la venta. La MAPE es distinta a la minería en gran escala (MGE) que produce oro en escala mayor y utiliza métodos de explotación y procesamiento totalmente mecanizados. Las MAPE suceden principalmente en zonas rurales de 81 países en desarrollo. Es un productor de oro importante y también el mayor empleador en la minería del oro pues representa alrededor del 20 % (400-600 ton/año) de la producción mundial de oro (3200 ton/año) y emplea al 90 % de los mineros de oro en el mundo. A nivel mundial las MAPE pueden ser formales o informales, dependiendo de las leyes de cada país y de la capacidad de los mineros para cumplir estas leyes. Sin embargo, la MAPE es reconocida por muchos países y por instituciones mundiales de desarrollo internacional, tales como las Naciones Unidas y el Banco Mundial, como un mecanismo significativo de alivio de la pobreza y una oportunidad importante para el desarrollo. Los ingresos de las MAPE pueden ser de dos a diez veces mayores a los encontrados normalmente en economías agrarias. (ONU, O'Neil y Telmer, 2017, p).

5.2.1. CARACTERÍSTICAS DE LAS EXPLOTACIONES MINERAS VISITADAS EN EL CHOCÓ

Las explotaciones aluviales en superficie (a cielo abierto) del departamento del Chocó (municipios de Condoto, Tadó, Cértegui y Unión Panamericana) que fueron objeto de análisis desde el punto de vista minero se caracterizan en la siguiente tabla.

Figura 5.4. Minas Caracterizadas para el capítulo Minero

MINA	MUNICIPIO	VEREDA
Mina Clidio	Condoto	Tapacundó
Mina La Platina	Tadó	Playa de Oro
Mina Carmelito	Tadó	Carmelo
Mina Santa Rita-Guache	Unión Panamericana	Santa Rita
Mina La Toma	Unión Panamericana	La Toma
Mina Au-Vert	Condoto	Espantamuertos
Mina Casablanca-Candelaria	Cértegui	Casa Nueva-Candelaria
Mina La Batea	Cértegui	La Batea
Mina Calo Frente 1	Cértegui	Calo
Mina Calo Frente 2	Cértegui	Calo

5.3. TIPOS DE EXPLOTACIONES MINERAS IDENTIFICADAS

La minería aurífera aluvial se define como una actividad económica que aprovecha el oro detrítico depositado en terrazas, placeres, llanuras, cauces de ríos. En el departamento del Chocó se identificaron cuatro tipos de explotaciones: (i) barequeo, (ii) minidragas, (iii) monitores y (iv) retroexcavadora.

5.3.1. BAREQUEO (MAZAMORREO)

Esta actividad se identificó en los ríos Tapacundó y Cértegui, es realizada principalmente por las mujeres mineras y sus grupos familiares, y consiste en el lavado de arenas y gravas de ríos y terrazas, acompañada

Fotografía 5.3. Barequeo



de procesos como el de agua chorreada, lavado con monitor o uso de minidraga, además de que se observó que se realiza como trabajo adicional en los procesos de extracción con retroexcavadora, específicamente en los sobrantes del material que se remueve y se descarga en las zarandas para el lavado y clasificación (fotografía 5.3). En ella se utilizan herramientas manuales: batea, barra, almocafre, cacho.

En la región también se realiza otra técnica, denominada de zambuyidero, en la que usualmente mujeres se sumergen hasta el fondo del río o quebrada, llevando sobre su espalda una piedra, y con herramientas artesanales (almocafre y cachos) recogen el material para el barequeo; es una actividad que se realiza generalmente en épocas de menor caudal de los ríos y quebradas.

5.3.2. MINI DRAGAS Y ELEVADORAS

La minidraga es una balsa flotante sobre la cual se embarca una motobomba para succionar el material y transportarlo hasta el canalón; cuenta con un operario, el buzo que se encarga de remover el material en el fondo del río o quebrada y algunos auxiliares. La diferencia consiste en que las elevadoras succionan material grueso y las minidragas material de tamaño medio y fino.

Fotografía 5.4. a) Minidraga para explotación aluvial de oro y beneficio por canalón. b) Motor de minidraga. Mangueras de succión y de suministro de aire para el buzo



Fotografía 5.5. Explotación con elevadora, utilizada para extracción de material grueso



El proceso consiste en la remoción de agua y material de suelo y arenas, con ayuda de una persona que se sumerge en el fondo del cauce (buzo) y se encarga de posicionar la manguera para que la motobomba succione el material y lo deposite en un canalón, a fin de atrapar el oro por gravedad. Se realiza en los

cauces de ríos y en algunas zonas que ya han sido intervenidas por explotaciones con retroexcavadora. Es una práctica que se identificó en los ríos Tapacundó y Cértegui.

Cuando el terreno no tiene la pendiente suficiente para que los efluentes mineros se evacúen, los mineros utilizan elevadores con motores de mayor potencia para arrancar y transportar el material aluvial a un nivel que permita su lavado y concentración. En esta actividad se estima que participan entre tres y seis trabajadores.

5.3.3. CHORREO O PROCESO DE MONITOR ARTESANAL Y AGUA CORRIDA

En esta explotación, el material es arrancado de la ladera con chorros de manguera y es concentrado en el canalón y con bateas. Es una práctica identificada en el Distrito Condoto-Tadó-Bajo San Juan. El proceso traslada el agua con motobomba desde una fuente hídrica y le aplica presión para arrancar el material del corte de explotación. El procedimiento de agua corrida se realiza con el transporte de agua por gravedad, mediante el uso de mangueras desde una fuente hídrica hasta el frente de trabajo. Posteriormente, el material desprendido se separa entre los cantos gruesos y el material fino, que continúa al beneficio por el canalón.

Fotografía 5.6. Explotación Por Chorreo



Fotografía 5.7. a) beneficio del material por gravedad con canalones. b) el agua se lleva hasta el punto de trabajo con motobombas o por gravedad



5.3.4. EXPLOTACIÓN CON RETROEXCAVADORA

La explotación con excavadoras se realiza para mover grandes volúmenes, inicia con el descapote de la terraza aluvia, removiendo material estéril y material mineralizado, el cual es cargado en la clasificadora donde se lava por medio de agua a presión inyectada con motobomba. En el proceso se utiliza el agua que se acumula en las áreas excavadas adyacentes a la explotación.

Para el procedimiento se realiza el arranque directo con el balde de la retroexcavadora, descapotando entre 3 m a 5 m en profundidad de material de suelo, arenas y arcillas, hasta llegar a la zona mineralizada, lo cual implica la remoción de grandes extensiones de hasta una, dos o tres hectáreas, según el acceso y los permisos donde se pueda trabajar. Esto último es un factor que depende de los consejos comunitarios, de la población local y de los propietarios del terreno.

Fotografía 5.8. Arranque de mineral con balde de retroexcavadora



Las explotaciones retiran la vegetación existente al ir avanzando, por lo que quedan grandes depósitos de agua y de material removido. Aun así, por las condiciones naturales de alta humedad de la región la vegetación se recupera rápidamente.

5.3.5. LAVADO Y BENEFICIO

La actividad de explotación se realiza mediante el arranque y cargue directo de mineral hacia el sistema de beneficio; el cual se encuentra vinculado a la operación de extracción, debido a que el beneficio consiste en el lavado en canales o zetas, del mineral cargado directamente por la excavadora. El mineral es recuperado por procesos de concentración gravimétrica.

Fotografía 5.9. La actividad minera deja áreas inundadas y despeje de zona con cobertura vegetal



Fotografía 5.10. a) Beneficio de oro por canalón de mayor tamaño y gravedad. b) Vista panorámica del canalón



5.3.6. EXPLOTACIÓN ALUVIAL EN LA MINA CLIDIO, SECTOR TAPACUNDÓ, MUNICIPIO DE CONDOTO

La mina Clidio se localiza en el área rural del municipio de Condoto, en el sector denominado Tapacundó. La explotación es a cielo abierto, en una extensión de aproximadamente dos hectáreas, donde se realiza una excavación de materiales con profundidades de alrededor de 5 m, removiendo material aluvial de gravas y arenas para lavarlas en un canalón. Inicialmente, se lleva a cabo el proceso de desmonte del material con componentes orgánicos, vegetales y suelo, hasta unos 2-3 m de profundidad, para empezar luego la remoción de material que cuenta con mineral aurífero.

Figura 5.4. Las características mineras de la Mina Clidio

VEREDA	Tapacundó
SISTEMA	Cielo abierto
MENA	Aluvial
LABORES DE DESARROLLO	Vía de acceso fluvial por el río Tapacundó. Ingreso a la zona de trabajo por un sendero. No se cuenta con desarrollo vial
FORMA DE EXPLOTACIÓN	Explotación aluvial. Excavación de áreas con dimensiones entre 50 m x 20 m, o 50 m x 50 m, que se denominan pozos, con profundidades de hasta 5 m
FORMA DE ARRANQUE	Arranque mecanizado con retroexcavadora marca Kobelco 220; cuchara con capacidad de 1 m ³
CARGUE Y TRANSPORTE	Cargue con retroexcavadora y va directo al canalón para el beneficio del oro
ASPECTOS AMBIENTALES MINEROS	Manejo de estériles, áreas excavadas sin plan de cierre a corto plazo, aguas de escorrentía que arrastran sedimentos
No DE PERSONAS VINCULADAS	En la mina laboran cinco (5) mineros
BENEFICIO	Canalón y monitor de 10 hp
PRODUCCIÓN DE ORO	Cantidad de material removido, hasta 1000 m ³ /día. Turno/día : 10-12 horas Producción reportada: rango variable entre 50-170 castellanos cada 15 días (dato reportado en entrevista)
CONSUMO DE COMBUSTIBLE	6-12 galones de ACPM/ hora

Fotografía 5.11. Área de explotación y frentes de trabajo en la mina Clidio



5.3.7. EXPLOTACIÓN ALUVIAL EN LA MINA AUVERT, MUNICIPIO DE CONDOTO

Corresponde a una minería de depósito aluvial, realizada por vía seca, mediante el arranque de material con una retroexcavadora marca Hitachi 330. La explotación se lleva a cabo por bancos descendentes en terrazas aluviales y depósitos de materiales removidos de antiguas explotaciones realizadas en la zona. Se cuenta con un planeamiento minero para la extracción de mineral por sectores de trabajo. El material explotado es transportado por medio de volqueta hasta la planta de procesamiento para recuperación de minerales. Al momento de la visita se informó que por razones operativas la mina no se encontraba activa.

Fotografía 5.12. a) frente de explotación de la mina Auvert; b) planta de beneficio



5.3.8. EXPLOTACIÓN ALUVIAL EN LA MINA LA PLATINA, SECTOR PLAYA DE ORO, MUNICIPIO DE TADÓ

En la mina La Platina la explotación se oro aluvial, se realiza mediante el sistema de monitor; Este consiste en el arranque de mineral de depósitos aluviales, por medio del lavado de un talud con ayuda de un compresor de agua o monitor, el agua transporta el material arrancado hasta el canalón para su concentración. En el momento de la visita técnica solo se encontró un trabajador realizando las labores mineras. Los turnos en la explotación son de 8 h/día, y la capacidad de extracción de mineral de frente de mina es de alrededor de 10 m³/día, lo que equivale a la remoción de cuadrantes de 3 m x 3 m, con 1,2 m de profundidad. El consumo de ACPM del compresor es de 3 gal/día, y la producción reportada es de 4 castellanos de oro y 1 de platino cada 15 días.

En la planta de beneficio, el mineral del frente de mina es transportado por el agua del compresor; luego la pulpa de mineral y agua se concentra gravimétricamente hasta los canalones de 2m de largo instalados en el suelo, el cual tiene en su superficie tela de fique, que concentra las partículas de mayor peso específico y el oro y el platino libres. Finalmente, las colas del canalón siguen hasta la fuente de agua más cercana.

Figura 5.5. Características mineras de la mina La Platina

VEREDA	Playa de Oro
SISTEMA	Cielo abierto. Explotación con monitor artesanal por el método de chorreo
LABORES DE DESARROLLO	Acceso por sendero peatonal
FORMA DE EXPLOTACIÓN	Explotación con monitor artesanal, conformado por una motobomba con motor de 1 hp y mangueras de 2 pulgadas para lavado de talud aluvial. El agua se va chorreando sobre el talud, el cual se va desestabilizando y el material que se desprende cae a una serie de tres canalones localizados en el piso. Esta actividad es riesgosa para el minero, debido a que el talud se socava en la base y puede desprenderse ocasionando un accidente
FORMA DE ARRANQUE	Arranque hídrico, mediante lavado con monitor artesanal (chorreo)
CARGUE Y TRANSPORTE	El material desprendido por gravedad y acción del agua cae directamente hasta el canalón para la recuperación de oro
ASPECTOS AMBIENTALES MINEROS	El agua utilizada para esta labor se localiza en un lago aledaño, correspondiente a una anterior explotación, desde donde se bombea hasta el sitio de trabajo. Se generan grandes cantidades de agua con sedimentos en suspensión, al tiempo que se produce desestabilización de laderas
No DE PERSONAS VINCULADAS	En la mina artesanal laboran dos personas
PRODUCCIÓN DE ORO	Material removido: 10 m ³ /día. 1 turno día: 8 - 10 horas/día Recuperación con rango variable de 4 castellanos de oro y 1 de platino cada 15 días (Dato reportado en entrevista)
CONSUMO DE COMBUSTIBLE	Producción estimada: 3 gal/día

Fotografía 5.13. Frente de explotación de la mina La Platina, sector La Platina.
Explotación por monitor artesanal en la zona se denomina Chorreo



5.3.9. EXPLOTACIÓN ALUVIAL EN LA MINA LA LOMA, SECTOR PLAYA DE ORO, MUNICIPIO DE TADÓ

Minería de subsistencia que se realiza con el método de agua corrida, donde los mineros transportan el agua mediante mangueras y por diferencia de nivel, desde una quebrada hasta el corte de explotación (talud pequeño de una terraza aluvial), y desprenden el mineral por presión, extrayendo por medio de bateas los cantos gruesos y acumulándolos en los alrededores. El material mineralizado pasa por canalones que se instalan en el suelo para atrapar el oro.

Fotografía 5.14. a) agua corrida; b) canalón; c) cachos; d) Bateas; e) barras ; f) almocafre



5.3.10. EXPLOTACIÓN ALUVIAL EN LA MINA CARMELITO, VEREDA EL CARMELO, MUNICIPIO DE TADÓ

Se localiza en la vereda El Carmelo, a donde se llega por vía fluvial atravesando el río Pureto. La explotación se realiza por un sistema que en la zona se denomina elevadora, consiste en el transporte de agua por succión desde un caño, pequeño afluente o agua acumulada en una zona excavada, para lavar las gravas y arenas aluviales, generalmente en áreas ya removidas por anteriores explotaciones. Para esto se utiliza una motobomba con un motor de 10 hp para succión de agua, de gravas, arenas y tuberías de 3 y 4 pulgadas. Posteriormente a que la elevadora succiona el material de la zona trabajada se realiza un relavado más fino con minidrugas.

Figura 5.6. características de mina Carmelito

VEREDA	Carmelito
SISTEMA	Explotación a cielo abierto. Se manejan dos frentes de trabajo, con áreas de trabajo de 10 m x 10 m y profundidades entre 2 m y 3 m
LABORES DE DESARROLLO	El acceso se realiza por vía fluvial en el río Pureto
FORMA DE EXPLOTACIÓN	Explotación con motobomba elevadora y minidraga con motor de 10 hp
FORMA DE ARRANQUE	Arranque por succión con motobomba
CARGUE Y TRANSPORTE	Motobomba y transporte con mangueras hasta la elevadora
ASPECTOS AMBIENTALES MINEROS	Manejo de material estéril, aguas con grandes cantidades de sedimentos
Nº DE PERSONAS VINCULADAS	En la mina laboran 10 mineros en los dos frentes de trabajo
PRODUCCIÓN DE ORO	Material removido: 50-150 m ³ /día. 1 turno de 8h/día Recuperación estimada: 1 castellano por día, rango variable (dato reportado en entrevista)
CONSUMO DE COMBUSTIBLE	6-12 gal/día

Fotografía 5.15. a) Máquina de explotación-elevadora; b) Canalón; c) Minidraga; d) remoción de material



5.3.11. EXPLOTACIÓN ALUVIAL EN LA MINA EL COCO, VEREDA LA BALASTRERA, MUNICIPIO DE TADÓ

Al momento de la visita esta mina se encontraba inactiva. La explotación aluvial se localiza en la vereda La Balastlera, a donde se llega por vía terrestre. Anteriormente esta mina estuvo activa, pero actualmente se están sacando solamente las gravas de manera temporal, hasta que se consolide un proceso de subcontrato para reactivar la explotación.

En la zona se cuenta con un título minero NJQ-14351.

Fotografía 5.16. Cantera San José. Zona de extracción de material petreo aluvial y en proyecto para extraer oro aluvial (Mina El Coco)



5.3.12. EXPLOTACIÓN ALUVIAL EN LA MINA LA TOMA, VEREDA AGUA CLARA, MUNICIPIO DE UNIÓN PANAMERICANA

Localizada en la vereda Agua Clara, se realiza explotación aluvial con retroexcavadora, removiendo inicialmente entre 2 m a 4 m de profundidad de la capa aluvial con material orgánico hasta encontrar la zona mineralizada para realizar el lavado de material.

Figura 5.7. Características de Mina La Toma

VEREDA	Agua clara
SISTEMA	Explotación a cielo abierto. Se manejan dos frentes de trabajo, con áreas de trabajo de 120 m x 30-40 m y profundidades entre 4-8 m
LABORES DE DESARROLLO	El acceso se realiza por vía fluvial y terrestre
FORMA DE EXPLOTACIÓN	Explotación con retroexcavadora.
FORMA DE ARRANQUE	Arranque discontinuo. Arranque con retroexcavadora.
CARGUE Y TRANSPORTE	Cargue y transporte directo con Retroexcavadora hacia la clasificadora Z o canalón
ASPECTOS AMBIENTALES MINEROS	Manejo de material estéril, aguas con grandes cantidades de sedimentos
No DE PERSONAS VINCULADAS	En la mina laboran 10 mineros en los dos frentes de trabajo
PRODUCCIÓN DE ORO	Material removido: 1000-3000 m ³ /día. Turnos: 2 turnos de 12 horas Recuperación estimada: dato variable entre 40-200 castellanos cada 15 días (Dato recopilado en entrevista)
CONSUMO DE COMBUSTIBLE	10-12 gal/hora por excavadora

Fotografía 5.17. a) Explotación con retroexcavadora; b) Extracción en secciones; c) Canalón para el beneficio del oro



5.3.13. EXPLOTACIÓN SUBTERRANÉA EN SUELOS ALUVIALES (GUACHE), MINA SANTA RITA, MUNICIPIO DE UNIÓN PANAMERICANA

El Guache corresponde a un tipo de explotación subterránea sobre suelos aluviales, donde los mineros artesanales realizan con herramientas manuales una excavación para conformar una labor subterránea, con acceso por un inclinado hasta la zona mineralizada. La excavación se entiba con puertas de madera, cuadros, palancas, para el sostenimiento de la explotación también se forran las paredes de la labor debido a la inestabilidad de los suelos aluviales. se utilizan maderas abundantes en la zona como carbonero, nispero, lechero entre otras. por cada metro de avance se utilizan seis (6) palancas de madera. Las profundidades máximas de excavación van entre 15-20 m. En la capa mineralizada se realizan pequeñas galerías (socavones) en todas las direcciones donde se pueda extraer el mineral. Pueden participar en los trabajos entre 5 a 20 trabajadores, según el tamaño del trabajo.

En la vereda Santa Rita es común la explotación del oro aluvial, por medio de esta técnica artesanal denominada Guaches. el material explotado se extrae por medio de un malacate puede ser manual o con un motor y se requiere el uso continuo de bomba de succión para extraer el agua al interior de la explotación.

Figura 5.8. Características de mina Santa Rita

VEREDA	Santa Rita
SISTEMA	Subterráneo
LABORES DE DESARROLLO	Acceso por Guaches. A la mina se ingresa por un inclinado con 6 escaleras con altura aproximada de 0,60 m. Cada una en el fondo continua por una galería y allí se ingresa explotando con el avance de 4 -5 m
FORMA DE EXPLOTACIÓN	Explotación con avance. El avance de la explotación por la galería se realiza a la vez que se va explotando el material. Por lo tanto, en la dirección que se encuentre material se van realizando ramificaciones de la galería 1 m de avance día
FORMA DE ARRANQUE	Herramientas manuales, palas, picas.
CARGUE Y TRANSPORTE	Cargue manual con balde y transporte por malacate con motor de 10 hp
ASPECTOS AMBIENTALES MINEROS	Manejo de material estéril se deposita en los alrededores de las bocaminas, aguas con sedimentos
No DE PERSONAS VINCULADAS	En la mina artesanal laboran de 10 a 15 personas
PRODUCCIÓN DE ORO	Explotación de material entre 1-1,5 m ³ /día. Recuperación de oro entre 2-6 gr /día. Turnos: 1 turno de 8 horas/día
CONSUMO DE COMBUSTIBLE	1-1.5 gal/día

Fotografía 5.18. a) explotación subterránea (guache); b) Sostenimiento reforzado; c) Acceso por inclinado amplio con escaleras, donde se requiere uso continuo de motobomba



5.3.14. EXPLOTACIÓN ALUVIAL EN LA MINA CASABLANCA-CANDELARIA, MUNICIPIO DE CÉRTEGUI

En la vereda Casablanca se identificó un frente de explotación aluvial. Al momento de la visita la explotación contaba con una excavación de aproximadamente 25 m x 25 m y una profundidad entre 4 m y 5 m. En la zona se encontró presencia de mineros artesanales realizando barequeo, pese a que se estaban iniciando las labores de remoción de descapote para continuar con las labores de explotación y beneficio.

Fotografía 5.19. Mina Casablanca



5.3.15. EXPLOTACIÓN ALUVIAL EN LA MINA LA BATEA, MUNICIPIO DE CÉRTEGUI

En esta zona se realizó anteriormente un fuerte proceso de explotación con retroexcavadoras. Al momento de la visita la zona se encontró la mina inactiva, aunque los mineros artesanales realizan actividades de barequeo de manera ocasional, así como lavado de material con monitores y mini dragas para la recuperación de minerales que hayan quedado en los depósitos removidos.

5.3.16. EXPLOTACIÓN ALUVIAL EN LA MINA CALO, MUNICIPIO DE CÉRTEGUI

En la mina se realiza una extracción superficial con excavaciones de dimensiones irregulares entre 20 m x 20 m y también de 50 m x 50 m, con profundidades que oscilan entre los 5 m y los 8 m.

Figura 5.9. Características de mina Santa Rita

VEREDA	Calo
SISTEMA	Explotación a cielo abierto. Excavaciones irregulares
LABORES DE DESARROLLO	El acceso se realiza por vía fluvial por el río Cértégui
FORMA DE EXPLOTACIÓN	Explotación con dos retroexcavadoras Kobelco
FORMA DE ARRANQUE	Arranque discontinuo. Arranque con retroexcavadora.
CARGUE Y TRANSPORTE	Cargue directo desde la retroexcavadora a la clasificadora
ASPECTOS AMBIENTALES MINEROS	Manejo de material estéril, aguas con grandes cantidades de sedimentos
No DE PERSONAS VINCULADAS	En la mina artesanal laboran 10 mineros
PRODUCCIÓN DE ORO	1000 m ³ /día de material removido Recuperación estimativo: rango variable entre 30-150 castellanos cada 15 días. Turno de trabajo: 1 turno de 12 horas
CONSUMO DE COMBUSTIBLE	10-12 gal/hora de ACPM por cada retroexcavadora. 18gal/día gasolina -motobomba

Fotografía 5.20. a) zonas de explotación; b) material descapotado; c) motobomba para transporte de agua hacia la clasificadora; d) equipo para explotación; e) clasificadora o canalón; f) actividad de explotación



5.4. CONSIDERACIONES TÉCNICAS PARA LA EXPLOTACIÓN ALUVIAL

Las explotaciones aluviales se desarrollan en dos recursos naturales (agua y suelo), los cuales deben tener un manejo especial para el adecuado uso y aprovechamiento de los recursos minerales.

A continuación, se presentan unas consideraciones para las buenas prácticas mineras, las cuales inician con el proceso de formalización de la actividad, sigiendo con el planeamiento minero y luego con la aplicación de las buenas prácticas.

Como se referenció anteriormente, el proceso minero vincula las fases de exploración, construcción y montaje, explotación y cierre. Estas se detallan en los siguientes puntos (MMA Peru - Cooperación Alemana).

5.4.1 . ETAPAS DE UNA EXPLOTACIÓN ALUVIAL

A. Exploración

- Estratificar el área por tipos de formación geológica.
- Utilizar imágenes recientes de satélite para ubicar los cursos antiguos de los ríos, en especial los meandros, que hacen suponer la existencia de material compuesto por gravas y áreas con aptitud aurífera.
- Realizar el estudio geológico y la toma de muestras. La muestra debe garantizar una buena representatividad para una valorización más precisa.

B. Retiro de masa boscosa y construcción del campamento

- En el caso de requerirse realizar desmonte en la zona a explotar: Demarcar el área a descapotar, teniendo en cuenta los resultados y las recomendaciones del estudio de exploración; de esta manera se evita desmontar innecesariamente bosques.
- Después del roce y la tumba, las ramas serán retiradas y almacenadas a un costado del área despejada.
- Evitar la quema de residuos vegetales.
- Durante la tala y el retiro de la masa boscosa, acopiar las semillas de las especies en estado de fructificación y almacenarlas adecuadamente para utilizarlas en una futura recuperación de áreas.
- Para el retiro de los fustes y las ramas trozadas se recomienda el uso de maquinaria pesada como excavadora u otra similar.

C. Explotación y movimiento de materiales

- Sectorizar las áreas de excavación, definiendo una cuadrícula y la secuencia de explotación.
- Establecimiento de la profundidad máxima de explotación, acorde con los resultados de exploración geológica y condiciones geotécnicas de estabilidad del terreno.
- Retiro de la tierra, descapote.
- En las áreas de terrazas aluviales generalmente se realiza la extracción de mineral con maquinaria pesada (retroexcavadora, volqueta y cargador frontal).
- El material estéril es conveniente disponerlo de manera ordenada en lugares ya explotados en los cuales se va a iniciar el cierre progresivo de minas.
- Los cascajos y los relaves generados durante el proceso de explotación deben de ser dispuestos al borde del agujero con el fin de utilizarlos posteriormente en el cierre de minas como punto inicial para la recuperación de áreas.

D. Extracción y transporte del material aurífero

- Maquinaria pesada: Es necesaria la construcción de un terraplén con material de la zona para localizar el canalón para el lavado de la grava y la captura del oro, o localizarlo en la parte más alta del terreno.
- Antes de iniciar el proceso de lavado de la grava y la captura del oro es necesario contar con entre 2 o 3 pozos de sedimentación, de 2 m a 5 m de profundidad, con una capacidad de almacenamiento entre 500-1000 m³, dependiendo del sistema de lavado y de la intensidad de trabajo.
- Las pozos de sedimentación deben ser descolmatadas periódicamente con la ayuda de una excavadora.
- Bombas de succión: Cuando el proceso de extracción y transporte de la grava se realiza con bomba de succión, se realiza la construcción de un terraplén con canalón para el lavado de la grava y la captura del oro. En este caso la canaleta debe estar orientada al callejón o al agujero de trabajos anteriores o actuales, con la finalidad de rellenarlos progresivamente con el cascajo y lodos procedentes del lavado del material aurífero.

E. Clasificado y lavado del material aurífero

- Maquinaria pesada: Debe trabajarse con un cargador frontal que recoja los excedentes de cascajo y lodos y los disponga en la volqueta para su reubicación en las áreas que deberán ser recuperadas.
- Bombas de succión: Para los trabajos con bombas de succión se recomienda la utilización de la unidad móvil llamada minidraga; sin embargo, para iniciar los trabajos de lavado de las gravas se requiere de una una poza de 20 m de diámetro y una profundidad mínima de 2 m de agua para armar la balsa y otra poza para control de aguas y sedimentación del material.

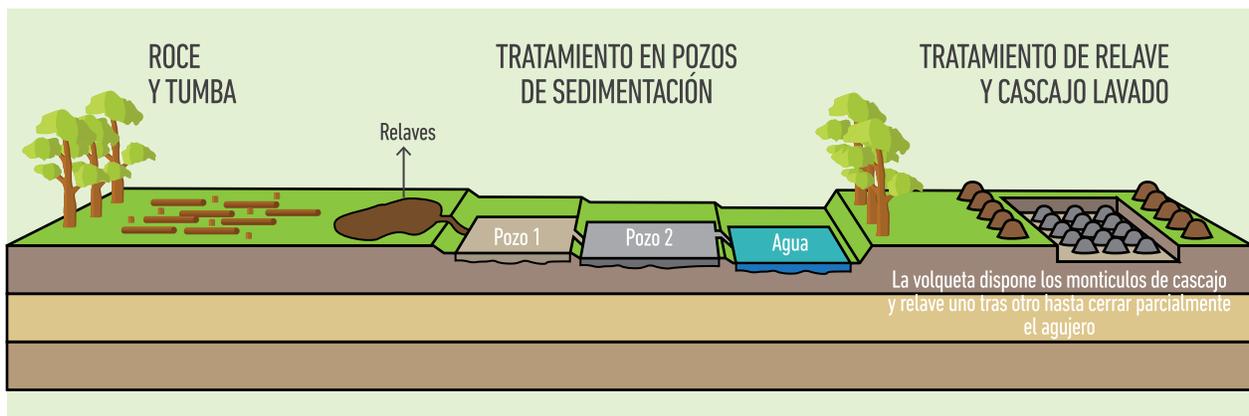
F. Tratamiento de cascajo y lodos lavados

- Maquinaria pesada: El retiro de los cascajos y lodos lavados debe ser permanente. Se recomienda cargar primero la grava lavada y encima adicionar el lodo para facilitar el vaciado, ya que el lodo puede quedarse pegado en la tolva del volco. Luego el volco dispone la carga en los agujeros ya trabajados, en montículos, uno tras otro.
- Bombas de succión: En el caso de bomba de succión, el relave y el cascajo deben ser dispuestos en los agujeros de trabajos anteriores, y progresivamente se deben ir derribando los montículos de cascajo, así que se debe orientar la canaleta para asegurar la caída de los relaves sobre estos montículos y poder rellenar los agujeros con cascajo y lodo.

G. Cierre de minas

- En una operación minera aluvial el cierre de minas debe cumplirse de manera progresiva, se deben realizar cierres parciales y cierres definitivos porque se acumulan durante todo el proceso grandes cantidades de cascajo y lodo mineral. Además, se producen callejones y orificios de tamaños y profundidades considerables con acumulación de agua, lo que dificulta una regeneración natural.

Figura 5.10. Proceso para el cierre de minas



- Los cascajos y los lodos que han sido dispuestos adecuadamente son ubicados en los agujeros, lo que permitirá un efectivo cierre de minas. Una vez que los agujeros sean rellenados, se procede a depositar los desmontes en forma de montículos. Se recomienda no nivelar los montículos de desmonte, con la finalidad de ayudar a contener la materia orgánica que producen las plantas y evitar encharcamientos y pérdida de tierra por arrastre hídrico pluvial (Manual de Buenas Prácticas MMA Peru - Cooperación Alemana).

5.5. CONSIDERACIONES GEOTÉCNICAS PARA EL MANEJO DE LOS SUELOS ALUVIALES

Los suelos aluviales de las zonas visitadas en el departamento del Chocó presentan unas características clasificables mediante análisis geotécnicos y el sistema unificado de clasificación del suelo (USCS), lo que permite clasificar y aportar información sobre las condiciones naturales para planificar sobre estas el aprovechamiento de los recursos mineros de manera técnica y sostenible.

En las minas visitadas se realizó una caracterización de las propiedades índice de los suelos aluviales, como un insumo para el conocimiento de sus condiciones geotécnicas. Estos ensayos fueron realizados en el Laboratorio de Geotecnia del Servicio Geológico de Bogotá. Los análisis presentan las propiedades índice de los suelos granulares: fracción fina-gruesa; color; densidad; permeabilidad; tipo de material; humedad; granulometría; límites y plasticidad (solo se pudo realizar este último ensayo en algunas muestras).

Frente de explotación mina Clidio

Descripción: Arena Limosa carmelito, algunas gravas, humedad, plasticidad y consistencia baja

Contenido de humedad: 31,91%

Índice de plasticidad: 6.9%

Peso unitario: 1,98 g/cm³

Peso Unitario seco: 1,5 g/cm³

Gravedad específica: 2.65 Gs

Granulometría: finos, 57,22%; arenas, 34,93%; gravas, 7,85%; lavado tamiz No 200, 57,22%

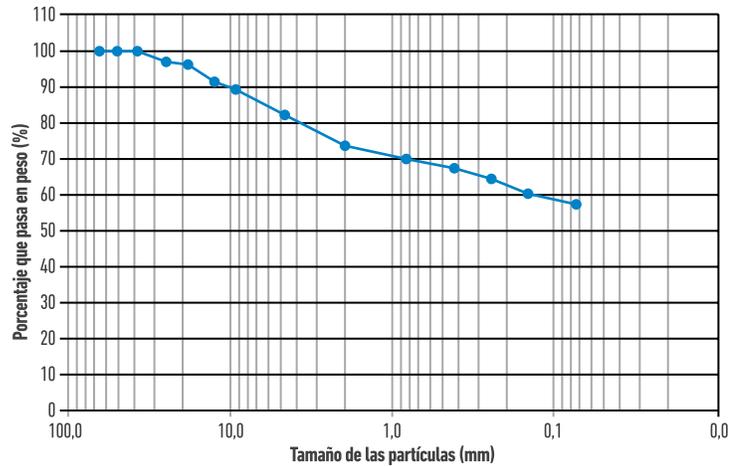
Fotografía 5.21. Vista de perfil de suelo explotado en la mina La Toma (frente de explotación)



Figura 5.11. Listado de muestras tomadas

DESCRIPCIÓN	ORIGEN	ESTE	NORTE	ALTITUD	DPTO.	MUNICIPIO	VEREDA	TIPO
Canal, mina El Coco	Magna- Oeste	1055614	1073219	82	Chocó	Tadó	San Antonio	Canal
Canal, mina Casa Blanca Cértigui	Magna- Oeste	1050992	1083983	78	Chocó	Cértigui	Casa Nueva-Candelaria	Canal
Canal, mina La Batea	Magna- Oeste	1048891	1085696	63	Chocó	Cértigui	La Batea	Canal
Canal, mina Au-Vert	Magna- Oeste	1046592	1054541	82	Chocó	Condoto	Espanlamuertos	Canal
Canal, mina Calo Frente 1	Magna- Oeste	1050064	1087075	70	Chocó	Cértigui	Calo	Canal
Canal, mina Calo Frente 2	Magna- Oeste	1050064	1087075	70	Chocó	Cértigui	Calo	Canal
Canal, mina La Platina	Magna- Oeste	1074798	1079623	188	Chocó	Tadó	Playa de Oro	Canal
Canal, mina Carmelito	Magna- Oeste	1076233	1080243	141	Chocó	Tadó	Carmelo	Roca
Canal, mina Clidio	Magna- Oeste	1042270	1048160	76	Chocó	Condoto	Tapacundó	Roca
Canal, mina Santa Rita Guache Un Pan	Magna- Oeste	1053375	1074807	126	Chocó	Unión Panamericana	Santa Rita	Canal
Canal, mina La Toma	Magna- Oeste	1052179	1076240	123	Chocó	Unión Panamericana	La Toma	Canal

Figura 5.12. Índice de los suelos mina Clidio



Fotografía 5.22. Frente de explotación mina Clidio



Frente de explotación mina El Coco

Descripción: Arena Limosa carmelito, algunas gravas, humedad, plasticidad y consistencia baja

Contenido de humedad: 12,51%

Índice de plasticidad: 0,77%

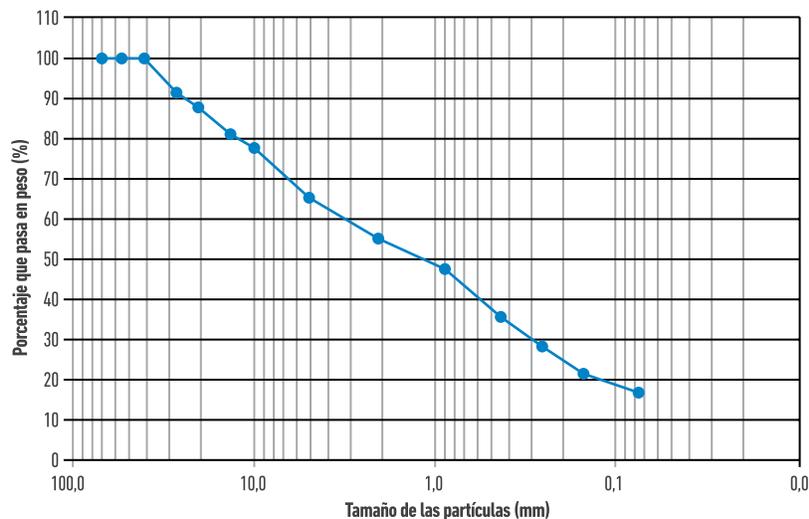
Peso unitario: 2,05 g/cm³

Peso Unitario seco: 1,82 g/cm³

Gravedad específica: 2.67 Gs

Granulometría: finos, 17,21%; arenas, 47,95%; gravas, 34,84%.

Figura 5.13. Índice de los suelos mina El Coco



Fotografía 5.23. Frente de explotación mina El Coco



Frente de explotación mina Casa Blanca

Descripción: Grava bien grabada con arena de color gris, con presencia de finos, humedad baja.

Contenido de humedad: 6,69%

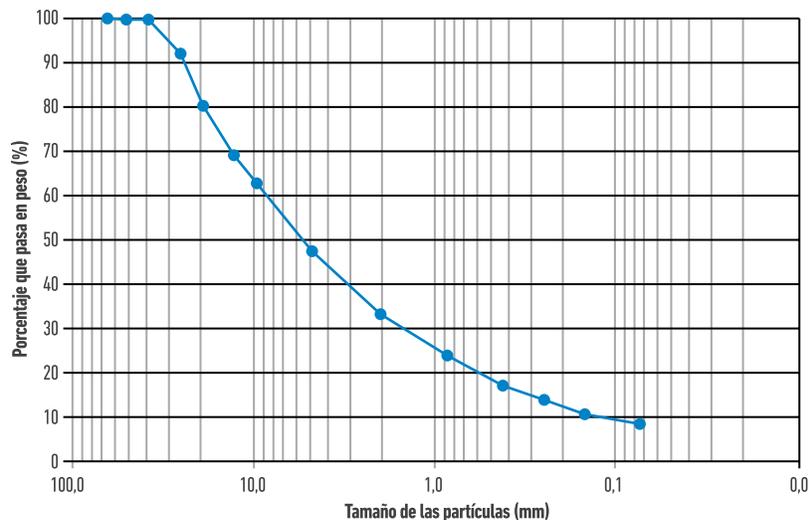
Peso unitario: 2,08 g/cm³

Peso Unitario seco: 1,95 g/cm³

Gravedad específica: 2,57Gs

Granulometría: finos, 8,31%; arenas, 39,05%; gravas, 52,64%.

Figura 5.14. Índice de los suelos mina Casa Blanca



Fotografía 5.24. Frente de explotación mina Casa Blanca



Frente de explotación mina La Batea

Descripción: grava bien gradada con tamaños hasta 3 cms con arena de color gris con habano.

Contenido de humedad: 5,76%

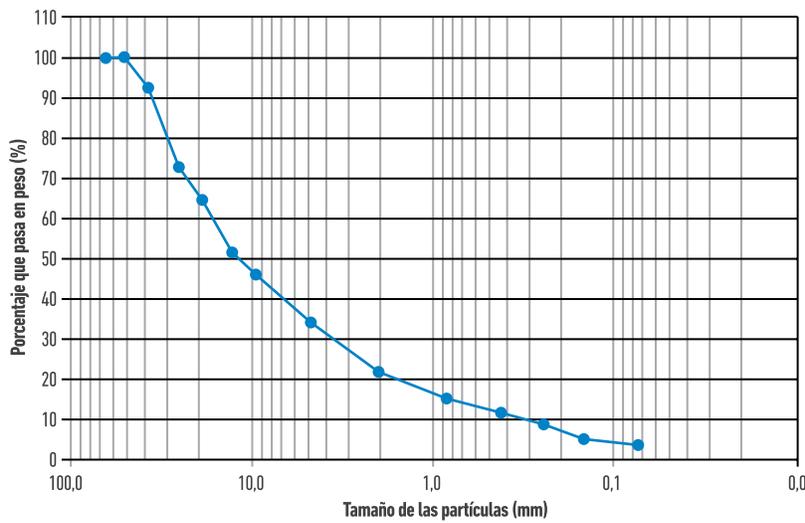
Peso unitario: 2,10 g/cm³

Peso Unitario seco: 1,99 g/cm³

Gravedad específica: 2.60 Gs

Granulometría: Finos, 3,68%. Arenas, 30,13%. gravas, 66,19%.

Figura 5.15. Índice de los suelos mina La batea



Fotografía 5.25. Frente de explotación mina La Batea



Frente de explotación mina Auvert

Descripción: Arena Limosa de color amarillo, humedad baja, consistencia baja.

Contenido de humedad: 11,41%

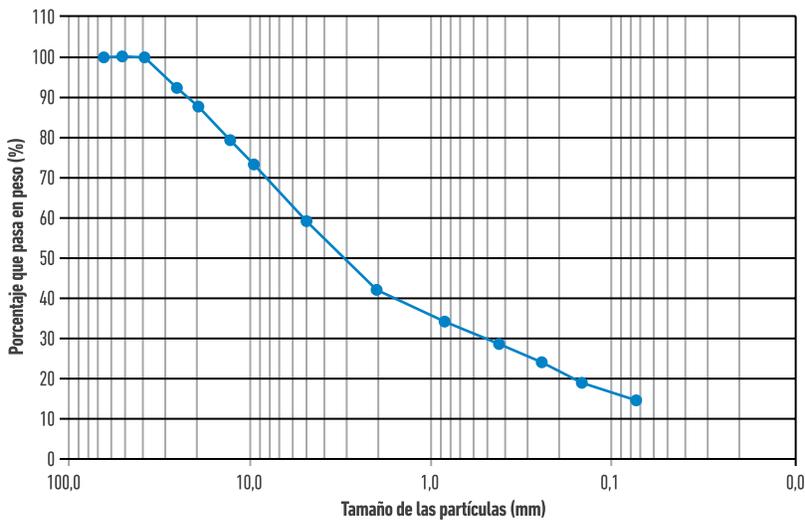
Peso unitario: 2,23g/cm³

Peso Unitario seco: 2,0g/cm³

Gravedad específica: 2,8 Gs

Granulometría: finos, 15,00%; arenas, 44,24%; gravas, 40,76%.

Figura 5.16. Índice de los suelos mina Auvert



Fotografía 5.26. Frente de explotación mina Auvert



Frente de explotación mina Calo frente 1

Descripción: Grava bien gradada con arena de color gris, gravas hasta 4 cm, humedad baja.

Contenido de humedad: 3,83%

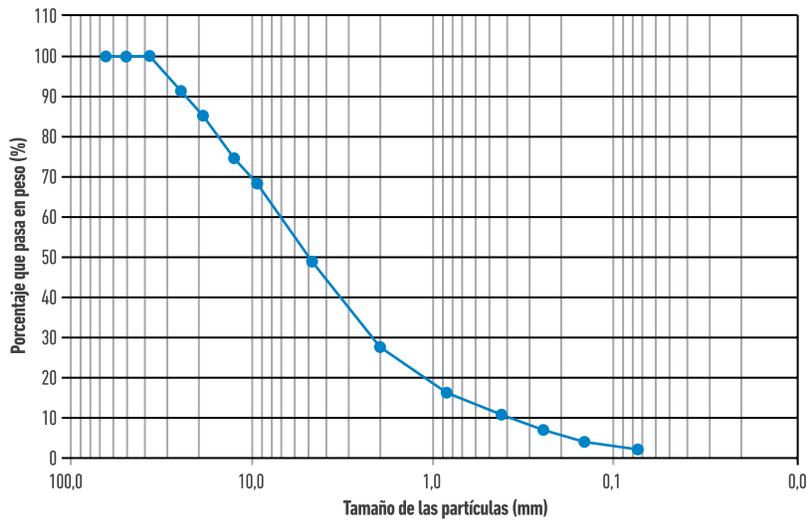
Peso unitario: 2,08 g/cm³

Peso Unitario seco: 1,5g/cm³

Gravedad específica: 2.53 Gs

Granulometría: finos, 2,21%; arenas, 46,61%; gravas, 51,18%.

Figura 5.17. Índice de los suelos mina Calo, frente 1



Fotografía 5.27. Frente de explotación mina Calo, frente 1



Frente de explotación mina Calo frente 2

Descripción: Grava bien gradada con arena de color gris, gravas hasta 4 cm, humedad baja.

Contenido de humedad: 3,59%

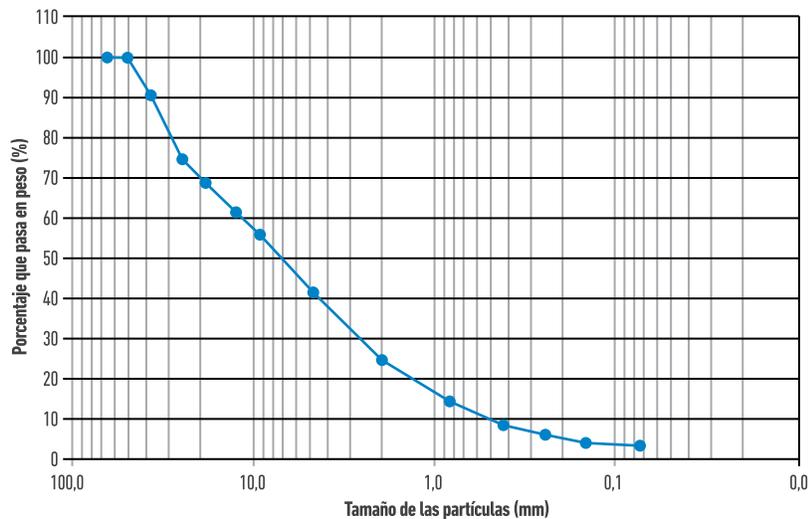
Peso unitario: 1,93g/cm³

Peso Unitario seco: 1,86 g/cm³

Gravedad específica: 2.56 Gs

Granulometría: finos, 2,98%; arenas, 38,13%; gravas, 58,89%.

Figura 5.18. Índice de los suelos mina Calo, frente 2



Fotografía 5.28. Frente de explotación mina Calo, frente 2



Frente de explotación mina La Platina

Descripción: Arena limosa gris con gravas y raíces. Humedad media, plasticidad baja y consistencia blanda.

Contenido de humedad: 19,85%

Índice de plasticidad: 8,25%

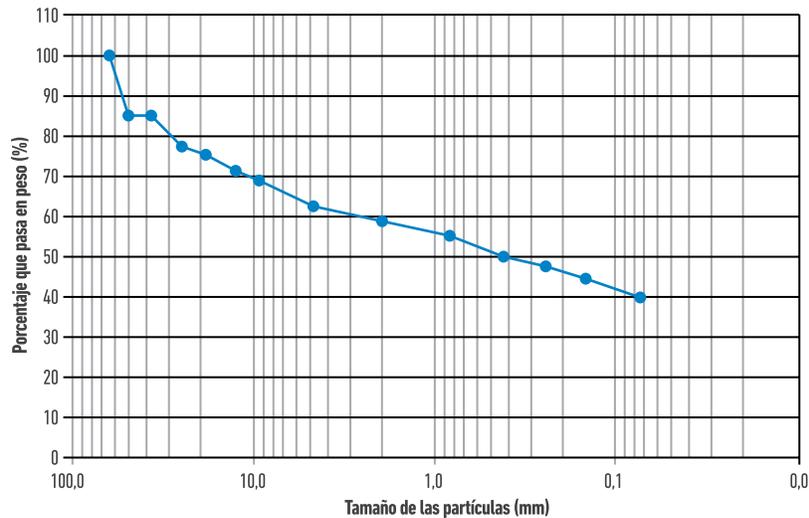
Peso unitario: 2,13 g/cm³

Peso Unitario seco: 1,78 g/cm³

Gravedad específica: 2.65 Gs

Granulometría: finos, 39,48%; arenas, 22,86%; gravas, 37,66%.

Figura 5.19. Índice de los suelos mina La Platina



Fotografía 5.29. Frente de explotación mina La Platina



Frente de explotación mina Carmelito

Descripción: Arena Limosa con gravas, raíces, humedad media, plasticidad baja y consistencia blanda

Contenido de humedad: 5, 58%

Índice de plasticidad: 2,8%

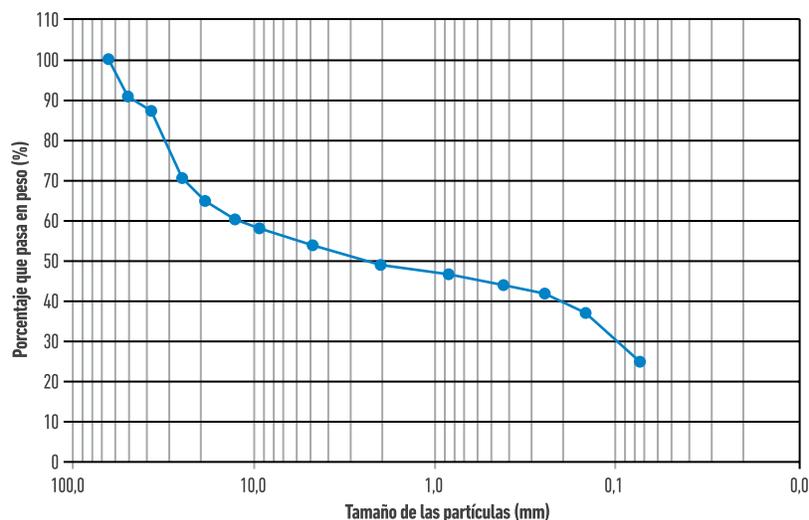
Peso unitario: 2,15g/cm³

Peso unitario seco: 1,5 g/cm³

Gravedad específica: 2.55 Gs

Granulometría: finos, 24,27%; arenas, 29,11%; gravas, 46,62%.

Figura 5.20. Índice de los suelos mina Carmelito



Fotografía 5.30. Frente de explotación mina Carmelito



Como condiciones generales identificadas en la zona se tiene que por tipo de material predominan arenas limosas con gravas, de plasticidad baja, humedad baja a media, y consistencia blanda.

Las minas muestreadas presentan recursos minerales de oro, plata y platino, y como adicional se tienen las gravas, las cuales se pueden convertir en un recurso aprovechable mediante el lavado de las mismas, su clasificación por zarandas y su comercialización como materiales de construcción.

En las excavaciones mineras que se realizan en los suelos y depósitos aluviales es relevante implementar técnicas de minería pensadas para conservar la estabilidad de los taludes de las áreas excavadas con retroexcavadoras, monitores y elevadoras. La aplicación de consideraciones geotécnicas en la minería favorecerá el establecimiento de factores de seguridad y ángulos de inclinación de los taludes, acorde con las propiedades índice de los suelos y los resultados de resistencia al corte y a la compresión triaxial. De esta manera, en la planificación de la explotación minera se pueden establecer análisis geotécnicos que permitan definir un factor de seguridad mediante ensayos de resistencia, debido a que la remoción de los materiales en la explotación implica la pérdida de equilibrio de la estructura por la elevación de esfuerzos verticales y horizontales. Luego de establecer el rango del factor de seguridad se podrá establecer un rango de inclinación y de alturas de bancos de trabajo. Adicionalmente, en la actividad se debe llevar un control de las excavaciones, manteniendo los mínimos de estabilidad de taludes, lo que permite mayor seguridad, tanto para los operarios de maquinaria como para los pequeños mineros artesanales que realizan el barequeo en las áreas removidas.

En la siguiente tabla se resumen los resultados de la caracterización de los suelos aluviales de las minas muestreadas en el departamento del Chocó.

Figura 5.22. Consolidado de las propiedades índice de los suelos aluviales de las minas muestreadas en el departamento del Chocó

CONT. HUMEDAD Wn %	LÍMITE LÍQUIDO LL %	LÍMITE PLÁSTICO LP %	ÍNDICE DE PLASTICIDAD IP %	ECUACIÓN DE LA LÍNEA DE LA LÍNEA PI%	ÍNDICE DE LIQUIDEZ IL %	CONSISTENCIA RELATIVA CR %	PESO UNITARIO SECO W g/cm ³	PESO UNITARIO SECO d g/cm ³	GRAVEDAD ESPECÍFICA GS %	GRANULOMETRÍA			LAVADO TAMIZ Nº 200 TZ00	CLASIFICACIÓN S.U.C.S.		DESCRIPCIÓN	
										Finos %	Arenas %	Gravas %		S	M		W
12,51	22,90	22,13	0,77	2,12	-12,49	13,49	2,05	1,82	2,67	17,21	47,95	34,84	17,21	S	M	Baja	Arena limosa de color carmelito, algunas gravas, humedad, plasticidad y consistencia baja.
6,69	---	---	---	---	---	---	2,08	1,95	2,57	8,31	39,05	52,64	8,31	G	W	NP	Grava bien graduada con arena de color gris, con presencia de finos, humedad baja.
5,76	---	---	---	---	---	---	2,10	1,99	2,60	3,68	30,13	66,19	3,68	G	W	NP	Grava bien graduada con tamaños hasta 3 cms, con arena de color gris con habano,
11,41	---	---	---	---	---	---	2,23	2,00	2,80	15,00	44,24	40,76	15,00	S	M	NP	Arena limosa de color amarillo, humedad baja, plasticidad media, consistencia baja
3,83	---	---	---	---	---	---	2,08	2,00	2,53	2,21	46,61	51,18	2,21	G	W	NP	Grava Bien graduada con arena de color gris, gravas hasta 4 cms, humedad baja,
3,59	---	---	---	---	---	---	1,93	1,86	2,56	2,98	38,13	58,89	2,98	G	W	NP	Grava bien graduada con arena de color gris, gravas hasta 4 cms, humedad baja,
19,85	34,49	26,24	8,25	10,58	-0,77	1,77	2,13	1,78	2,13	39,48	22,86	37,66	39,48	S	M	Baja	Arena limosa gris con gravas , raíces - Humedad media, plasticidad media y consistencia blanda
5,89	25,42	22,62	2,80	3,96	-5,98	6,98	2,15	2,03	2,55	24,27	29,11	46,62	24,27	S	M	Baja	Arena limosa gris con gravas , raíces - Humedad media, plasticidad media y consistencia blanda
31,91	33,49	26,59	6,90	9,85	0,77	0,23	1,98	1,50	2,65	57,22	34,93	7,85	57,22	M	L	Baja	Limo con arena y arcilla de color gris, humedad media, plasticidad media.
23,95	26,67	20,12	6,55	4,87	0,58	0,42	2,01	1,62	2,55	55,01	43,92	1,07	55,01	CL	ML	Baja	Limo con arcilla y arena de color carmelito, humedad media, plasticidad media.
11,14	---	---	---	---	---	---	2,22	2,00	2,66	14,94	31,52	53,54	14,94	GC	GM	NP	Grava limosa de color vercoso, humedad baja, plasticidad baja.

5.6. CONCLUSIONES

En la explotación aluvial es muy necesaria la recuperación geomorfológica de las áreas explotadas, mediante rellenos y planes de cierre inmediatos al abandono del área trabajada. También se requiere considerar el control de las aguas, mediante el establecimiento de drenajes de evacuación hacia las fuentes hídricas, previo tratamiento de sedimentación, y el trazado de vías de acceso y tránsito de maquinaria, ya que debido a la humedad y la alta pluviosidad de la región estos suelos se tornan blandos y dificultan el acceso.

Los aspectos relevantes a tener en cuenta son:

- Tratamiento de material fino y grueso en tanques de sedimentación y diques de protección que no alteren la dinámica del río.
- Recuperación y reforestación de los terrenos explotados. La capa vegetal se debe almacenar para ser utilizada posteriormente, y las cavidades dejadas por la explotación deben ser llenadas sistemáticamente, para iniciar posteriormente la reforestación.
- Control y neutralización de sustancias químicas, como derrames de grasas, combustibles y mercurio.
- La extracción debe contar con un planeamiento minero para seleccionar y determinar las áreas aptas de explotación o bloques, la secuencia de explotación, las actividades de explotación que generen menores impactos, y la vinculación a los procesos de formalización de la actividad minera.
- En este tipo de actividades es importante vincular el análisis de las condiciones geotécnicas de los suelos aluviales, para tecnificar la explotación y contribuir a un desarrollo técnico y ambientalmente sostenible. Adicionalmente, en las explotaciones mineras es importante definir los ángulos de trabajo acordes con el factor de seguridad de los taludes de las excavaciones, de manera que se incorpore la técnica y la planeación en las explotaciones. También se debe tener en cuenta el manejo de los drenajes para control de las aguas y la construcción de vías al interior de los trabajos que permitan el tránsito organizado del personal y maquinarias.
- Entre los recursos minerales aprovechables, en el departamento del Chocó se destacan el oro, la plata y el platino, y como elemento adicional se cuenta con el gran recurso de las gravas, las cuales se pueden aprovechar para las obras civiles de la región y de los alrededores.

En este tipo de actividades es importante vincular el análisis de las condiciones geotécnicas de los suelos aluviales, para tecnificar la explotación y contribuir a un desarrollo técnico y ambientalmente sostenible. Adicionalmente, en las explotaciones mineras es importante definir los ángulos de trabajo acordes con el factor de seguridad de los taludes de las excavaciones, de manera que se incorpore la técnica y la planeación en las explotaciones. También se debe tener en cuenta el manejo de los drenajes para control de las aguas y la construcción de vías al interior de los trabajos que permitan el tránsito organizado del personal y maquinarias

6.

ASPECTOS METALÚRGICOS

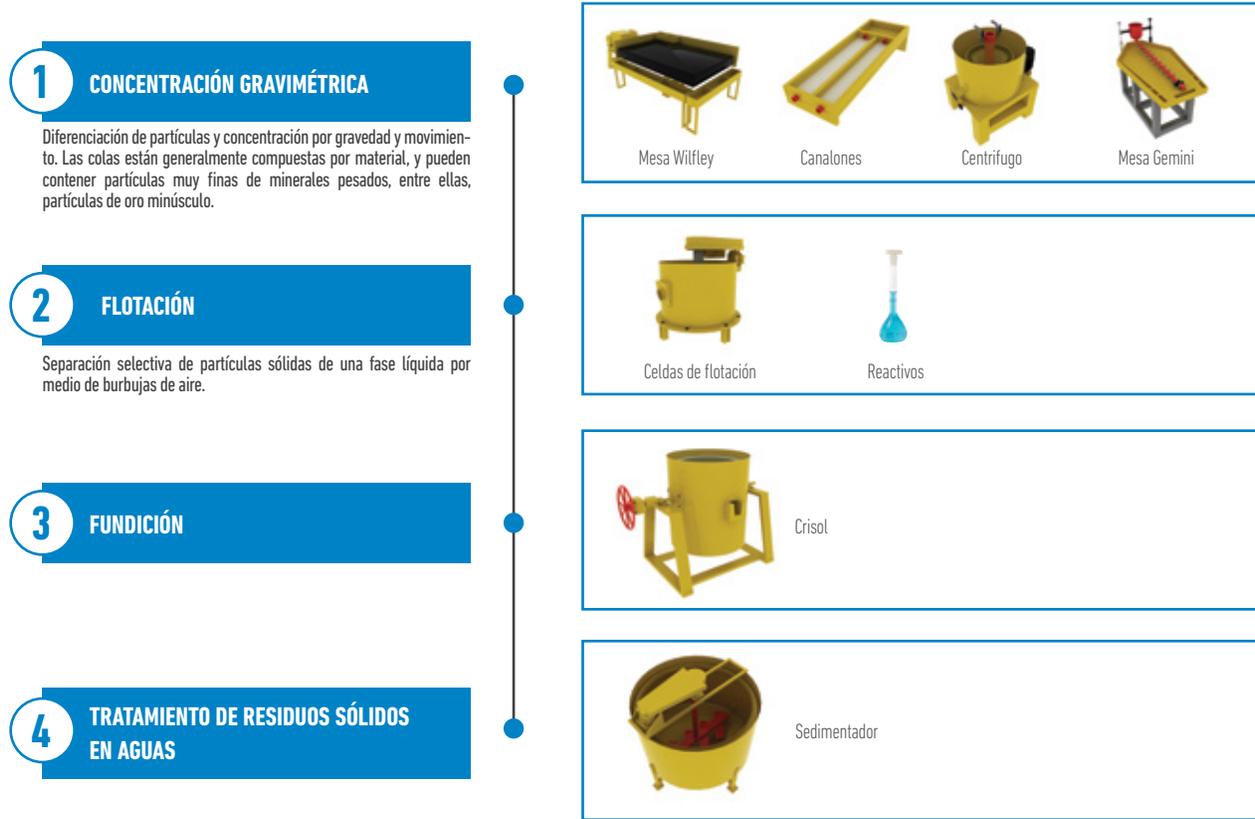
En este capítulo se muestran los diferentes aspectos metalúrgicos que se deben tener en cuenta, partiendo del conocimiento de las fases que comprende el proceso de beneficio y los principales equipos que realizan las operaciones unitarias.

Panorámica desde la base de la bande transportador a la tolva de gruesos en la planta AU Vert. Fotografía tomada por Gabriel Pantoja, Servicio Geológico Colombiano.

6.1. FUNDAMENTOS TÉCNICOS DEL PROCESO DE BENEFICIO METALÚRGICO

6.1.1. BENEFICIO DE MINERALES EN PLANTA

Figura 6.1. Etapas de beneficio metalúrgico en planta



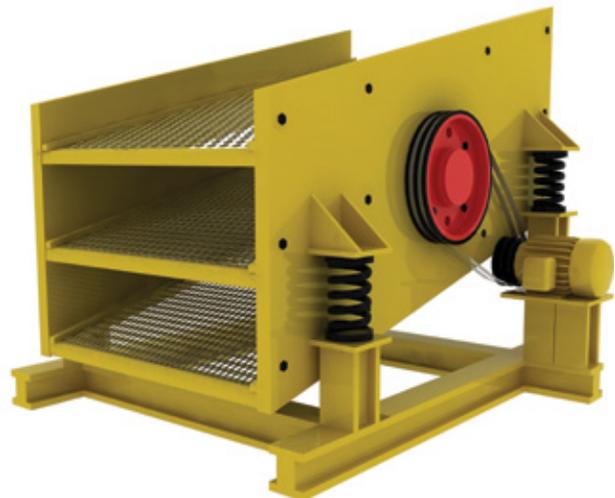
Fuente: Carvajal Herrera, 2008; Ministerio de Minas y Energía, 2015

6.1.2. CLASIFICACIÓN GRANULOMÉTRICA

6.1.2.1. CLASIFICACIÓN POR CRIBADO

El proceso de separación de sólidos a granel en clases según el tamaño, mediante el cernido a través de uno o varios tamices, se denomina clasificación granulométrica. Esta clasificación en la criba se efectúa con un movimiento relativo del material y la superficie de trabajo (tamiz). Como resultado, se obtienen dos productos: partículas que 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 6.1. Modelo de un criba.



La función de la criba es dividir la corriente de alimentación en fracciones por tamaño, independientemente de su composición química o mineralógica. Las operaciones de cribado a seco generalmente están asociadas a los equipos de trituración, siendo estas las responsables del control del tamaño del producto final y del porcentaje de recirculación de los circuitos de trituración (Austin y Concha, 1994). La eficiencia del cribado o la probabilidad de que una partícula determinada de la alimentación vaya a la corriente de rechazo o a la de bajo tamaño depende de la posibilidad que tenga de pasar a través de la abertura del tamiz. Las partículas sobre la superficie de trabajo se obstaculizan 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 una abertura, una vez llegue a la superficie, depende de tres factores: (i) de las dimensiones de las partículas y del orificio del tamiz, (ii) de la forma de alimentación y de la posición de llegada a la superficie, y (iii) de la inclinación de la superficie.

Las cribas son útiles principalmente durante las etapas de trituración, en tamaño inferiores a 1/16”, pero pierden su eficiencia debido al taponamiento

6.1.3. CLASIFICACIÓN HIDRÁULICA

La 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 de corriente horizontal accionados mecánicamente, y los hidrociclones.

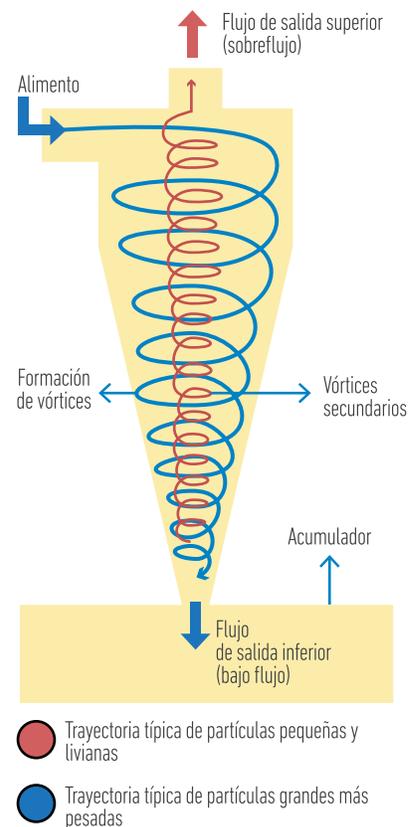
6.1.3.1 HIDROCICLÓN

La palabra hidrociclón está compuesta por el prefijo *hidro*, que se refiere a la operación por vía húmeda (generalmente agua), y el sufijo *ciclón*, que alude a la formación interna de un vórtice hidráulico (cuando se opera con agua) o neumático (cuando se opera con aire).

El hidrociclón es un equipo que se emplea, entre otras cosas, para clasificar partículas de tamaños entre 5 y 300 micrones (Wills y Finch, 2016). Aunque es bastante simple en su forma, su funcionamiento es muy complejo.

Inicialmente, la pulpa entra al equipo con una alta velocidad tangencial, lo que crea un vórtice. Las partículas, debido a este movimiento circular, se ven sometidas a dos fuerzas: la centrífuga, que las lanza

Figura 6.2. Diagrama de funcionamiento de un hidrociclón



Fuente: Denver (1954)

VARIABLES DE OPERACIÓN	VARIABLES DE ENTRADA
<ul style="list-style-type: none"> · Peso de la pulpa · Densidad de la pulpa · Caudal de pulpa · Diámetro cilíndrico · Diámetro rebosadero · Diámetro de alimentación · Diámetro de descarga 	<ul style="list-style-type: none"> · 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 reboso (Overflow)

hacia las paredes del hidrociclón, y que es producto del movimiento curvilíneo, y la centrípeta, dirigida, como su nombre lo indica, hacia el centro del equipo, y que surge como resultado de un movimiento radial originado por un semivació 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 de vórtice está ubicado en el centro del hidrociclón, por él va a evacuarse el material fino que sale por el rebalse, mientras que por la descarga saldrán las partículas más gruesas de la distribución granulométrica que ingresó al equipo y que generalmente son retornadas al equipo de molienda.

Fotografía 6.2. Modelo de un hidrociclón



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

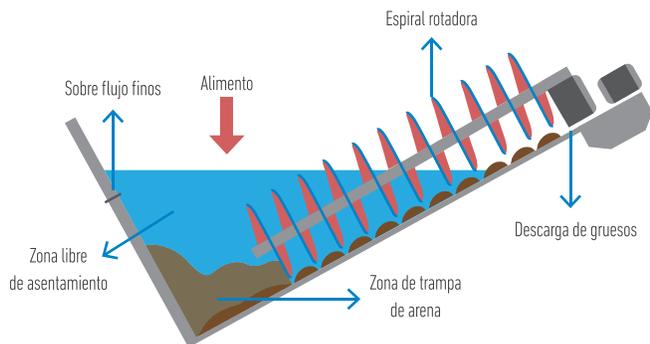
6.1.3.2 CLASIFICADOR DE ESPIRAL

En este tipo de clasificadores hidráulicos, las partículas de mineral con baja velocidad de sedimentación son arrastradas por el fluido y descargadas por rebalse; las partículas de mineral con velocidad de sedimentación alta se depositan en el fondo del equipo y son transportadas a la parte superior por una espiral (Wills y Finch, 2016).

Generalmente, los clasificadores en espiral son utilizados para cerrar los circuitos de molienda.

Estos tienen la capacidad de absorber con relativa facilidad perturbaciones en el circuito, como variaciones del flujo o de la distribución de tamaño de partícula de la alimentación. Las principales variables que influyen en la eficiencia de la clasificación y el tamaño de corte son el nivel de pulpa en la zona de sedimentación, la velocidad de la espiral, el porcentaje de sólidos de la pulpa, el flujo y la distribución de tamaño de las partículas de la alimentación.

Figura 6.3. Diagrama de funcionamiento de un clasificador de espiral



6.1.4. CONCENTRACIÓN DE MINERALES AURÍFEROS POR GRAVIMETRÍA

El objetivo principal de la concentración es enriquecer el mineral valioso eliminando los minerales de ganga y minimizando, en lo posible, las pérdidas de mineral.

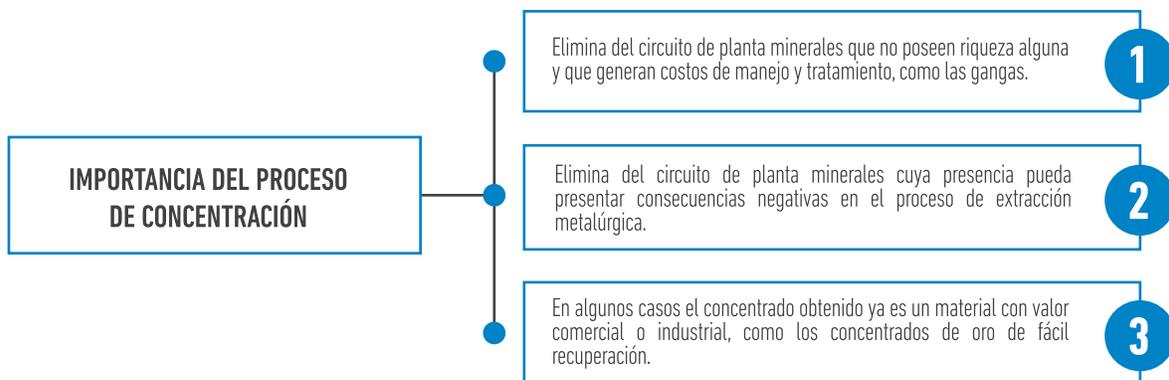
$$\text{TENOR} = \frac{\text{CANTIDAD DE MINERAL ÚTIL}}{\text{CANTIDAD DE MINERALES EXTRAÍDOS}}$$

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 del mineral de interés (oro), respecto a la cantidad másica o volumétrica en la mena. Por tanto, el tenor se puede expresar en gramos de mineral útil por tonelada de mineral total (g/t).

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

En el caso ideal, el tenor del material útil, en las colas, debe ser nulo o cercano a cero. Como en todos los procesos no hay escenarios perfectos, este debe minimizarse en la medida de lo posible.

Figura 6.4. Importancia del proceso de concentración.



6.1.4.1. 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, centrífugas, de arrastre y de empuje (Cetem, 2010).

Figura 6.5. Tabla de definición del Criterio de Concentración.

VALOR DE CC	SEPARACIÓN	TAMAÑO (mm)
> 2,5	Fácil	Hasta 0,075
1,75 – 2,50	Posible	Hasta 0,150
1,50 – 1,75	Difícil	Hasta 1,7
1,25 – 1,50	Muy difícil	
< 1,25	No posible	

$$CC = \frac{D_h - D_f}{D_l - D_f}$$

D_h : Densidad del mineral pesado
 D_f : Densidad del medio fluido
 D_l : Densidad del mineral liviano
 CC: Criterio de concentración

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

Canalones

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

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

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

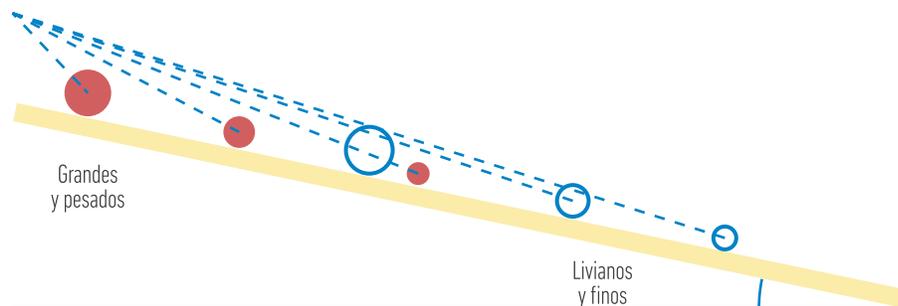
Las partículas en el fondo de la película de agua se ven afectadas por factores como: pendiente del canalón, espesor de la película de agua (caudal), coeficientes de fricción entre las partículas y la superficie, gravedad específica de las partículas, forma de las partículas y rugosidad de la cubierta (Cetem, 2010).

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

Fotografía 6.3. Modelo de canalón.



Figura 6.6. Diagrama de principio funcionamiento de los canalones.



En el diseño de los canalones se tienen en cuenta las siguientes variables:

Ancho: una de las dos variables más importantes, aunque existen dos problemas en la escogencia del ancho ideal: el primero, es que es deseable tener un ancho pequeño, para disponer de películas de fluido profundas y permitir la evacuación de partículas grandes, pero esto genera la pérdida de oro fino; lo segundo es que un ancho mayor genera películas poco profundas, lo cual mejora la recuperación del oro, pero la capacidad de arrastre es baja.

Esto indica que es necesario realizar una clasificación previa al proceso y que los anchos más comunes y efectivos son de 40 a 42 pulgadas.

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

Inclinación: los porcentajes de pendientes más usados están entre 4 % y 5%.

Mesas de concentración (mesa Wilfley)

Este concentrador consiste en una mesa ligeramente inclinada con canales o rifles transversales. Se alimenta con una pulpa cuyo peso está constituido en un 25% por sólidos, la cual se introduce en la caja de alimentación y se distribuye por medio del agua de lavado, que entra 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, en dirección paralela 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, así como medios (mezcla de concentrado y ganga) y colas (ganga liberada).

Fotografía 6.4. Modelo de mesa Wilfley.

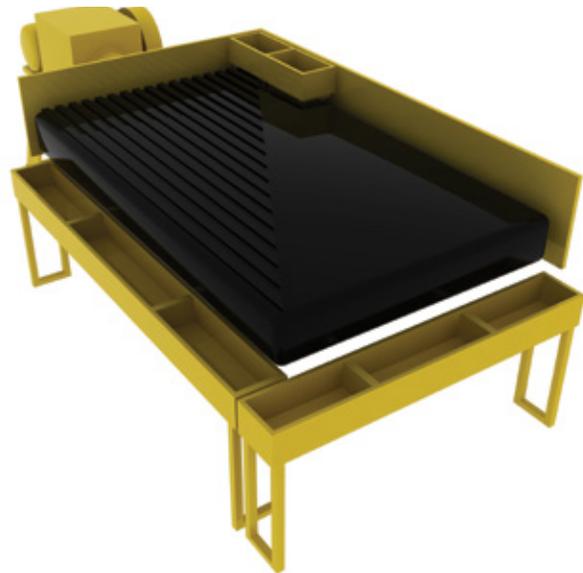
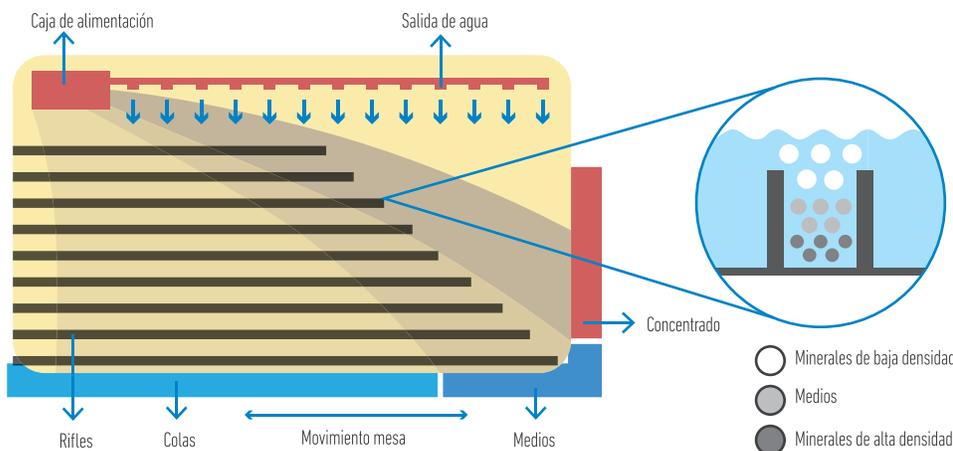


Figura 6.7. Diagrama de funcionamiento de una mesa de concentración gravimétrica



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

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

Concentradores centrífugos (tipo Knelson o Falcón)

Son concentradores de tipo gravimétrico que hacen uso de la fuerza centrífuga y que tienen la ventaja de recuperar partículas finas. La capacidad de dichos equipos para cambiar el campo gravitatorio aparente es una alternativa importante en la recuperación de minerales finos como el oro (Wills y Finch, 2016).

Los concentradores centrífugos más utilizados en la industria mineral son de tipo Knelson y tipo Falcon, los cuales tienen la ventaja de ser compactos. Su funcionamiento consiste en la formación de un lecho fluidizado activo en su interior para capturar minerales pesados (Knelson y Jones, 1994). Una fuerza centrífuga de hasta 60 veces la de la gravedad actúa sobre las partículas, atrapando las partículas más densas en una serie de anillos (rifles) ubicados en el compartimiento interior del equipo, mientras que las partículas de baja densidad son descargadas al producto de cola. Las capacidades de las unidades van desde la escala de laboratorio (0,03 t/h) hasta una escala industrial (150 t/h), para partículas que varían en tamaño desde 10 μm hasta un máximo de 6 mm. Generalmente se usan para materiales en los que el componente denso a recuperar es una fracción muy pequeña del material total, menos de 0,05 % en peso.

Las principales variables operacionales de los concentradores centrífugos son: tasa de alimentación de sólidos, porcentaje de sólidos de la alimentación, frecuencia de rotación, caudal de agua, caudal de aire, tiempo de formación del lecho fluidizado y tamaño de partícula de la alimentación.

6.1.5. CONCENTRACIÓN DE MINERALES AURÍFEROS POR FLOTACIÓN

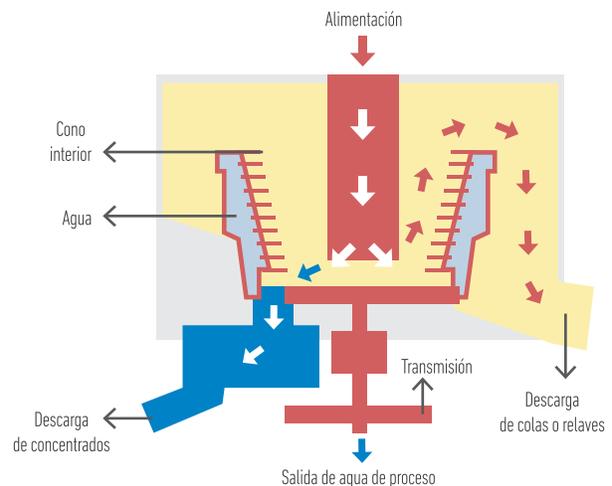
La recuperación de los valores representados en partículas finas que no responden a la concentración gravimétrica se hace por medio de la flotación espumante, un procedimiento al cual se le establecerán los índices metalúrgicos correspondientes.

La flotación por espuma es un método altamente versátil para separar físicamente partículas en función de las diferencias en la capacidad de las burbujas de aire para adherirse selectivamente a superficies minerales específicas en una suspensión de agua/mineral. Las partículas con burbujas de aire adheridas luego se llevan a la superficie y se separan, mientras que aquellas completamente humedecidas permanecen en la fase líquida. La flotación de espuma se puede adaptar a una amplia gama de minerales, ya que es posible usar tratamientos químicos para alterar selectivamente las superficies de estos para que tengan las propiedades necesarias para la separación. Actualmente se usa para muchas aplicaciones diversas, entre ellas: separación de minerales de sulfuro de ganga de sílice (y de otros minerales de sulfuro), separación del carbón de los minerales formadores de cenizas e, incluso, aplicaciones no minerales como el destintado de papel reciclado. Es particularmente útil para procesar minerales de grano fino que no son susceptibles a la concentración de gravedad convencional.

Fotografía 6.5. Modelo de un concentrador centrífugo

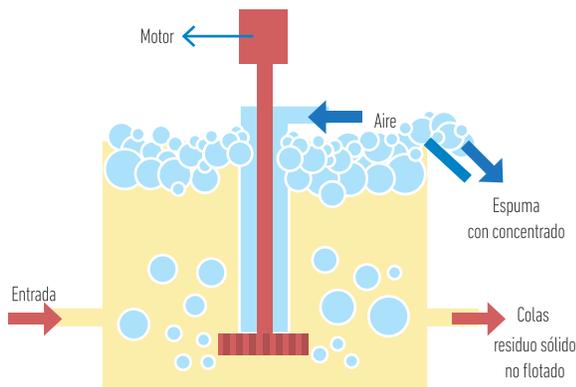


Figura 6.8. Diagrama de funcionamiento de un concentrador centrífugo.



La base de la flotación por espuma es la diferencia en humectabilidad de los diferentes minerales. Las partículas van desde aquellas que son fácilmente humectables por el agua (hidrófilas) a aquellas que son repelentes al agua (hidrófobas). Si una mezcla de partículas hidrófobas e hidrófilas se suspende en agua y se burbujea aire a través de la suspensión, las partículas hidrófobas tenderán a adherirse a las burbujas de aire y flotarán en la superficie. La capa de espuma que se forma en la superficie se cargará pesadamente con su mineral hidrófobo. Las partículas hidrófilas tendrán una tendencia mucho menor a adherirse a las burbujas de aire, por lo que permanecerán en suspensión y serán expulsadas (Whelan y Brown, 1956). Las partículas pueden ser naturalmente hidrófobas, o la hidrofobia puede ser inducida por tratamientos químicos. Los materiales naturalmente hidrófobos incluyen hidrocarburos y sólidos no polares, como el azufre elemental. El carbón es un buen ejemplo de un material que normalmente es hidrófobo por naturaleza, porque está compuesto principalmente de hidrocarburos. Los tratamientos químicos para hacer que una superficie sea hidrófoba son esencialmente métodos para recubrir selectivamente una superficie de partículas con una monocapa de aceite no polar. (http://www.chem.mtu.edu/chem_eng/faculty/kawatra/Flotation_Fundamentals.pdf).

Fotografía 6.6. Modelo de celda de flotación industrial.



La mayoría de los desarrollos en la flotación de oro y de minerales que contienen oro se centraron en las características mineralógicas, la aplicación de reactivos y sus interacciones en la flotación, así como en los diagramas de flujo de procesamiento. La presencia de una cantidad excesiva de lodos tiene un efecto negativo en la recuperación de la flotación de oro, al igual que sucede con una cantidad excesiva de colector. En general, se considera que el rango de aplicabilidad de la flotación cubre tamaños de partículas de oro aproximadamente entre 1 μm a 200 μm .

Figura 6.9. Diagrama de funcionamiento de una celda de flotación y variables de operación.

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

Las pruebas de flotación por lotes se llevaron a cabo acondicionando el tamaño de partícula del mineral, utilizando un molino de bolas de laboratorio y una máquina de flotación con una celda de 500 g. Con la cantidad de mineral utilizada, la densidad de la pulpa de la alimentación de flotación fue de aproximadamente 30 % de peso en sólidos. El pH de la pulpa se mantuvo levemente acidificado, y se monitoreó durante cada prueba utilizando una unidad portátil.

La tasa de gas de flotación se basó en la succión natural de aire en la pulpa a través del eje del impulsor. Los productos sólidos de todas las pruebas de separación se secaron y pesaron para la construcción de tablas de balance de masa. Los análisis de oro en todos los productos se llevaron a cabo utilizando el procedimiento de ensayo al fuego.

6.1.6. 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: (i) fundición directa, (ii) fundición después de calcinación y (iii) tratamiento ácido seguido de fundición.

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

Las cargas de fundición varían, dependiendo de las características de los precipitados, y se logran partiendo de ensayos de laboratorio preliminares realizados a una muestra del precipitado, para establecer las cantidades de los reactivos que se van a utilizar, de los cuales los más comunes son: carbonato de sodio, bórax, sílice y nitrato de potasio.

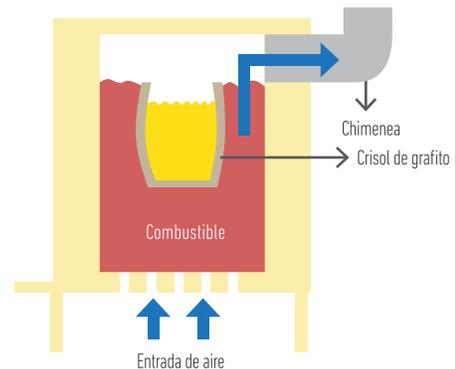
Las respectivas cargas se homogeneizan, se llevan a crisoles de grafito y se recubren con una capa de bórax. Posteriormente, los crisoles cargados se introducen en el horno para efectuar la fundición a una temperatura de $1100\text{ }^{\circ}\text{C}$, durante un tiempo que oscila entre una y dos horas.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

Fotografía 6.6. Modelo de horno con crisol.



Figura 6.10. Diagrama de horno con crisol, riesgos y medidas de seguridad de operación

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



6.1.7. TRATAMIENTO DE RESIDUOS SÓLIDOS EN AGUAS

Para que exista un proceso de beneficio de oro sostenible es importante llevar a cabo el tratamiento de las soluciones resultantes de la cianuración con los métodos presentados en el punto 6.1.7 y una recirculación de las aguas que salen como rechazo en las colas de los procesos de concentración.

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

Fotografía 6.7. Modelo de tanque espesador



espesadores es el método óptimo y comúnmente empleado para llevar a cabo dicha separación.

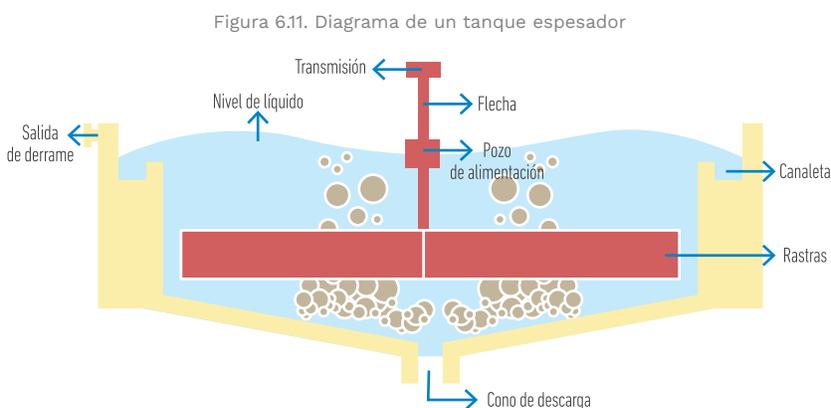
6.1.7.1 TANQUES ESPESADORES

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

La velocidad de asentamiento es directamente proporcional al tamaño y densidad de las partículas, como también a la densidad y viscosidad del fluido. Cuando las partículas suspendidas son muy pequeñas, se da una suspensión estable. Entonces se utilizan coagulantes o floculantes para romper esta estabilidad de suspensión, a raíz de lo cual las partículas pequeñas se aglomeran y descienden.

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

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



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

6.2. PROCESO DE BENEFICIO DESARROLLADO ACTUALMENTE

6.2.1. PLANTAS DE BENEFICIO DEL MUNICIPIO DE CONDOTO

6.2.1.1. SECTOR DE TAPACUNDÓ (MINA CLIDIO HURTADO)

El 27 de noviembre de 2019, el equipo del Servicio Geológico Colombiano (sede Cali) hizo una visita técnica al sector de Tapacundó, en el municipio de Condoto. En este sector se realiza la extracción de oro de aluvión por explotación a cielo abierto (figura 6.12), en la que el mineral es removido del frente de mina utilizando una retroexcavadora marca Kobelco 220.

Fotografía 6.8. Frente de explotación de la mina Tapacundó (coordenadas MAGNA-OESTE, Este: 1042270, Norte: 1048160): (a) vista general del frente; (b) punto de muestreo



En la operación minera del sector se trabaja 1 turno de 10 h/día, siendo la capacidad de extracción de mineral de frente de mina alrededor de los 1000 m³/día, lo que equivale a remover por día cuadrantes de 20 m x 20 m, con 2,5 m de profundidad. El consumo de ACPM para la retroexcavadora es de 45 gal/día y la producción de oro es de 170 castellanos cada 15 días, lo que equivale a 52,1 g/día.

En la planta de beneficio, el mineral proveniente del frente de mina es transportado por la misma retroexcavadora y alimentado a la tolva mostrada en la figura 6.12.

La planta de beneficio solo cuenta con procesos de concentración gravimétrica, específicamente con un canalón de 15 m de largo, el cual tiene en su superficie tela de fique en la cual se concentran las partículas de mayor peso específico y el oro libre. Finalmente, las colas del canalón se disponen en los patios de relaves.

La figura 6.12 muestra el diagrama de flujo del proceso de beneficio de la planta de este sector.

La figura 6.13 muestra la relación de las muestras colectadas, así como los puntos de colecta en la planta.

La figura 6.14 muestra la descripción de los equipos que se encuentran en la planta de beneficio, especificando algunas de sus características, dimensiones y capacidades.

Figura 6.12. Diagrama de flujo de la planta de beneficio del sector de Tapacundó

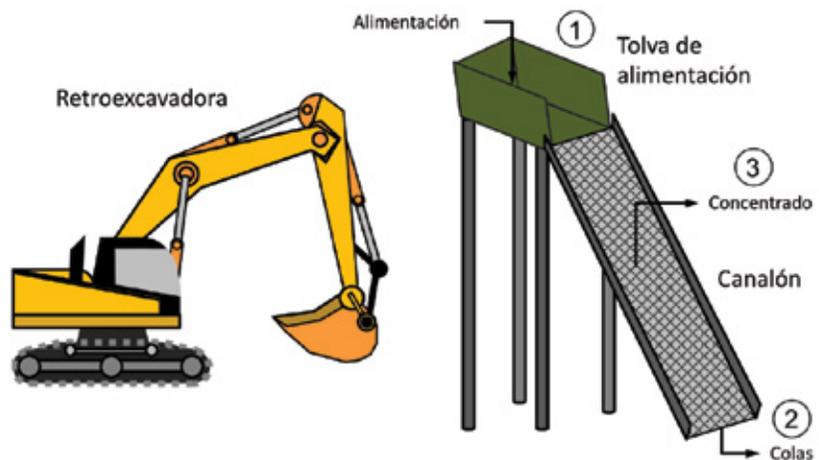


Figura 6.13. Relación de las muestras colectadas en la planta de beneficio del sector de Tapacundó

PUNTO DE COLECTA	DESCRIPCIÓN
1	Cabeza de canalón
2	Colas de canalón
3	Concentrado de canalón

Figura 6.14. Descripción de los equipos de la planta de beneficio del sector de Tapacundó

EQUIPO	# DE EQUIPOS	CARACTERÍSTICAS
Retro excavadora	1	Kobelco, 220 hp, 45 galones/día. Pala 1 m ³
Canalón	1	15 m x 1 m (largo x ancho)
Monitor	1	Kumins, 10 hp, consumo de 18 galones/día
Bomba	1	10 hp, consumo de 10 galones/día

Fotografía 6.9. Planta de beneficio del sector de Tapacundó (coordenadas MAGNA-OESTE, Este: 1042270, Norte: 1048160): (a) vista general de la planta; (b) retroexcavadora; (c) tolva de alimentación; (d) detalle del canalón



Finalmente, en la fotografía 6.9 se observan las fotografías la vista general de la planta, la retroexcavadora, la tolva de alimentación y el detalle del canalón.

6.2.2. PLANTAS DE BENEFICIO DEL MUNICIPIO DE TADÓ

6.2.2.1. PLANTA DE BENEFICIO DE LA MINA LA PLATINA

El 28 de noviembre de 2019, en horas de la mañana, el equipo del Servicio Geológico Colombiano (sede Cali) hizo una visita técnica a la planta de beneficio de la mina La Platina en el municipio de Tadó. En esta mina se realiza la extracción de oro de aluvión por explotación a cielo abierto, removiendo el mineral del frente de mina con un compresor de agua. En el momento de la visita técnica solo un trabajador se encontraba realizando las labores mineras. Los turnos en la explotación son de 8 h/día y la capacidad de extracción de mineral de frente de mina es de alrededor de 10 m³/día, lo que equivale a remover cuadrantes de 3 x 3 m con 1,2 m de profundidad. El consumo de ACPM del compresor es de 3 gal/día y la producción es de 4 castellanos de oro y 1 de platino cada 15 días.

En la planta de beneficio, el mineral del frente de mina es transportado por el agua del compresor, concentrando gravimétricamente

la pulpa de mineral y agua en un canalón de 2 m de largo, el cual tiene en su superficie tela de fique en la que se concentran las partículas de mayor peso específico, al igual que el oro y el platino libres. Finalmente, las colas del canalón siguen a la fuente de agua más cercana.

La figura 6.15 muestra el diagrama de flujo del proceso de beneficio de la mina La Platina.

La figura 6.16 muestra la relación de las muestras colectadas, así como los puntos de colecta en la planta de beneficio.

La figura 6.17 muestra la descripción de los equipos que se encuentran en la planta de beneficio, especificando algunas de sus características, dimensiones y capacidades.

Finalmente, en la fotografía 6.10 se observan las fotografías de la vista general de la mina La Platina, la fuente de captación de agua y el compresor, el frente de mina y el canalón.

Figura 6.15. Diagrama de flujo de la planta de beneficio de la mina La Platina.

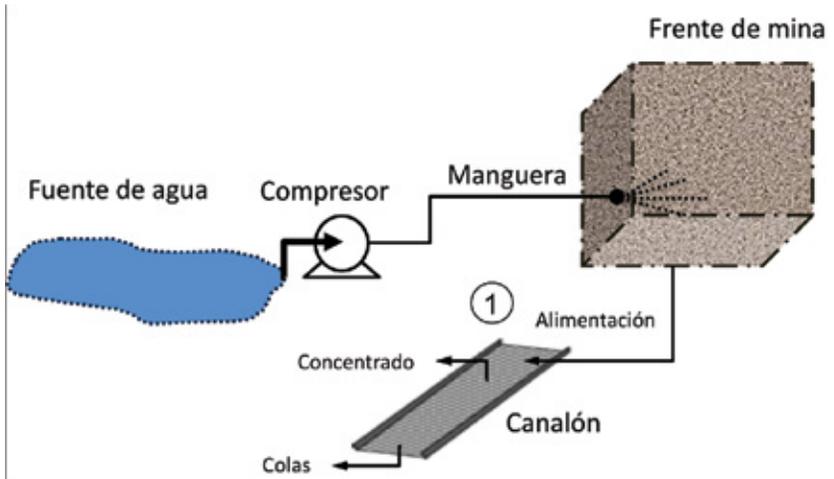


Figura 6.16. Relación de las muestras colectadas en la planta de beneficio de la mina La Platina

PUNTO DE COLECTA	DESCRIPCIÓN
1	Frente de mina

Figura 6.17. Descripción de los equipos de la planta de beneficio de la mina La Platina

EQUIPO	# DE EQUIPOS	CARACTERÍSTICAS
Compresor	1	10 hp, 3 galones/día, manguera 2 pulgadas
Canalón	1	2 m x 0,3 m (largo x ancho)

Fotografía 6.10. Planta de beneficio de la mina La Platina (coordenadas MAGNA-OESTE, Este: 1074798, Norte: 1079623): (a) fuente de agua y compresor; (b) vista general de la mina; (c) frente de mina; (d) canalón



6.2.3. PLANTAS DE BENEFICIO DEL MUNICIPIO DE UNIÓN PANAMERICANA

6.2.3.1. PLANTA DE BENEFICIO DE LA MINA LA TOMA

El 30 de noviembre de 2019, el equipo técnico del Servicio Geológico Colombiano (sede Cali) hizo una visita técnica a la planta de beneficio de la mina La Toma en el municipio de Unión Panamericana. En esta mina se realiza la extracción de oro de aluvión por explotación a cielo abierto (figura 6.11), removiendo el mineral del frente de mina con dos retroexcavadoras marca Hyundai.

En la operación minera de La Toma se trabaja en dos turnos de 12 h/día y la capacidad de extracción de mineral de frente de mina es de alrededor de los 3000 m³/día, lo que equivale a remover cuadrantes de 20 m x 20 m, con 7 m de profundidad por día. El consumo de ACPM para las retro excavadoras es de 110 gal/día y la producción de oro es de 40 castellanos cada 3 días lo que equivale a 61,3 g/día.

En la planta de beneficio, el mineral proveniente del frente de mina es transportado por las mismas retroexcavadoras y alimentado a la tolva. La planta de beneficio cuenta con un proceso de clasificación de gruesos, usando una criba, y con un proceso de concentración gravimétrica, usando un canalón de dos secciones, la primera de 5 m de largo con superficie de bayeta fina y la segunda con dos canales paralelos de 7 m con tela de fique en su superficie, en donde se concentran las partículas de mayor peso específico y el oro libre. Finalmente, las colas del canalón se disponen en los patios de relaves.

Fotografía 6.11. Frente de explotación de la mina La Toma (coordenadas MAGNA-OESTE, Este: 1053213, Norte: 1074903)



Figura 6.18. Diagrama de flujo en la planta de beneficio de la mina La Toma

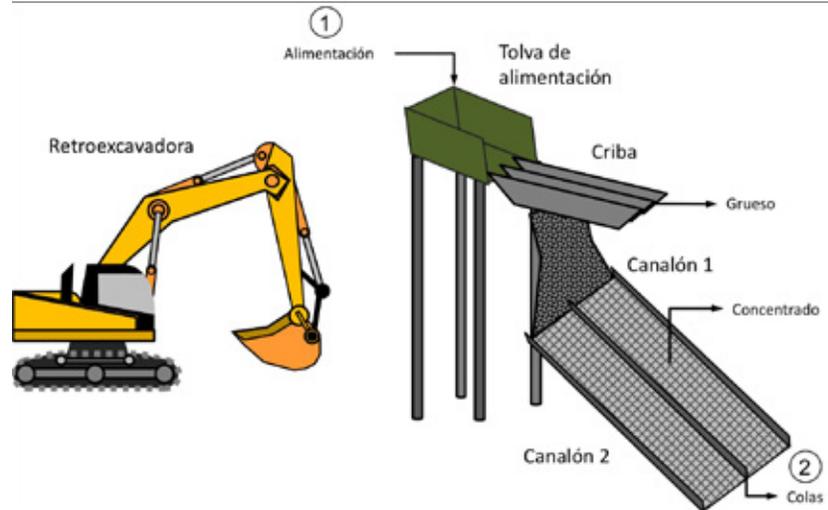


Figura 6.19. Relación de las muestras colectadas en la planta de beneficio de la mina La Toma

PUNTO DE COLECTA	DESCRIPCIÓN
2	Relaves sector La Toma
1	Cabeza de proceso La Toma

La figura 6.18 muestra el diagrama de flujo del proceso de beneficio en la planta de la mina La Toma.

La figura 6.19 muestra la relación de las muestras colectadas, así como los puntos de colecta en la planta.

La figura 6.20 muestra la relación de equipos que se encuentran en la planta de beneficio.

Figura 6.20. Relación de las muestras colectadas en la planta de beneficio de la mina La Toma

EQUIPO	# DE EQUIPOS	CARACTERÍSTICAS
Retro excavadora	2	Hyundai 220 y 210 hp, 110 galones/día. Pala 1 m ³
Criba	1	2,4 m x 1,2 m (largo x ancho), abertura 1,5 pulgadas
Canalón	1	5 m x 1,2 m y dos secciones de 7 m x 1,2 m (largo x ancho)
Monitor	1	12 hp, consumo de 15 galones/día
Bomba	1	12 hp, consumo de 15 galones/día
Planta eléctrica	1	10 hp, consumo 1 galón/día

En la fotografía 6.12 se muestran las fotografías de la planta de beneficio de la mina La Toma.

Fotografía 6.12. Planta de beneficio de la mina La Toma (coordenadas MAGNA-OESTE, Este: 1053213, Norte: 1074903): (a) retroexcavadora; (b) vista general de la planta; (c) abertura de la criba; (d) detalle del canalón



6.2.4. PLANTAS DE BENEFICIO DEL MUNICIPIO DE CÉRTEGUI

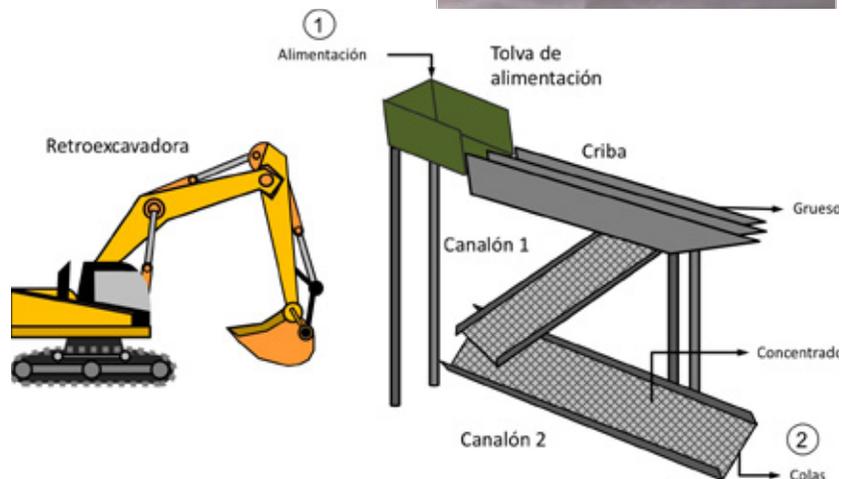
6.2.4.1. SECTOR CALO

El 03 de diciembre de 2019, el equipo técnico del Servicio Geológico Colombiano (sede Cali) hizo una visita técnica a la mina de Albeiro Sandoval, en el sector Calo del municipio de Cértegui. En este sector se realiza la extracción de oro de aluvión por explotación a cielo abierto (fotografía 6.13), removiendo el mineral del frente de mina con una retroexcavadora de la marca Kobelco.

Fotografía 6.13. Frente de explotación del sector Calo (coordenadas MAGNA-OESTE, Este: 1050064, Norte: 1087075)



Figura 6.21. Diagrama de flujo de la planta de beneficio del sector Calo



En la operación minera del sector Calo se trabaja en un turno de 8 h/día y la capacidad de extracción de mineral de frente de mina es de alrededor de 1000 m³/día, lo que equivale a remover cuadrantes de 20 m x 20 m, con 2,5 m de profundidad por día. El consumo de ACPM para la retro excavadora es de 45 gal/día y la producción de oro es de 30 castellanos cada 3 días, lo que equivale a 46,0 g/día.

En la planta de beneficio, el mineral proveniente del frente de mina es transportado por la misma retroexcavadora y alimentado a la tolva. La planta de beneficio cuenta con un proceso de clasificación de gruesos, usando una criba, y con un proceso de concentración gravimétrica, usando dos canalones, los cuales tiene en su superficie tela de alfombra, en donde se concentran las partículas de mayor peso específico y el oro libre. Finalmente, las colas del canalón se disponen en los patios de relaves.

La figura 6.21 muestra el diagrama de flujo del proceso de beneficio del sector Calo.

La figura 6.22 muestra la relación de las muestras colectadas, así como los puntos de colecta en la planta.

La figura 6.23 muestra la relación de equipos que se encuentran en la planta de beneficio.

Finalmente, en la fotografía 6.14 se muestran fotografías con los equipos que se encuentran instalados en la planta de beneficio del sector Calo.

Figura 6.22. Relación de las muestras colectadas en la planta de beneficio del sector Calo

PUNTO DE COLECTA	DESCRIPCIÓN
1	Cabeza canalón
2	Colas canalón

Figura 6.23. Descripción de los equipos de la planta de beneficio del sector Calo

EQUIPO	# DE EQUIPOS	CARACTERÍSTICAS
Retro excavadora	1	Kobelco 200, consumo 45 galones/día
Bomba	1	20 hp, consumo 5 galones/día
Compresor	1	15 hp, consumo 3 galones/día
Criba	1	2 m x 1 m (largo x ancho)
Canalón	2	3 m x 1 m (largo x ancho)

Fotografía 6.14. Planta de beneficio del sector Calo (coordenadas MAGNA-OESTE, Este: 1050064, Norte: 1087075): (a) sistema de criba y canalones "Zeta"; (b) detalle de la superficie del canalón



6.3. TENORES DE ORO EN PLANTAS VISITADAS

Figura 6.24. Tenores identificados en la zona minera

MUESTRA	TENOR ORO (g/t)	MUESTRA	TENOR ORO (g/t)
Relaves sector La Toma, mina La Toma (vereda La Toma, Unión Panamericana)	0,705	Cabeza de proceso La Batea, mina La Batea (vereda La Batea, Cértegui)	0,184
Cabeza de proceso La Toma, mina La Toma (vereda La Toma, Unión Panamericana)	0,0016	Cabeza canalón mina Clidio (vereda Tapacundó, Condoto)	0,37
Cabeza de proceso Santa Rita, mina Santa Rita (vereda La Toma, Unión Panamericana)	0,369	Colas canalón mina Clidio (vereda Tapacundó, Condoto)	0,00652
Cabeza de proceso (material removido) Au-Vert, mina Au-Vert (vereda Espantamuertos, Condoto)	0,0024	Concentrado canalón mina Clidio (vereda Tapacundó, Condoto)	71,77
Relaves Au-Vert, mina Au-Vert (vereda Espantamuertos, Condoto)	1,3	Cabeza canalón mina La Platina (vereda Playa de Oro, Tadó)	0
Cabeza de proceso Candelaria, mina Candelaria (vereda Casa Nueva, Cértegui)	1,9601	Cabeza canalón mina Carmelito (vereda El Carmelo, Tadó)	0,05
		Colas canalón mina Carmelito (vereda El Carmelo, Tadó)	0,0086
		Colas draga removido mina El Coco (vereda San Antonio, Tadó)	0,0159
		Colas draga finales mina El Coco (vereda San Antonio, Tadó)	0,0119
		Cabeza canalón mina Calo (vereda Calo, Cértegui)	0,0058
		Colas canalón mina Calo (vereda Calo, Cértegui)	0,00292

6.4. PRUEBAS METALÚRGICAS DE LABORATORIO

6.4.1. PROPIEDADES FÍSICAS DE LOS MINERALES DE ESTUDIO

6.4.1.1. PESO ESPECÍFICO

Los resultados muestran que las densidades presentan un bajo contenido de minerales metálicos, y un mayor contenido de minerales de ganga, como puede ser constatado en los análisis de FRX.

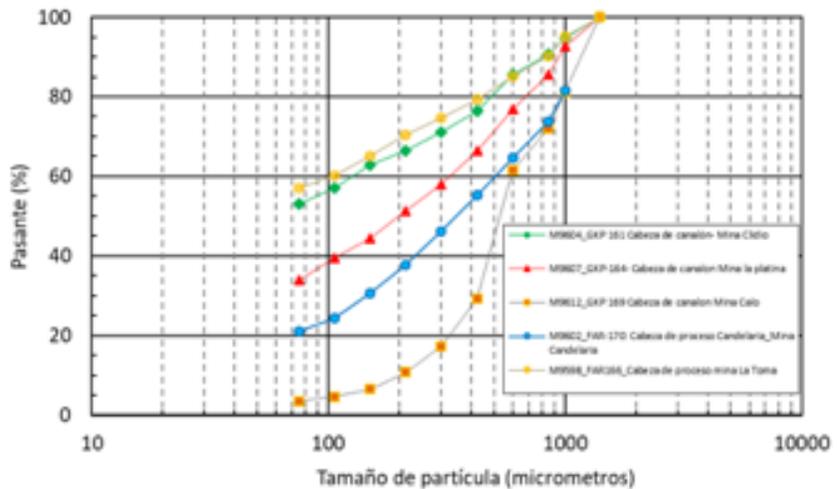
Figura 6.25. Peso específico para diferentes muestras de proceso en las zonas de Unión Panamericana, Condoto, Tadó y Cértegui

MUESTRA	DENSIDAD (g/cm ³)
Cabeza de proceso mina La Toma	2,5671
Cabeza de proceso mina Clidio	2,6285
Cabeza de proceso mina La Platina	2,6222

6.4.2. ACONDICIONAMIENTO DEL MINERAL PARA LAS PRUEBAS METALÚRGICAS

Los resultados revelan que las distribuciones de tamaño de partícula de las muestras en las minas de las zonas de Condoto, Unión Panamericana, Cértegui y Tadó, mantienen una diferencia muy amplia, observándose en el d80 una amplia variabilidad entre 1 mm a 400 mm.

Figura 6.26. Distribuciones de tamaños de partícula en las muestras de las zonas de Condoto, Unión Panamericana, Cértegui y Tadó



6.4.3. CONCENTRACIÓN EN MESA DEL MINERAL DE CABEZA

6.4.3.1. PLANTA DE BENEFICIO TAPACUNDÓ, MINA CLIDIO

Cabeza de canalón mina Clidio

Tiempo de concentración:

13 minutos.

Agua de fluidización: 3,22 L/m

Figura 6.27. Concentración en mesa Wilfley para el mineral de cabeza de la mina Clidio hurtado

IDENTIFICACIÓN	PESO (g)	% PESO	TENOR AU (g/t)
Cabeza	5455	100,0	0,031
Concentrado 1	184,5	3,4	0,92
Medios 1	1538,0	28,2	
Medios 2	1320,0	24,2	
Colas	2412,5	44,2	

6.4.3.2. PLANTA DE BENEFICIO TADÓ, MINA LA PLATINA

Cabeza de canalón mina La Platina

Tiempo de concentración: 23 minutos

Agua de fluidización: 6,22 L/m

Figura 6.28. Concentración en mesa Wilfley para el mineral de cabeza de la mina La Platina

IDENTIFICACIÓN	PESO (g)	% PESO	TENOR AU (g/t)
Cabeza	3268,4	100,0	0,099
Concentrado 1	262,4	8,0%	1,3
Medios 1	1626,0	49,7%	
Colas	1380,0	42,2%	

6.4.3.3. PLANTA DE BENEFICIO UNIÓN PANAMERICANA, MINA LA TOMA

Cabeza de canalón mina La Toma

Tiempo de concentración:

15 minutos

Agua de fluidización: 5,44 L/m

Figura 6.29. Concentración en mesa Wilfley para el mineral de cabeza de la mina La Toma

IDENTIFICACIÓN	PESO (g)	% PESO	TENOR AU (g/t)
Cabeza	4995,2	100,0	0
Concentrado 1	363,2	7,3%	0
Medios 1	3032	60,7%	
Colas	1600	32,0%	

6.4.4. CONCENTRACIÓN POR CENTRIFUGACIÓN (KNELSON)

6.4.4.1. PLANTA DE BENEFICIO CÉRTEGUI, MINA CANDELARIA

Tamaño de partícula 1400<dp>600

Cabeza de canalón mina Candelaria 1400<dp>600

Tiempo de concentración:

2 minutos

Agua de fluidización: 5,62 L/m

Presión inicial de agua: 15 PSI

Presión del sistema con aire:

30 PSI

Fuerza G aplicada: 40%

Densidad de pulpa: 30%

Figura 6.30. Concentración centrífuga para el mineral de cabeza de la mina Candelaria (1400<dp>600)

IDENTIFICACIÓN	PESO (g)	% PESO	TENOR AU (g/t)
Cabeza	1400,0	100,0	0,65
Concentrado	75,57	5,40	12,04
Colas	1324,43	94,60	

Tamaño de partícula 600<dp>212

Cabeza de canalón mina Candelaria 600<dp>212

Tiempo de concentración:

2 minutos

Agua de fluidización: 5,02 L/m

Presión inicial de agua: 15 PSI

Presión del sistema con aire:

30 PSI

Fuerza G aplicada: 40%

Densidad de pulpa: 30%

Figura 6.31. Concentración centrífuga para el mineral de cabeza de la mina Candelaria (600<dp>212)

IDENTIFICACIÓN	PESO (g)	% PESO	TENOR AU (g/t)
Cabeza	800,0	100,0	3,92
Concentrado	38,49	4,81	81,47
Colas	761,51	95,19	

Tamaño de partícula dp<212

Cabeza de canalón mina Candelaria dp<212

Tiempo de concentración:

2 minutos

Agua de fluidización: 5,42 L/m

Presión inicial de agua: 15 PSI

Presión del sistema con aire:

30 PSI

Fuerza G aplicada: 40%

Densidad de pulpa: 30%

Figura 6.32. Concentración centrífuga para el mineral de cabeza de la mina Candelaria (dp<212)

IDENTIFICACIÓN	PESO (g)	% PESO	TENOR AU (g/t)
Cabeza	1640,0	100,0	0,04
Concentrado	24,41	1,49	2,83
Colas	1615,59	98,51	

6.4.4.2. PLANTA DE BENEFICIO CONDOTO, MINA AUVERT

Tamaño de partícula 1400<dp>600

Colas de la mina AuVert 1400<dp>600

Tiempo de concentración:

2 minutos

Agua de fluidización: 5,02 L/m

Presión inicial de agua: 15 PSI

Presión del sistema con aire:

30 PSI

Fuerza G aplicada: 40%

Densidad de pulpa: 30%

Figura 6.33. Concentración centrifuga para el mineral de colas de la mina AuVert (1400<dp>600)

IDENTIFICACIÓN	PESO (g)	% PESO	TENOR AU (g/t)
Cabeza	1440,0	100,0	0,02
Concentrado	72,36	5,03	0,46
Colas	1367,64	94,98	

Tamaño de partícula 600<dp>212

Colas de la mina AuVert 600<dp>212

Tiempo de concentración:

2 minutos

Agua de fluidización: 5,12 L/m

Presión inicial de agua: 15 PSI

Presión del sistema con aire:

30 PSI

Fuerza G aplicada: 40%

Densidad de pulpa: 30%

Figura 6.34. Concentración centrifuga para el mineral de colas de la mina AuVert (600<dp>212)

IDENTIFICACIÓN	PESO (g)	% PESO	TENOR AU (g/t)
Cabeza	1540,00	100,0	0,01
Concentrado	20,17	1,31	0,74
Colas	1519,83	98,69	

Tamaño de partícula dp<212

Colas de la mina AuVert dp<212

Tiempo de concentración:

2 minutos

Agua de fluidización: 5,32 L/m

Presión inicial de agua: 15 PSI

Presión del sistema con aire:

30 PSI

Fuerza G aplicada: 40%

Densidad de pulpa: 30%

Figura 6.35. Concentración centrifuga para el mineral de cabeza de la mina Candelaria (dp<212)

IDENTIFICACIÓN	PESO (g)	% PESO	TENOR AU (g/t)
Cabeza	3110,0	100,0	0,12
Concentrado	77,77	2,50	4,7
Colas	3032,23	97,50	

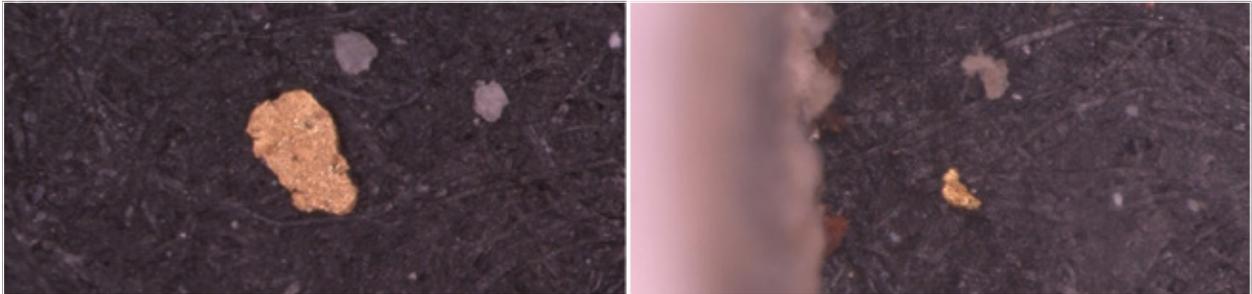
6.4.5. CONCENTRACIÓN POR FLOTACIÓN

Se realizaron total de siete flotaciones a todas las colas de las plantas de beneficio visitadas. Los concentrados de flotación fueron sometidos a procesos mineralógicos, para observar los granos de oro y platino al microscopio.

6.4.5.1. SECTOR UNIÓN PANAMERICANA

En este sector, en la mina la Toma se evidenciaron dos granos de oro de 310 μm y 120 μm (fotografía 6.15).

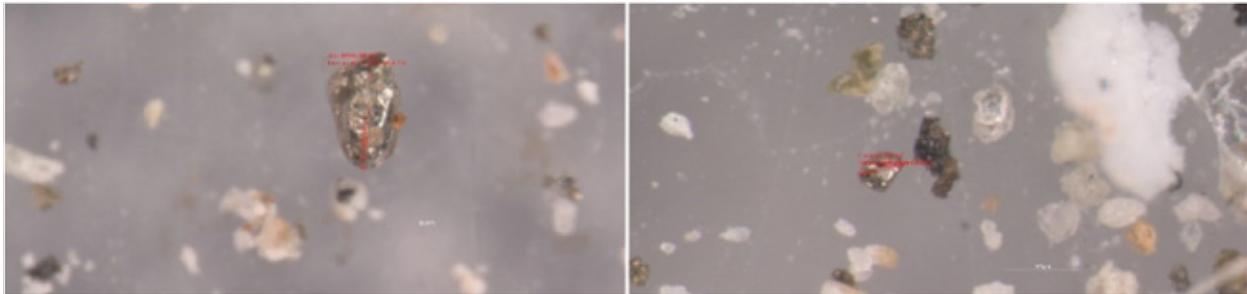
Fotografía 6.15. Granos de oro en los concentrados de flotación de la mina La Toma



6.4.5.2. SECTOR TADÓ

En este sector, en la mina Carmelito se evidenciaron dos granos de platino de 300 μm y 110 μm (fotografía 6.16).

Fotografía 6.16. Granos de platino en los concentrados de flotación de la mina Carmelito

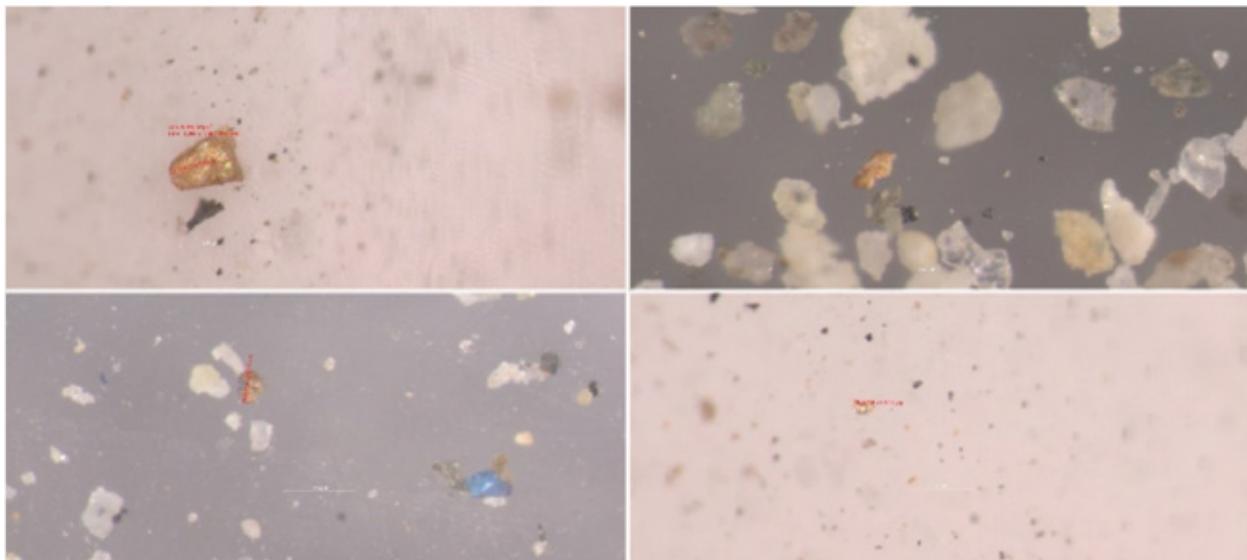


Por otro lado, en la mina El Coco se encontraron cuatro granos de oro de 113 μm , 75 μm , 45 μm y 28 μm (fotografía 6.17).

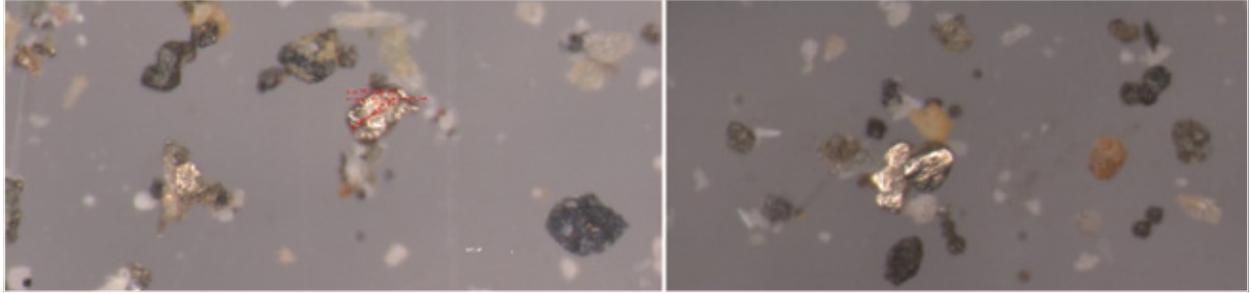
6.4.5.3. SECTOR CÉRTEGUI

En este sector, en la mina Calo se evidenciaron dos granos de platino de 99 μm y 80 μm (fotografía 6.18).

Fotografía 6.17. Granos de oro en los concentrados de flotación de la mina El Coco



Fotografía 6.18. Granos de platino en los concentrados de flotación de la mina Calo



6.5. CONSIDERACIONES MINERALÓGICAS

DETERMINANTES EN LAS OPERACIONES Y PROCESOS METALÚRGICOS

- Los análisis mineralógicos de la muestra de cabeza de proceso de las minas indican que la distribución mineralógica de la mena está representada en su mayoría por minerales livianos, mientras que la concentración de minerales pesados no magnéticos apenas alcanza valores entre 0.1% y 0.2%.
- La distribución general de oro en las minas del distrito minero de Chocó es unifrome, de manera general, ya que el 50% está en un tamaño de partícula por encima de 600 micrómetros.
- La distribución de tamaño de grano del oro para cada una de las minas indica que hay mayor homogeneidad hacia las fracciones menores a 100 μm y mayor dispersión hacia las fracciones de mayor tamaño, así mismo hay mayor variabilidad o dispersión de tamaño en las minas Clidio, la Toma, Santa Rita y Carmelo
- Además de los metales preciosos como el oro, los minerales de interés económico que los acompañan son Ilmenita Hematita-goethita, Magnetita, Epidota, Zircón, cromita y Apatito. Sin embargo, se encuentran en concentraciones relativamente bajas, alrededor de 0.1% a 0.2% del total de minerales.

La distribución general de oro en las minas del distrito minero de Chocó es unifrome, de manera general, ya que el 50% está en un tamaño de partícula por encima de 600 micrómetros.

Además de los metales preciosos como el oro, los minerales de interés económico que los acompañan son Ilmenita Hematita-goethita, Magnetita, Epidota, Zircón, cromita y Apatito. Sin embargo, se encuentran en concentraciones relativamente bajas, alrededor de 0.1% a 0.2% del total de minerales.

- En cuanto a su textura, el oro de las minas La Loma y la Platina frecuentemente exhiben diferentes tonalidades de color y textura porosa o esponjiforme, lo mismo que bordes o coronas enriquecidas en oro.

7.

ASPECTOS QUÍMICOS Y AMBIENTALES

Vista panorámica de la lagunas de aguas tratadas de la planta Au Vert en el departamento de chocó. Fotografía tomada por Fabián Ramírez, Servicio Geológico Colombiano, Servicio Geológico Colombiano

Chocó es un departamento de Colombia con alta riqueza de recursos naturales y cuya contribución es significativa para la biodiversidad del país (Cuesta, 2016). El territorio chocoano ha sido fuente de bienes y servicios para la subsistencia de los pueblos asentados en la región, incluyendo en su desarrollo económico la minería aluvial como una de las principales actividades productivas, la cual tuvo su origen a mitad del siglo XVIII e inició su etapa de explotación con inversiones extranjeras en la década de 1880 (León, 2009). La minería le ha dado al departamento el reconocimiento como el mayor productor de platino en Colombia, llegando a generar en el año 2014 una cantidad de alrededor de 40 000 onzas, equivalente al 0,8 % de la producción mundial y 11 318 kg de oro (Rodríguez, 2020), ubicándolo en segundo lugar en la producción de oro a nivel nacional después del departamento de Antioquia (Defensoría del Pueblo, 2015).

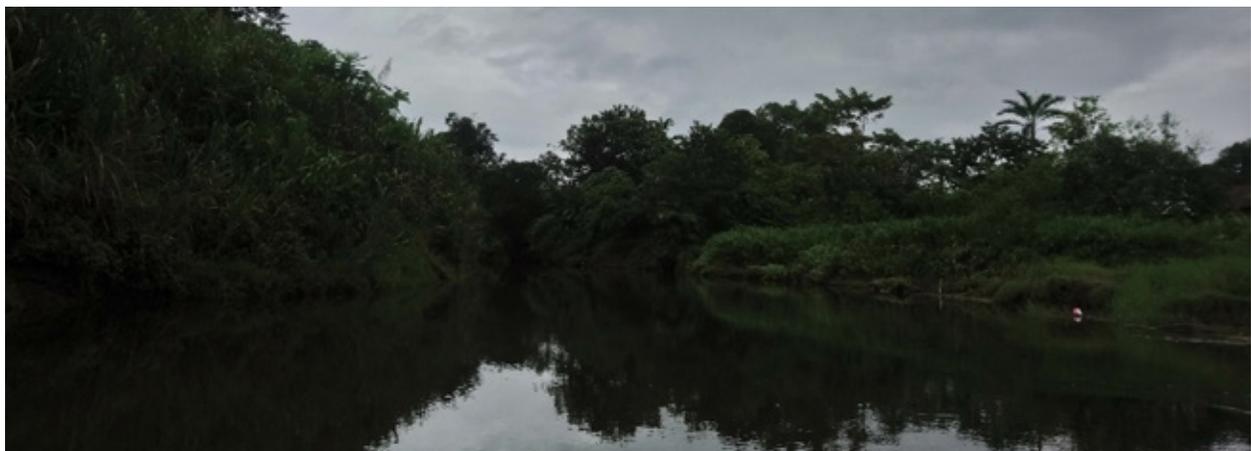
Entre los municipios con mayor potencial de depósitos mineros que concentran la extracción metalúrgica para el oro y el platino en el departamento están: Cantón de San Pablo, Medio San Juan, Río Iró, Istmina, Condoto, Cértégui, Tadó y Unión Panamericana, siendo los últimos cuatro visitados para la realización de este estudio, con un enfoque de interés en el beneficio del oro (Defensoría del Pueblo, 2015).

La principal técnica de explotación empleada en los municipios estudiados se centra en la minería a cielo abierto. En la zona de Condoto se visitaron dos puntos de beneficio en la vereda Tapacundó, donde se utiliza maquinaria (retroexcavadoras) para la extracción de material, que después pasa por fases de clasificación en canaletas; la segunda zona de muestreo se ubicaba en la vereda Espantamuertos, mina AuVert, que es una planta de beneficio para el procesamiento de oro aluvial donde se emplean principalmente técnicas de gravimetría, concentración magnética y clasificación.

En el municipio de Tadó se visitaron las veredas de San Antonio, donde se emplea extracción con maquinaria (retroexcavadoras), la vereda El Carmelo, que utiliza el sistema de elevadores y bombas para el beneficio del mineral, y la vereda Playa de Oro, donde emplean técnicas artesanales para remover el material con agua a presión y concentrarlo en canalones.

Por otro lado, los lugares muestreados en el municipio de Unión Panamericana fueron la vereda La Toma, que emplea sistemas de retroexcavadoras para la extracción del material, el cual es después concentrado en los canalones, y la vereda Santa Rita, que tiene como técnica de beneficio la extracción con guaches, que son pequeños pozos para tener acceso al aluvión. Finalmente, en el municipio de Cértégui se visitaron la vereda Calo, que tiene explotación a cielo abierto con retroexcavadoras y concentración en canalones, y la vereda La Batea, que es una zona de explotación inactiva actualmente, pero que empleaba dragas y canalones en su técnica de extracción. Los puntos tratados en este marco, como los aspectos medioambientales de la zona, la minería de aluvión y las técnicas de extracción y beneficio de oro, son ampliados en los títulos siguientes.

Fotografía 7.1. Río Pureto en el municipio de Tadó, Chocó



7.1. CONTRIBUCIÓN QUÍMICA A LA CARACTERIZACIÓN Y EL CONTROL DE PROCESOS METALÚRGICOS Y AMBIENTALES

A partir de los análisis químicos realizados al material de las minas, plantas de beneficio, aguas, relaves y sedimentos activos es posible obtener información que contribuye a la mejora de los procesos de beneficio de oro. En la figura 7.1 se presenta la relación de la información obtenida de acuerdo con la técnica de análisis empleada.

Figura 7.1. Diagrama de contribución química y ambiental.



7.2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS: MÉTODOS Y APLICACIONES QUÍMICAS Y AMBIENTALES

En el marco del desarrollo de las guías metodológicas para mejoramiento productivo de la extracción del oro sin uso de mercurio, se realizó el muestreo químico y ambiental para la determinación de impactos

ambientales asociados, principalmente, a la presencia de elementos químicos debido a la actividad minera que se desarrolla en los distritos visitados o a los factores propios de la mineralización de la zona.

La aplicación de diferentes técnicas analíticas, instrumentales y gravimétricas, como son la fluorescencia de rayos X, microfluorescencia de rayos X, espectrofotometría de absorción atómica y determinación de azufre, se aplican a la caracterización de la composición fisicoquímica de muestras representativas en las etapas de procesamiento de minerales que afectan en el equilibrio del medio ambiente, haciendo una comparación en las muestras antes y después de dichos procesos. Los tipos de muestras recolectadas son relaves, sedimentos, rocas y vertimientos, a los cuales se les aplica la cuantificación de mercurio y otros metales. Igualmente, el análisis químico se interrelaciona con el marco geológico, aportando información para la determinación de la composición elemental de los minerales formadores de roca y mineralizantes que componen las unidades geológicas presentes en la zona estudiada y permitiendo en el marco metalúrgico el seguimiento de las diferentes pruebas realizadas, así como el control de unidades metalúrgicas para desarrollar procesos de beneficio más eficientes.

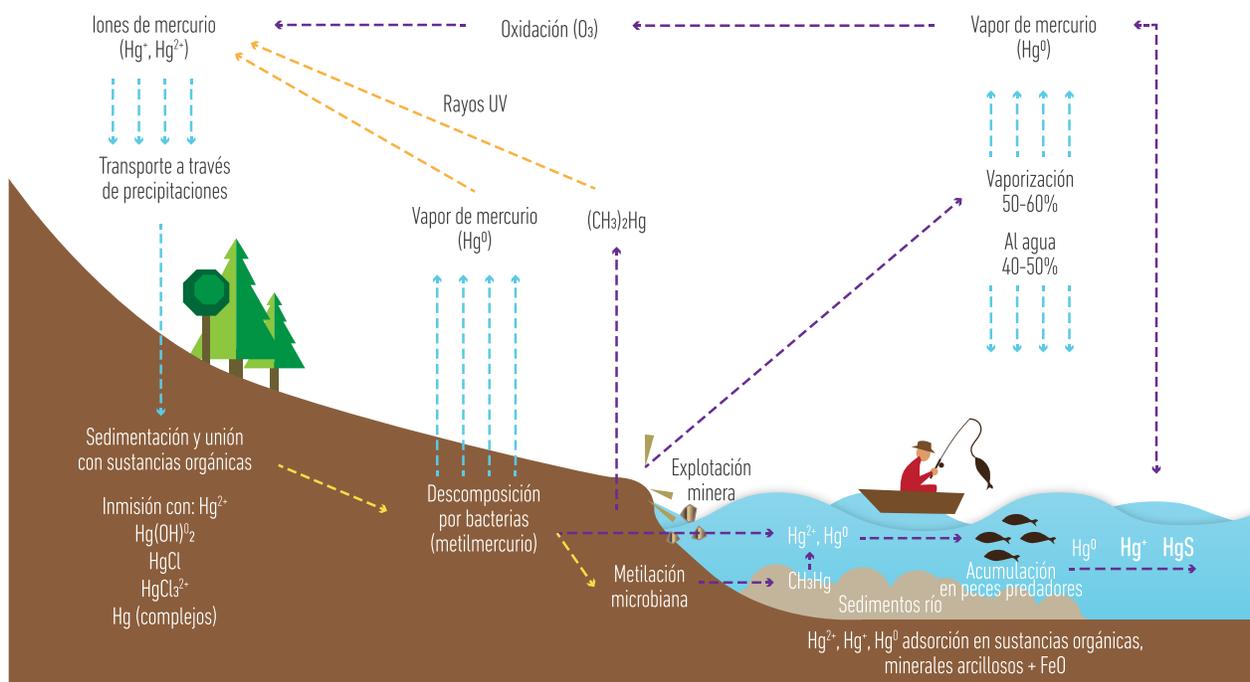
7.2.1. FUNDAMENTOS TEÓRICOS AMBIENTALES

7.2.1.1. CONTAMINACIÓN POR MERCURIO

El desarrollo del capítulo de química ambiental tiene como principal objetivo evaluar los elementos empleados en la actividad minera que implican riesgo para el ambiente por su toxicidad, entre ellos el mercurio.

El mercurio, identificado en la tabla periódica de los elementos químicos con el símbolo Hg, derivado de la palabra griega hydragyros (agua plateada), es un metal pesado que en su estado elemental es de color plateado, inodoro y líquido a presión y temperatura ambiente. Su densidad es 13,5 veces mayor que la del agua, tiene una temperatura de fusión de $-38,87\text{ }^{\circ}\text{C}$ y ebulle a $356,58\text{ }^{\circ}\text{C}$, una temperatura baja para tratarse de un metal; es ligeramente volátil a temperatura ambiente e insoluble en agua (Chang, 2011; Thermo Fischer Scientific, 2007).

Figura 7.2. Diagrama de ciclo del mercurio (Hg).



La Ley 1658 de 2013 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 para obtener el metal precioso, el oro. 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 alternativas a las tecnologías actuales en el proceso de beneficio de oro y demás procesos industriales y productivos asociados que emplean mercurio.

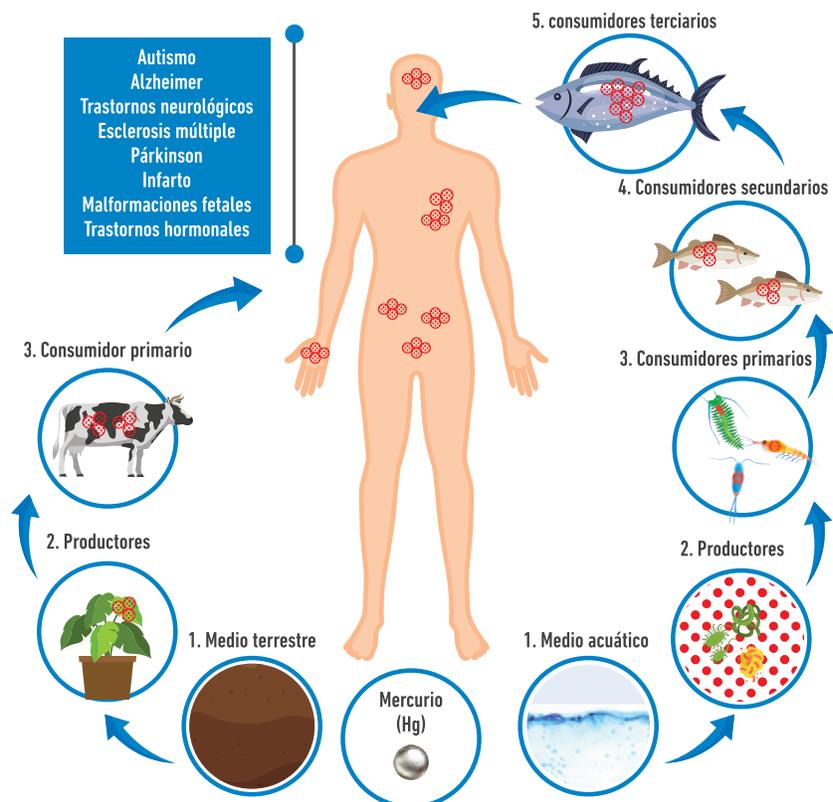
Parte del mercurio se encuentra en el ambiente en forma inorgánica (Hg^+ , Hg^{2+}) y como compuestos órgano-mercúricos, tales como el metilmercurio ($HgCH_3$) y el dimetilmercurio ($Hg(CH_3)_2$), que son las formas orgánicas más tóxicas. En la corteza terrestre se halla en minerales como la corderoíta ($Hg_3S_2Cl_2$), la livings-tonita ($HgSb_4S_7$), la montroidita (HgO), el calomel ($HgCl$) y el cinabrio (HgS), a partir de los cuales se puede extraer el mercurio por calentamiento de la masa y condensación de los vapores, para posteriormente emplearlo en actividades antrópicas (Gaona, 2004).

En minería, la disposición de colas de procesos de amalgamación puede contaminar fuentes de agua subterráneas y superficiales, como lo indican Barringer et al. (2005). Después de la lixiviación del mercurio, Foucher et al. (2013) cuantificaron concentraciones de hasta 150 $\mu g/L$ en el agua subterránea de la base del relave y de 60 $\mu g/L$ en el agua superficial, valores que sobrepasan los valores admisibles para consumo humano empleando tratamientos convencionales (0,002 mg/L), así como para uso pecuario (0,01 mg/L) y para la preservación de especies de fauna y flora (0,01 mg/L) (Minsalud, 1984).

Dadas sus características físico-químicas, el mercurio puede transformarse y circular en el ambiente, lo que se conoce como ciclo de mercurio, representado en la (figura 7.3).

Figura 7.3. Representación de la bioacumulación y biomagnificación: (1) productores primarios como plancton y zooplancton en contacto con metilmercurio presente en sedimentos; (2) consumidores primarios que se alimentan de los productores primarios, ingreso del mercurio a su metabolismo; (3) peces de mayor tamaño consumen a los consumidores primarios y la concentración de mercurio aumenta; (4) consumidores terciarios consumen a los secundarios contaminados con mercurio, aumentando la concentración de este; (5) el ser humano consume el pez, consumidor terciario, y el mercurio se concentra más, provocando efectos en su organismo

Inicialmente, el vapor de mercurio se convierte en formas hidrosolubles, que hacen que llegue a la corteza con el agua lluvia. Aquí, este metal se reduce y regresa como vapor o se deposita en los sedimentos. En la segunda etapa del ciclo, cierto tipo de microorganismos dan lugar a una reacción de metilación, en la cual se logra la adición de uno o más grupos de metilos que transforman el mercurio elemental en metilmercurio, forma en la que puede ingresar a la cadena trófica. El mercurio orgánico es captado por el plancton, que lo vuelve disponible para los organismos del sistema, de ahí la posibilidad de que este elemento se bioacumule, bioconcentre y biomagnifique (Programa Nacional de Riesgos Químicos, 2007).



Las propiedades e interacciones biológicas del mercurio varían en cada estado fisicoquímico, y cada uno tiene propiedades tóxicas diferentes (Ramírez, 2008), pero, en general, la exposición al mercurio se asocia con efectos nocivos sobre la salud, determinados por factores como la dosis, la edad del paciente, la duración de la exposición y la vía de ingreso al organismo. Entre esos efectos están infartos, autismo, fibromialgias, fatiga, lupus, demencia, párkinson, alzhéimer, esclerosis múltiple, malformaciones fetales y trastornos neurológicos, metabólicos, hormonales, renales y dermatológicos (OMS, 2013).

Se han realizado muchos esfuerzos a escala mundial para reducir la exposición al mercurio y lograr que sea eliminado de las actividades antropogénicas, por poner en riesgo la salud y el ambiente. En este sentido, en Colombia, la eliminación del mercurio en la minería es un paso fundamental para ratificar el compromiso de la nación con los objetivos del Convenio de Minamata, y así sumar esfuerzos colectivos en favor de la humanidad y el planeta. De ahí la expedición de la Ley 1658 de 2013 (Minambiente, 2013) y la formulación del Plan Único Nacional de Mercurio, iniciativa de los ministerios de Minas y Energía, de Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible, de Salud y Protección Social, y el Ministerio de Trabajo, Agricultura y Desarrollo Rural.

7.2.1.2. BIOACUMULACIÓN Y BIOMAGNIFICACIÓN

La bioacumulación es la capacidad de los organismos de acumular selectivamente contaminantes en sus tejidos a partir de las concentraciones existentes en el medio en que habitan (Waldichuk, 1980). El mercurio, en su forma orgánica más tóxica (metilmercurio, $HgCH_3$), se puede bioacumular hasta un millón de veces a lo largo de la cadena trófica acuática, debido a su habilidad para cruzar membranas celulares (Baeyens et al., 2003; Kehrig et al., 2017).

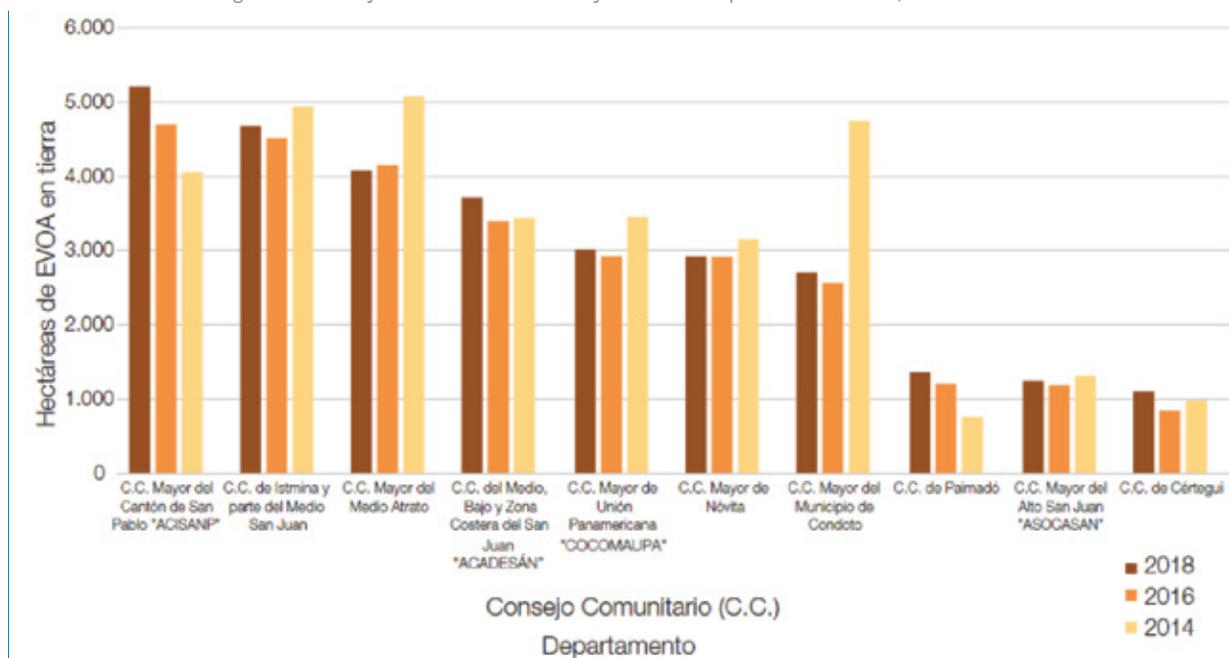
Es así como surge el concepto de biomagnificación, que se produce por el incremento de la concentración química de un metal a medida que se escala en la cadena trófica (figura 133). Así, un compuesto es más tóxico en los niveles más altos de la cadena debido a la acumulación progresiva del mismo (Bifani, 1999). No solo el mercurio tiene la capacidad de bioacumularse y biomagnificarse; metales como cadmio, plomo, zinc, cobre y cromo, y metaloides como el arsénico, también pueden ingresar al metabolismo de los seres vivos y traer consigo efectos desfavorables para el desarrollo de sus funciones vitales.

7.2.1.3. MINERÍA ALUVIAL

En el campo de la minería se emplean diversos métodos de explotación de metales preciosos, los cuales se emplean según la mineralogía de la zona de interés, pudiendo clasificarse como minería de cielo abierto, subterránea, de materiales de arrastre y de aluvión. En el método de aluvión se aplican varias técnicas, desde las artesanales, como el barequeo o concentración en batea, el uso de canalones y guaches (también se conocen el mazamorreo y la técnica de zambuyidero), hasta el uso de maquinarias como retroexcavadoras, dragas, malacates, motobombas, planchones, entre otras, que poco a poco van dominando la extracción aluvial (OPT-CRPC, 2018).

En el departamento del Chocó se aplica la minería aurífera de terrazas aluviales, la cual tiene un antecedente artesanal, aunque en busca de la productividad y un mejor aprovechamiento los mineros han implementado sistemas tecnificados para mejorar la eficiencia del proceso. Esto ha generado un impacto ambiental negativo en los yacimientos, principalmente en la dinámica fluvial de los ríos afectados, donde ha cambiado la calidad del agua, reportándose altos niveles de sedimentación en las cuencas hidrográficas como producto de la actividad minera (CC, Sentencia T-445, 2016). Según un estimado, la minería de aluvión, para producir 1 g de oro, requiere mover 12 m³ de material aluvial, utilizando 34 m³ de agua y, en caso de utilizar amalgamación, se emplean 2 g de dicho metal (Sánchez, 2010), además de que hay que considerar también los daños generados por la remoción de la capa vegetal, que ocasionan erosiones progresivas y cambios en la flora y la fauna (OPT-CRPC, 2018).

Figura 7.4. Consejos comunitarios con mayor afectación por EVOA en tierra, 2014-2016-2018



Fuente: (UNODC, 2019)

7.2.2. TIPOS DE MUESTRAS Y ANÁLISIS QUÍMICOS A APLICAR

Como información base en la aplicación y desarrollo de las metodologías químicas y ambientales enfocadas para cada zona estudiada, se estructura un diagrama de flujo (figura 7.5) que contiene específicamente los análisis realizados para las plantas (cabezas de proceso, colas de proceso, relaves, vertimientos) y fuentes hídricas visitadas (aguas superficiales, sedimentos activos). Los sedimentos activos, los relaves, el material de cabeza de proceso y las colas de proceso, se analizan por fluorescencia de rayos X (FRX) con el objetivo de conocer la composición elemental de estas muestras y se realiza una caracterización elemental de los granos de oro empleando la técnica de microfluorescencia de rayos X. También se determina la concentración de oro, plata entre otros metales pesados por absorción atómica incluyendo además los vertimientos. Por lo demás, a los relaves y sedimentos se les realiza pruebas ambientales para: determinar su toxicidad por concentración de metales, entre los que se encuentra el mercurio.

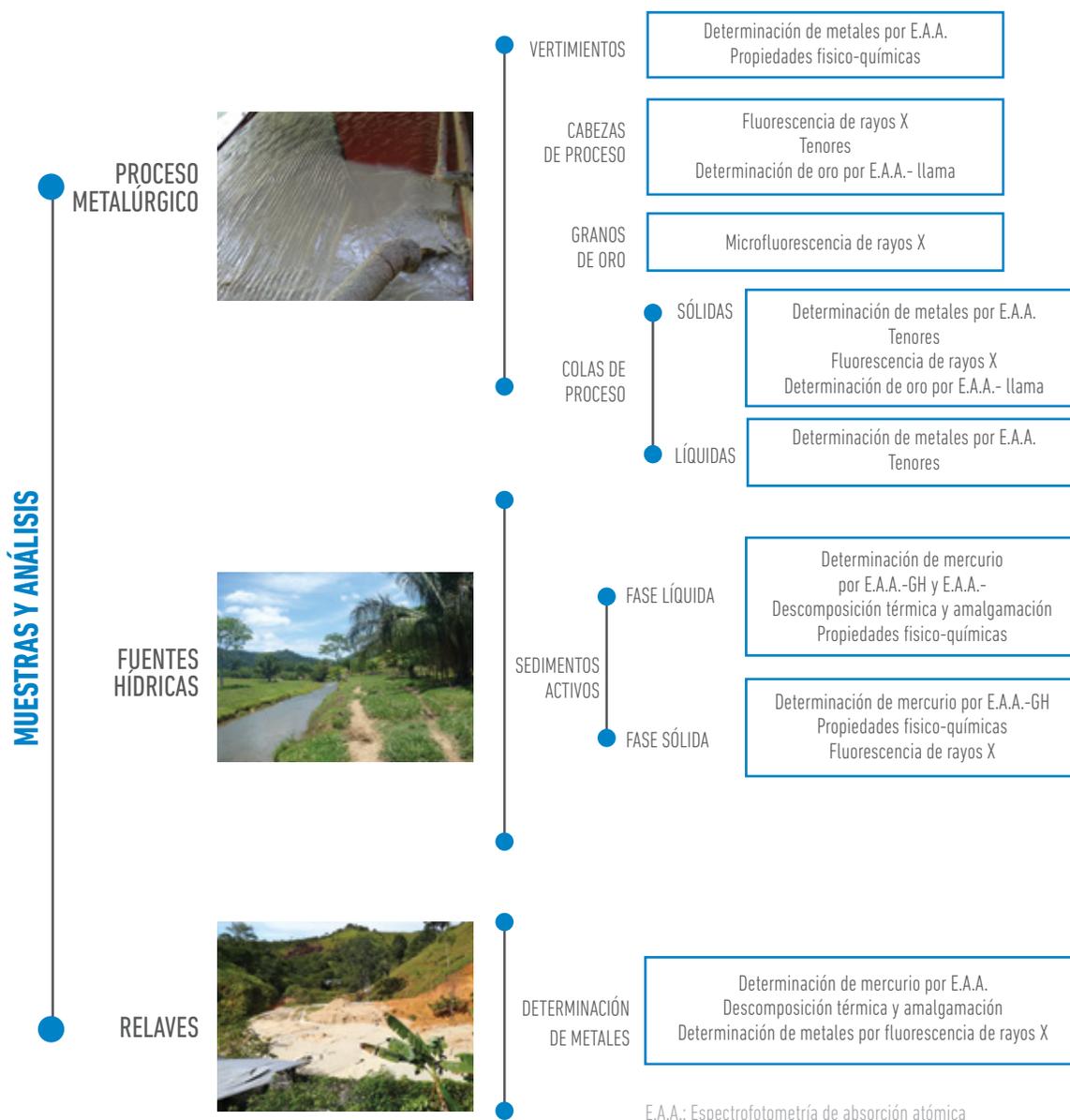
7.2.2.1. SEDIMENTOS ACTIVOS

Una de las muestras de interés ambiental son los sedimentos activos que, geológicamente, son partículas de suelo, rocas, minerales y materiales terrestres arrastrados por aguas de escorrentía durante procesos erosivos, las cuales se acumulan en cuencas de sedimentación o en los cauces de los cuerpos de agua.

Los sedimentos activos funcionan como reservorios de metales pesados originados por actividades antropogénicas, y actúan como fuentes secundarias de la contaminación de cuerpos de agua, afectando la biota acuática y deteriorando la calidad del recurso hídrico; de ahí la importancia de aplicar la técnica de absorción atómica para la determinación de mercurio y de otros metales tóxicos que son foco del estudio ambiental, según la composición mineralógica del sedimento, determinado por fluorescencia de rayos X.

Los sedimentos activos muestreados se analizan en relación con el cuerpo de agua que está en contacto con ellos, pues determinados parámetros fisicoquímicos, como el pH, tienen una gran incidencia en la movilidad y biodisponibilidad de los metales pesados, facilitando la disolución de los mismos en el cuerpo de agua y promoviendo su transporte a lo largo del cauce (Herrera Núñez et al., 2013).

Figura 7.5. Tipos de muestras y análisis químicos y ambientales a aplicar



7.2.2.2. RELAVES O COLAS DE PROCESO

Según SNGM/Minminas (2019), un relave es un sólido constituido por rocas molidas y agua que se descarta de operaciones mineras y cuya toxicidad aparece cuando las reacciones con el agua y la atmósfera solubilizan elementos tóxicos para el ser humano y el ambiente, tales como arsénico, cianuro, cobre, cinc, plomo, mercurio, cromo, cadmio, entre otros, los cuales pueden transportarse hasta fuentes de agua y afectar el suelo.

Según el proceso de extractivo del oro en las plantas de procesamiento, los relaves pueden contener concentraciones apreciables de mercurio peligroso para el ambiente, y según la composición mineralógica de la zona, es posible encontrar diferentes sulfuros polimetálicos, que por disolución oxidativa pueden generar drenaje ácido de minas (DAM), con lo cual se facilita la movilidad de metales pesados (Olías y Nieto, 2015).

7.2.2.3. AGUAS SUPERFICIALES

Las aguas que se encuentran en la superficie terrestre (quebradas, ríos y riachuelos) son de especial interés en el estudio ambiental debido a su uso para consumo humano, la recreación, la navegación, y como fuentes de abastecimiento para actividades domésticas, agrícolas y pecuarias, de manera que su estado es fundamental para garantizar condiciones de bienestar para los seres humanos y demás especies vivientes que aprovechan este recurso para el desarrollo de sus funciones vitales.

Las muestras de aguas superficiales se toman en puntos de la fuente en los cuales se estima la influencia de la actividad minera, tanto como en puntos donde no hay afectación por parte de estos procesos. Se determina el pH *in situ* y en el laboratorio se hace el análisis de mercurio, con el fin de establecer de qué manera esta actividad antropogénica modifica las condiciones ambientales propicias para el desarrollo normal de la vida cuando existen concentraciones apreciables de los analitos mencionados.

7.2.2.4. VERTIMIENTOS

Las actividades desarrolladas en una planta de beneficio de oro requieren el uso de agua para llevar a cabo los distintos procesos definidos en la ruta metalúrgica que empleen.

El análisis de vertimientos se realiza con el fin de cuantificar, por espectrofotometría de absorción atómica, la concentración de mercurio presente en las muestras, dado que este elemento se considera un compuesto altamente contaminante, pues presenta baja biodegradabilidad y genera efectos tóxicos al ser humano y a los ecosistemas, donde se ha incrementado su concentración a causa de las modificaciones de su ciclo geoquímico (Castro Sanguinetti, 2011; Núñez-Avellaneda et al., 2014).

Finalmente, se analizan también metales como hierro, cobre, níquel, plomo, plata, cadmio y cromo y oro, por espectrofotometría de absorción atómica, para correlacionarlos con los procesos metalogénicos de la zona o con los de extracción del oro, y con las implicaciones ambientales que llevan consigo.

7.2.3. FUNDAMENTOS TEÓRICOS QUÍMICOS: MÉTODOS Y APLICACIONES QUÍMICAS Y AMBIENTALES

Debido a que el objetivo central de este estudio estará enfocado en el aprovechamiento geometalúrgico de minerales y la eliminación del mercurio en la minería colombiana, se hace necesario el uso de diversas técnicas químicas, clásicas e instrumentales, que permitan obtener información de la zona de estudio visitada, como punto de partida para poder ofrecer alternativas que permitan mejorar los procesos de beneficio de oro en el departamento del Chocó. De acuerdo con lo anterior, y para una mejor comprensión de los resultados y aportes en este estudio, se resumen algunos conceptos técnicos y científicos aplicados.

El reconocimiento de la importancia de los recursos ambientales es precisamente lo que permite evaluar la dimensión del impacto que genera la actividad minera en su entorno, por el manejo inadecuado de esta, lo que deriva en la necesidad de realizar una estructura particular de estudios químico-ambientales, con aportes desde perspectivas metalúrgicas y geológicas, para identificar si los efectos por agentes contaminantes pueden ser atribuidos a las actividades de beneficio o a la naturaleza de la formación geológica en los depósitos.

7.2.3.1. APLICACIÓN DE LA ESPECTROMETRÍA DE FLUORESCENCIA DE RAYOS X

Es una técnica no destructiva que emplea una cantidad pequeña de muestra sólida (suelos, sedimentos activos, rocas, arenas y metales, entre otros) para determinar el contenido de varios elementos en una misma lectura. Esto permite generar una especie de mapa de la composición química del material en fase sólida.

La espectrometría de fluorescencia de rayos X (FRX) tiene su fundamento en la interacción existente entre los rayos X y la materia (figura 7.6), específicamente debida a la respuesta de un material que luego de ser irradiado y excitado por rayos X se reordena, emitiendo una radiación llamada fluorescencia de rayos X, que aporta información del contenido de elementos en cada una de las muestras analizadas (Skoog et al., 2001).

Las muestras sólidas pueden ser rocas, sedimentos activos, relaves, cabezas de proceso, productos intermedios y material de rechazo, siempre que en el momento del análisis dichas muestras estén pulverizadas (por debajo de los 75 micrones), para depositar de 2 g a 5 g en un portamuestras.

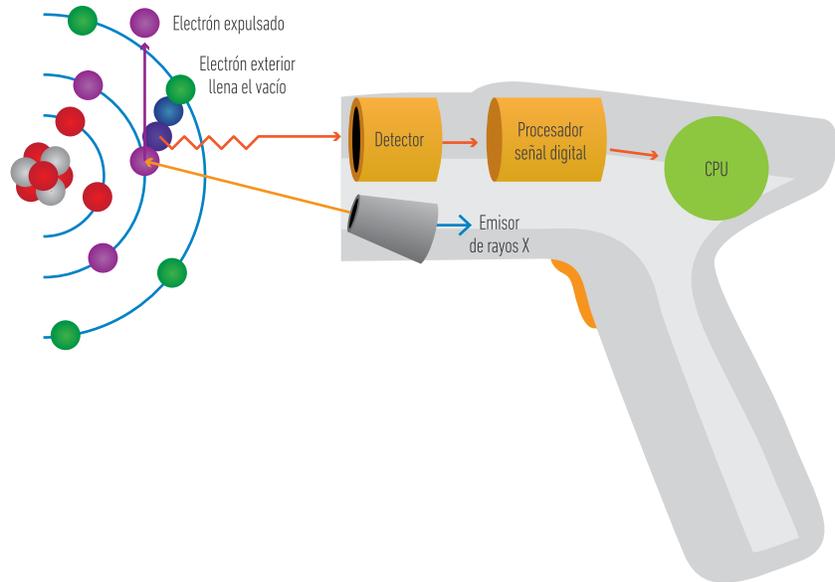
Posteriormente se realiza el análisis, haciendo uso del equipo de FRX, en una de dos formas: en modo minería, cuando se desea determinar elementos que se encuentran mayoritariamente, por lo general por encima del 1% másico, y en modo suelos, para analizar trazas o elementos minoritarios en partes por millón.

7.2.3.2. APLICACIÓN DE LA ESPECTROMETRÍA DE MICROFLUORESCENCIA DE RAYOS X

La microfluorescencia de rayos X (μ FRX) es una técnica de análisis elemental que permite el examen de áreas de muestra muy pequeña y localizada. A diferencia de la FRX convencional, la μ FRX utiliza la óptica de rayos X para restringir el tamaño del haz de excitación, o para enfocar el haz de excitación en un pequeño punto en la superficie de la muestra, de forma que se puedan analizar pequeñas zonas de la misma. Para ello, se utiliza óptica capilar para focalizar los rayos X y poder alcanzar una resolución espacial para composición elemental de hasta 10 μ m. La fluorescencia emitida por la muestra es capturada en el detector, y luego procesada y traducida a información sobre la composición elemental.

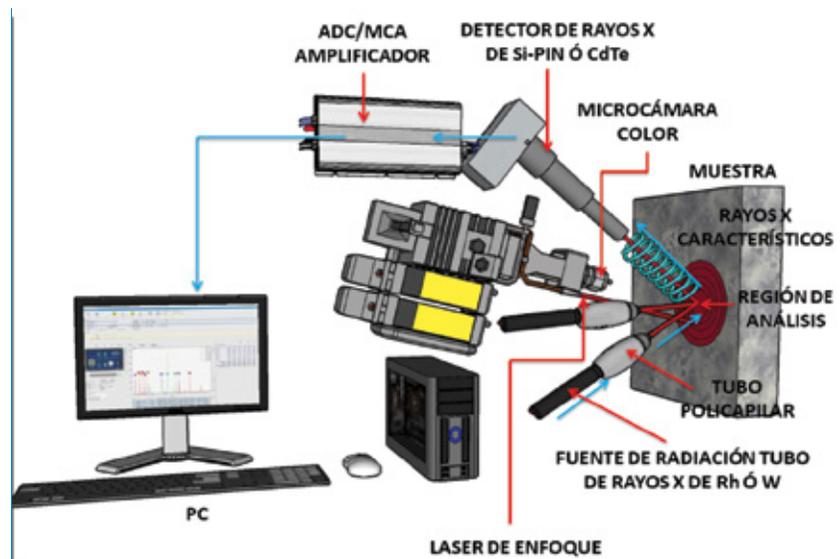
Esta técnica permite al usuario la realización de análisis rápidos y, además, tiene la ventaja de analizar gran variedad de formas y tamaños de muestra, pudiendo obtener distribuciones espaciales de elementos (mapping). Se aplica como análisis elemental de

Figura 7.6. Fluorescencia de rayos X



Fuente: Modificado a partir de Thermo, 2015.

Figura 7.7. Sistema del equipo de microfluorescencia de rayos X.



muestras heterogéneas, regulares o irregulares, así como de muestras pequeñas o inclusiones, permitiendo detectar y analizar todo un rango de elementos, desde el carbono hasta el americio. Para ello se utiliza un sistema compuesto por dos detectores de deriva de silicio de gran superficie, con ventana de elementos superligeros, y un tubo de rayos X de rodio, con un enfoque fino opcional de punto que va desde 4,5 μm hasta 500 μm (figura 7.7).

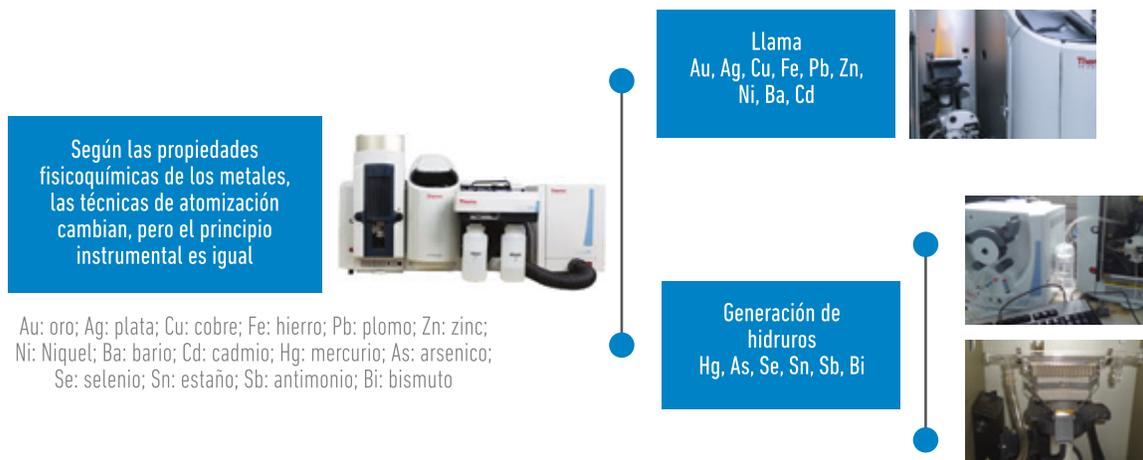
Por otra parte, las bases de datos de minerales incluidas en el software AMICS son una herramienta para ayudar a la identificación de los minerales presentes en las muestras colectadas; para esta opción es recomendable el conocimiento previo de mineralogía esperada en cada muestra.

Esta técnica también permite la obtención de mapas elementales por escaneo de toda un área de muestra analizada.

7.2.3.3. APLICACIÓN DE LA ESPECTROFOTOMETRÍA DE ABSORCIÓN ATÓMICA

Para realizar la determinación de metales (Au, Cu, Zn, Ag, Cr, Pb, Cd, etc.) por absorción atómica de llama es necesario tener las muestras libres de posibles interferentes, tales como materia orgánica o material particulado. Para lograr estas condiciones, y con el objeto de liberar los metales de la matriz manteniéndolos en solución, se debe realizar el tratamiento previo de las muestras, mediante la aplicación de los procedimientos adecuados de preparación, digestión y preservación. Estos tratamientos se realizan según el tipo de matriz.

Figura 7.8. Técnica de espectrofotometría de absorción atómica



Fuente: modificado Thermo, 2015.

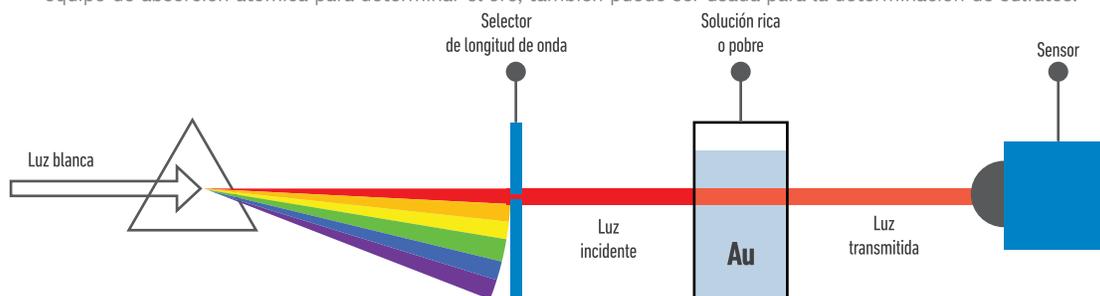
El mercurio también es medido con esta técnica, pero este análisis se realiza en ausencia de llama, debido a la fácil volatilidad del elemento cuantificado. Esta metodología se denomina de absorción atómica-generación de hidruros. Generalmente, las muestras provienen de diversos orígenes, pero las más frecuentes son las muestras de aguas, efluentes, rocas, suelos, etc. Como todas las matrices varían, los resultados son diferentes en su composición intrínseca y en su respuesta al tratamiento previo de adecuación a la medición por llama.

7.2.3.4. APLICACIÓN DE LA TÉCNICA DE ESPECTROFOTOMETRÍA DE ULTRAVIOLETA VISIBLE

El principio de la espectrofotometría ultravioleta visible involucra la absorción de radiación ultravioleta visible por una molécula, lo cual causa la promoción de un electrón de un estado basal a un estado excitado,

con la liberación del exceso de energía en forma de calor. La longitud de onda (λ) comprende entre 160 nm y 800 nm.

Figura 7.9. La técnica instrumental de ultravioleta visible es una alternativa de medición cuando no se cuenta con el equipo de absorción atómica para determinar el oro, también puede ser usada para la determinación de sulfatos.



De acuerdo con la 7.14, la técnica requiere de un equipo ultravioleta visible, el cual cuenta con una fuente de luz blanca que atraviesa un prisma para desdoblarse y generar las distintas radiaciones que existen en el espectro visible, refiriéndose a aquellas que pueden ser percibidas como colores; es así como se puede seleccionar la longitud de onda de la radiación requerida para el análisis, la cual impactará al analito en la muestra, de modo que este absorbe parte de la energía seleccionada, ocasionando que la radiación resultante en el sensor sea disminuida y cuantificada, para interpretar por medio de cálculos la cantidad absorbida por el analito o la muestra.

Entre sus múltiples aplicaciones, esta técnica instrumental es utilizada para la determinación de sulfatos, a través de la oxidación de todas las formas de azufre, como pueden ser los sulfuros provenientes de minas, a sulfatos en disolución acuosa, que posteriormente se cuantifican por medio de la adición de cloruro de bario y la formación de sulfato de bario (de apariencia lechosa). Esta sal queda en suspensión e inicia luego su precipitación, permitiendo medir la opalescencia generada a 420 nm. El principio analítico de este procedimiento se basa en el método turbidimétrico, el cual parte del supuesto de que la dispersión de un rayo de luz, ocasionada por el precipitado de sulfato de bario, es directamente proporcional a la concentración de ión sulfato en la muestra (Ingeominas et al., 2010).

Otra aplicación que tiene esta técnica es el método colorimétrico para la determinación de oro (conocido como *púrpura de Cassius*), el cual es una alternativa de análisis instrumental cuando no se cuenta con espectrofotómetro de absorción atómica (AA), siendo aplicable en trabajo de campo.

7.3. GENERALIDADES

7.3.1. BIODIVERSIDAD EN EL DEPARTAMENTO DEL CHOCÓ

La biodiversidad o diversidad biológica, además de ser una expresión de vida en diferentes formas, es una característica natural que fomenta el bienestar y la calidad de vida de los seres humanos, razón por la que se debe garantizar que los beneficios ofrecidos por los servicios ecosistémicos se mantengan y preserven, dada su estrecha relación con la supervivencia humana (BRC, 2014).

La región colombiana del Chocó es reconocida mundialmente por su alta biodiversidad y su elevado grado de endemismo, es decir, de especies únicas en el mundo que solo existen en ese lugar, entre las cuales se encuentran plantas, mariposas y aves, siendo estas últimas de las más importantes para los ecosistemas, porque aproximadamente el 25 % de las especies aviares que allí habitan no se encuentran en ningún otro lugar del planeta.

De acuerdo con el Sistema de Información sobre Biodiversidad de Colombia, en el país se registraron 51 330 especies variadas, cifra que es cuantificada con al menos un registro por especie, ubicando a Colombia en el top 10 de países con mayor biodiversidad (SIB/COLOMBIA, 2019). En el departamento del Chocó se han encontrado registros de al menos 223 583 especies, entre las que se encuentran una variedad de 9905 que incluyen animales, plantas, algas, líquenes y hongos (SIB/COLOMBIA, 2019).

Fotografía 7.2. Biodiversidad de especies de fauna y flora del departamento del Chocó



En la región se han reportado 5976 especies de plantas vasculares, 206 de mamíferos, 188 de reptiles, 139 de anfibios, 793 de aves, 196 de peces de agua dulce, 176 de escarabajos y al menos 123 especies nativas de Colombia, únicas en el Chocó, pertenecientes a las familias: Rubiaceae, Orchidaceae, Melastomataceae, Piperaceae, Araceae, Asteraceae, Bromeliaceae, Fabaceae, Clusiaceae, Poaceae, Gesneriaceae, Euphorbiaceae, Arecaceae, Moraceae y Bombacaceae, entre otras (Valois y Martínez, 2016).

7.3.2. HIDROGRAFÍA DEL DEPARTAMENTO DEL CHOCÓ

El departamento del Chocó cuenta con unos de los sistemas hidrográficos más abundantes de Colombia, considerado como un sector húmedo con selvas de alta riqueza, diversidad y variedad de endemismos (Rangel y Rivera-Díaz, 2004), ya que en promedio presenta una humedad relativa del 80 % y una temperatura anual de 26 °C (Cuesta, 2016). Se caracteriza por su alta pluviosidad, con valores anuales entre 8 494 a 13 670 mm, la cual se localiza principalmente en las cuencas de los ríos San Juan y Atrato (municipios de Quibdó, Lloró y Bagadó) (Poveda, 2004); como dato adicional, se tiene que el municipio de Lloró es uno de los lugares con mayor precipitación del mundo (Eslava, 1992).

Figura 7.10. Relación de las zonas de estudios mineras visitadas por el SGC y las fuentes hídricas influenciadas por la actividad minera

ZONA VISITADA	VEREDA	AFLUENTE RECEPTOR DE ACTIVIDAD MINERA	RÍO PRINCIPAL	CUENCA
Mina Clidio Hurtado	Tapacundó	Quebrada Tapacundó Quebrada Lucas	Río Opogodó	Río San Juan
Planta AuVert	Espantamuertos	*****	*****	Río San Juan
Mina La Loma	Playa de Oro	Quebrada Taurá	Río Pureto	Río San Juan
Mina Carmelo	Carmelo	*****	Río Pureto	Río San Juan
Mina El Coco – San José	San Antonio	Quebrada San Antonio	*****	Río San Juan
Mina La Toma	La Toma	Quebrada Las Ánimas	Río Condoto	Río San Juan
Mina Santa Rita	La Toma	Quebrada Santa Rita	Río Condoto	Río San Juan
Mina Calo	Calo	*****	Río Cértegui	Río San Juan
Mina La Batea	La Batea	- Quebrada Casaquemada - Quebrada La Regadera	Río Cértegui	Río San Juan

Entre los principales sistemas fluviales se encuentran las cuencas de los ríos Atrato, Baudó y San Juan, de los cuales, solo el último representa un aporte del 24,5 % (en un área aproximada de 15 858 km²) del total de la macrocuenca del Pacífico (UNODC, 2016), además de que concentra el mayor riesgo de afectación por los flujos de sedimentos a través de los afluentes hídricos, en función del área con EVOA (explotación

de oro de aluvión), principalmente por la actividad de los municipios de Istmina, Medio San Juan, Nóvita, Condoto y Tadó. En estas regiones, la minería se practicaba originalmente por barequeo, pero actualmente se han introducido sistemas mecanizados, como las dragas, generando un mayor impacto en la parte alta y media del río, donde diariamente se arrojan cargas de 4400 toneladas de sólidos y aguas contaminas por las sustancias químicas y los residuos de las maquinarias (CC, Sentencia T-445, 2016).

El uso de métodos agresivos ambientalmente para la extracción de metales preciosos, como el oro y el platino (fotografía 7.3), desencadenan una vulnerabilidad de orden creciente en la cuenca del río San Juan, lo que se traduce en el desequilibrio de sus ecosistemas, conllevando a la pérdida en su biodiversidad y en el bienestar de las comunidades relacionadas.

Fotografía 7.3. Métodos agresivos para la extracción metalúrgica: (a) excavación con minidraga de succión bajo el agua; (b) canaletas de recuperación; (c) guaches o métodos de explotación por apiques; (d) extracción por medio de elevadores y bombas; (e) remoción y extracción con retroexcavadora



7.3.3. ACTIVIDAD MINERA EN EL DEPARTAMENTO DEL CHOCÓ EN RELACIÓN CON LA SOCIEDAD Y EL MEDIO AMBIENTE

La actividad de minería en el departamento del Chocó se ha desarrollado históricamente y ha sido una fuente de trabajo para las comunidades que allí habitan, a pesar de que las condiciones actuales bajo las cuales se están desarrollando las actividades de extracción de metales como el oro y el platino, así como los conflictos socio-ambientales que confluyen alrededor de la minería, están vulnerando los derechos de las comunidades étnicas afrodescendientes, debido a la presión ejercida sobre su patrimonio ambiental, la fragmentación de su tejido social, la falta de capacidad de actuación de las entidades departamentales y el conflicto armado presente en muchas zonas del departamento, además de la disputa entre diferentes actores por el control territorial y sobre los bienes ambientales (Otálora et al., 2016). Entre las múltiples afectaciones se pueden nombrar: pérdida del cauce del río, sedimentación, deforestación, pérdida de especies, afectación a todo el ecosistema, pérdida de diversidad y contaminación con mercurio, entre otras (González, 2019).

7.4. IMPACTOS AMBIENTALES ASOCIADOS A LA PRÁCTICA DE LA MINERÍA DE ALUVIÓN

La actividad minera desarrollada en ríos produce impactos negativos sobre el ambiente en los procesos de transporte de sedimentos, en las complejas relaciones que se dan entre todas las formas de vida que habitan en la zona y sobre el bienestar de las comunidades humanas que allí se asientan. La minería de aluvión en el Chocó evidencia afectaciones, no solo por el uso de maquinaria que destruye los ecosistemas, sino también por el uso de metales pesados como el mercurio, empleado históricamente.

La minería de aluvión tecnificada genera diferentes impactos de carácter más agresivo que los de la minería artesanal, debido a que el uso de maquinaria va dejando a su paso los ríos sin la capa vegetal protectora, además de pozos y montículos que alteran la capacidad hídrica y de movilidad del río.

Toda esta afectación engloba los daños ocasionados al recurso hídrico, al suelo y a los recursos geomorfológicos, en la medida en que se modifican los lechos de los ríos y se altera su curso, se generan cambios en el microclima de la cuenca y se producen sólidos en suspensión que aumentan la turbidez de las fuentes hídricas de influencia, restringiendo sus otros posibles usos.

Adicionalmente, existe contaminación en el ambiente debido a los vertimientos, tanto de la actividad extractiva como del residuo de maquinarias, que contienen metales pesados como mercurio. Estas problemáticas ambientales conllevan a la afectación sobre la fauna y flora acuáticas y terrestres (OPT-CRPC, 2018).

A continuación, se detallan los impactos ambientales ocasionados sobre el componente biótico y abiótico, las alteraciones a las dinámicas geológicas y la contaminación por mercurio.

7.4.1. IMPACTOS FÍSICOS EN LOS COMPONENTES BIÓTICO Y ABIÓTICO

La naturaleza del proceso extractivo incluye la remoción de material vegetal y transporte mecanizado de sedimentos, lo cual afecta directamente a la biodiversidad y los ecosistemas, puesto que la eliminación de la cobertura vegetal significa la destrucción del hábitat de especies de mamíferos, aves, anfibios y reptiles, que dependen de las plantas para su subsistencia, influyendo negativamente sobre sus procesos de reproducción y desarrollo y sobre toda la cadena trófica, alterada a tal punto que se puede producir la eliminación definitiva de especies nativas (Ruiz y López, 2015).

Un componente importante que también se puede abordar es el paisajístico, dado que durante y después del periodo de extracción es posible observar una clara degradación de los valores ecológicos y estéticos, que se refleja sobre el suelo, agua, fauna y flora. Los cambios geomorfológicos y del paisaje (modificación del relieve, alteración del color, ruptura de la cuenca visual, introducción de formas extrañas), provocan igualmente cambios en la hidromorfología y la hidrodinámica, que a su vez ocasionan la contaminación de fuentes hídricas como ríos y quebradas (Yasno, 2014).

7.4.2. ALTERACIÓN DE LAS DINÁMICAS ECOLÓGICAS

El equilibrio natural de un ecosistema se ve ampliamente alterado por la remoción del suelo y de la vegetación, de manera que ocurren afectaciones sobre los factores abióticos. Un efecto para mencionar es el aumento en la proporción de sólidos en suspensión en el agua, aumentando la turbiedad de esta, lo que podría conllevar al bloqueo de las estructuras respiratorias de especies acuáticas y a la inhibición de

la fotosíntesis de plantas acuáticas a causa de la disminución de la radiación solar en el agua (Padmalal y Maya, 2014).

Otro efecto importante es que, al eliminarse la cobertura vegetal, no solo los animales pierden su hábitat, sino que también se altera la temperatura del agua debido a que está más expuesta a los rayos del sol, generando impactos negativos sobre los organismos acuáticos y causando inestabilidad y desequilibrio sobre el ecosistema.

7.4.3. EROSIÓN DEL SUELO

La pérdida de suelo en zonas mineras a cielo abierto o de aluvión permite procesos de erosión que reducen la productividad, al tiempo que afectan la estabilidad ambiental, en especial de la capa vegetal, e impactan la regulación hídrica tanto en ecosistemas como a nivel de las unidades geográficas de cuencas. Las maquinarias empleadas en el proceso de extracción de oro de los ríos remueven gran cantidad de sedimentos y de plantas que se ubican en las zonas ribereñas y fuera de estas, lo que conduce a una modificación en la morfología del margen del río, volviéndolo inestable.

La sobreexplotación de los minerales en el cauce de los ríos hace que el perímetro mojado, el radio y el perfil hidráulico cambien de forma considerable, sumando a ello la deforestación que provoca la pérdida de la estabilidad del suelo, la cual facilita el lavado de la tierra por precipitaciones, generando afectaciones ecológicas y sociales en cuanto se incrementa el riesgo de deslizamientos de tierra, crecientes súbitas e inundaciones que pueden afectar a las comunidades y a los cultivos de los cuales se obtiene el alimento. En la figura 7.11 se presenta un esquema de cómo la erosión del suelo causada por la práctica minera de aluvión repercute sobre el ambiente (Otálora et al., 2016).

Figura 7.11. Ilustración del impacto ocasionado por la erosión del suelo



7.4.4. CAMBIOS EN LA DINÁMICA FLUVIAL

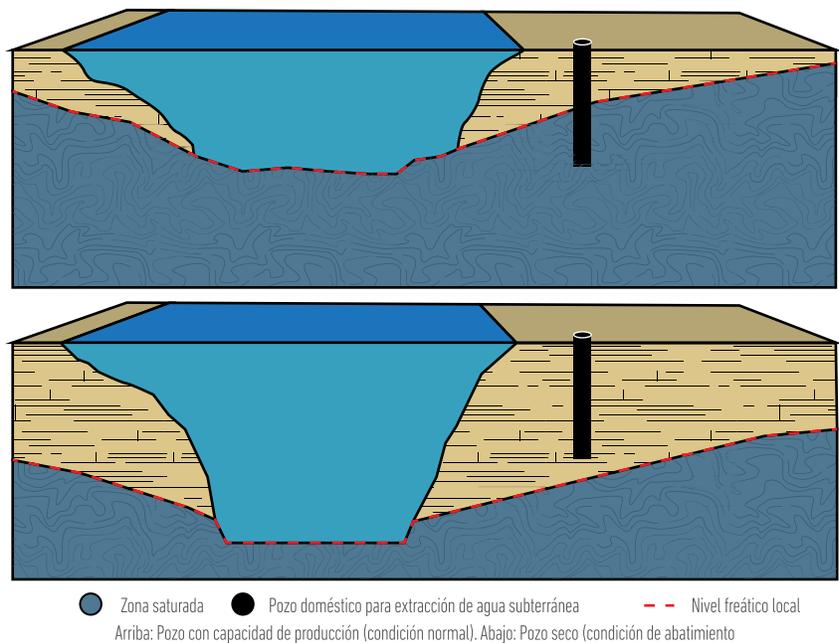
La acción llevada a cabo por las maquinarias que se conocen en campo como dragones tiene una significativa influencia negativa sobre la dinámica de las fuentes hídricas superficiales. La remoción del material modifica parámetros como la velocidad y dirección del flujo, y es posible que se generen flujos turbulentos, provocando la acumulación de material sobre ciertos puntos en los márgenes de los ríos y erosión en otros.

Los cambios en las dinámicas fluviales afectan también a la población, en tanto se disminuye la capacidad hidráulica para la navegabilidad de los ríos, y repercuten sobre la actividad de pesca, dado que existe una reducción significativa de peces con potencial alimenticio para el ser humano.

Dentro de los cambios en la dinámica fluvial se encuentran también los efectos sobre las aguas subterráneas, puesto que la remoción del lecho del río provoca una velocidad mayor de erosión del mismo, disminuyendo el nivel freático de zonas aledañas al cauce hasta el punto de desecar los pozos de aguas que yacen al interior de la tierra, fenómeno que se ilustra en la figura 7.12.

Finalmente, es necesario considerar que las dinámicas fluviales tienden a alterarse por el vertimiento de aguas residuales domésticas y de los procesos de extracción y beneficio de oro, conllevando a la disminución de la calidad del recurso dada la contaminación por materia orgánica y metales pesados tóxicos para el desarrollo de la flora y la fauna (Otálora et al., 2016).

Figura 7.12. Ilustración de la disminución del nivel freático debido al aumento en la velocidad de erosión del lecho de río



Fuente: Modificado de Otálora et al. (2016)

7.4.5. IMPACTOS POR LA SEDIMENTACIÓN Y TURBIEDAD DE LAS FUENTES HÍDRICAS EN TORNO A LA MINERÍA DE ALUVIÓN

Estudios han permitido identificar sedimentos activos en suspensión en cuerpos hídricos alterados por causa de actividades mineras de explotación de oro (UNODC, 2016), que en relación con la minería de aluvión se pueden relacionar de acuerdo al tipo de técnica usada, como se muestra a continuación:

7.4.6. ALTERACIÓN DE SEDIMENTOS POR MINERÍA DE BAREQUEO

Las arenas y gravas contenedoras de metales preciosos como el oro y el platino suelen ser extraídas por barequeo, una técnica tradicional que junto a técnicas de gravimetría y de saponificación permiten separar los metales preciosos de la jagua (arenas negras). Para este método se hace uso los cursos de agua más cercanos, encontrando una relación entre la técnica y el medio ambiente (Echavarría, 2019).

En cuanto a contaminación por remoción antropogénica, el barequeo por sí solo no tiene impactos durables sobre las corrientes de agua, debido a la dispersión de trabajos en áreas extremadamente grandes, de modo que los ríos reabsorben fácilmente el sedimento removido; sin embargo, un problema complejo se presenta en algunas regiones donde se hace uso de mercurio con el objetivo de mejorar la recuperación de oro, con lo cual no solo se expone la salud de la comunidad, sino que también se contaminan el agua, los sedimentos y los peces que son usados para la alimentación, motivo por el que en estas regiones se hace necesario aplicar nuevas técnicas libres de mercurio (Echavarría, 2019; Minambiente, 2012).

7.4.7. ALTERACIÓN DE SEDIMENTOS POR MINERÍA MECANIZADA

Desde que las motobombas y dragas se introdujeron en las zonas mineras, se ha permitido la extracción del mineral facilitando el arranque de material aluvial en el frente de explotación con el uso de un chorro

de agua a presión (monitor). Este sistema se usa para elevar el mineral del fondo de un frente de mina sumergido a la superficie y para llevar agua a áreas de lavado que puedan estar lejos de las corrientes de agua (Echavarría, 2019).

La introducción de estas motobombas ha significado el comienzo de la mecanización de la práctica del barequeo, mejorando la productividad de los mineros al aumentar la capacidad de extracción y de procesamiento mineral. Sin embargo, se han presentado impactos significativos sobre las aguas, pues se han cargado de sedimentos removidos a mayor escala que la del barequeo, lo cual ha afectado su calidad para otros usos, domésticos, recreativos y de navegación fluvial. Esto es consecuencia de que la carga sedimentaria excede la capacidad de auto-limpieza del curso de agua, generando la saturación por sedimentos removidos y causando impedimentos a la vida acuática, la flora y la fauna del río (Echavarría, 2019).

Además, la explotación aurífera que se lleva a cabo en el lecho de los ríos comprende las siguientes actividades: preparación y acceso a la zona, operación, beneficio o transformación del mineral, transporte del material y abandono (UNODC, 2016); cada una de estas actividades también genera un impacto ambiental sobre los cursos de agua, de ahí la importancia de realizar operaciones de calidad que reduzcan el impacto ambiental en la extracción de metales preciosos.

Para el entendimiento de estas actividades en el marco ambiental se hace necesario resaltar que la preparación y acceso a la zona es dependiente del tipo de terreno, de modo que se pueden encontrar dragas fijas, ancladas a tierra, o dragas móviles, que generan una mayor inestabilidad de elementos potencialmente perjudiciales para el medio ambiente. Luego, la operación de dragado explota el material de lecho de río, transporta sedimentos del río para beneficio y luego vierte el residual nuevamente al río, siendo por último difícil determinar sitios de minería abandonada, debido a que el residuo de sedimentos es retornado al mismo río, aunque si se agota el oro las máquinas se mueven a nuevas áreas de beneficio (UNODC, 2016).

A continuación, la figura 7.13 resume los efectos e impactos relacionados con las actividades sobre los sedimentos.

Figura 7.13. Relaciones entre actividades que hacen parte del proceso minero, efecto inmediato de las mismas y su impacto ambiental

ACTIVIDAD	EFEECTO	IMPACTO
Remoción de sedimentos riparios	Aumento de partículas disueltas en el agua	Degradación de ecosistemas y pérdida de hábitats
	Pérdida de capacidad natural para retener sedimentos en las márgenes del río	Reducción de estabilidad en las márgenes
	Pérdida de capacidad de captura de sustancias que ingresan al canal	Aumento de impactos antrópicos (vertimientos, derrames, etc.)
Redeposición de sedimentos en canales o zonas riparias	Cambios en las características de sedimentos (cantidad, granulometría, etc.)	Degradación de ecosistemas, pérdida de hábitats y afectación a fauna
Remoción vegetación riparia	Mayor exposición del agua superficial a radiación solar	Cambios en comportamiento de fauna y pérdida de hábitats
Remoción de terrazas	Modificación morfológica del cauce (creación de "Nick Points")	Erosión progresiva de márgenes aguas arriba
Deposición de sedimentos al interior del canal	Generación de depósitos de arena	Modificación de dirección y velocidad de flujo
Remoción de sedimentos del lecho	Profundización de canales	Aumento en la tasa de incisión y consecuente reducción de nivel freático local

Fuente: Modificado de OPT-CRPC (2018)

7.5. OPORTUNIDADES DE MEJORA EN EL MANEJO AMBIENTAL EN LA EXPLOTACIÓN ALUVIAL

El desarrollo de prácticas de minería aluvial debe contemplar la implementación de planes de manejo ambiental y proyección estratégica de la actividad productiva con el propósito de evitar, mitigar y corregir

los efectos ambientales ocasionados. En este sentido, se presentan algunas estrategias que contribuyen a cumplir el objetivo económico y ambiental.

7.5.1. EXPLOTACIÓN Y MOVIMIENTO DE MATERIALES

Para iniciar la explotación de una zona, es prioritario llevar a cabo una exploración del terreno para identificar la calidad del suelo, la biodiversidad presente, el estado de las fuentes hídricas y la definición de la aptitud aurífera de la zona. Una vez esto, el proyecto de explotación debe orientarse por áreas a desboscar, teniendo en cuenta los resultados de la exploración inicial, de manera que se evite el movimiento de material vegetal innecesario.

La masa boscosa debe ser depositada el costado de la zona a explotar y se debe evitar la quema de estos residuos, dado que el suelo pierde sus propiedades debido a las altas temperaturas, lo que limita la posibilidad de una futura revegetalización y recuperación de este recurso. Durante la fase de remoción de la capa vegetal, es fundamental que se acopien semillas de las especies arbóreas autóctonas para luego sembrarse.

La tierra aradable retirada normalmente con retroexcavadoras y volquetas, es recomendable que se ubique cercana al lugar de la explotación, de modo que este material, junto con los relaves, pueda ser aprovechado para cubrir los agujeros formados, una vez se complete el proceso extractivo y se haga el cierre de las minas.

7.5.2. TRATAMIENTO DE AGUAS

Para lograr la recuperación del oro se emplean altos volúmenes de agua, que sirven para lavar la grava y remover los granos de oro libre presentes, dejándolos disponibles. Como consecuencia se genera agua con un alto contenido de sólidos suspendidos, que no debe ser llevada a las fuentes hídricas, debido a los impactos antes mencionados. Lo que se sugiere es la creación de pozos profundos, en los cuales se almacene el agua residual y se lleve a cabo el proceso físico de sedimentación. De ser necesario, es posible diseñar varios pozos en los que se permita un flujo continuo, con periodos de residencia tales que permitan que, a medida que se avanza en el proceso de sedimentación, se mejore la calidad del agua en términos de sólidos y turbiedad.

7.5.3. CIERRE DE MINAS

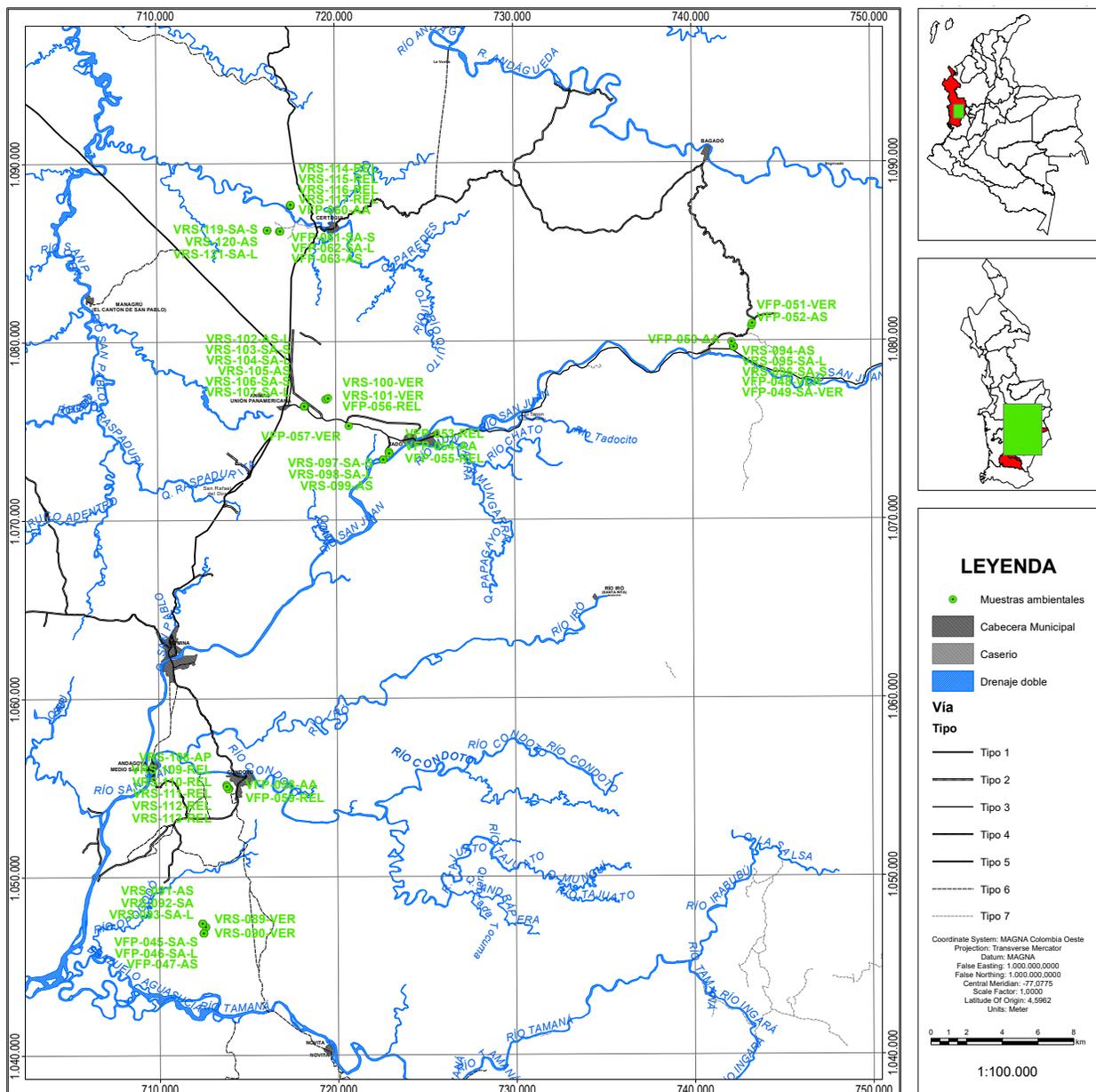
El cierre de las operaciones de minería aluvial es factible realizarlo progresivamente, dada la acumulación de relaves y de lodos, sumada a las altas precipitaciones que se dan en la zona del Chocó. En este sentido, es recomendable que las excavaciones que se hicieron durante la explotación vayan siendo rellenadas con el material de desmonte y los relaves, ubicándose de manera tal que no haya encharcamientos ni arrastre hídrico pluvial, por lo que hacer montículos es una buena opción.

Para lograr la recuperación del suelo, la reforestación es la opción más apropiada, la cual consiste en la siembra de especies capaces de desarrollarse y aportar materia orgánica y nutrientes al suelo. Según el contexto, se deben sembrar las semillas recolectadas en el proceso previo a la explotación, para contribuir con ello a la reconstrucción de los hábitats de muchas especies de fauna y flora autóctonas.

7.6. PUNTOS DE MUESTREO Y MUESTRAS PUNTUALES TOMADAS EN CAMPO

La visita de campo llevada a cabo en los diferentes sectores mineros de la zona suroriente del departamento del Chocó se desarrolló con el propósito de hacer una evaluación química y ambiental de forma general, a partir de las muestras tomadas en puntos específicos influenciados directamente por las actividades mineras de aluvión. A estas muestras se les cuantificó la concentración de mercurio, el contenido de metales pesados como posibles generadores de toxicidad, el potencial de generación de drenaje ácido y la concentración de oro en el material residual.

Figura 7.14. Puntos de muestreo ambiental



Las zonas de estudio (figura 7.14) comprenden los municipios de Condoto (particularmente las veredas de Tapacundó y Espantamuertos), Tadó (veredas de Playa de Oro, El Carmelo y San Antonio), Unión Panamericana (veredas de La Toma y Santa Rita) y Cértegui (veredas de Calo y La Batea).

En total se recolectaron 52 muestras (figura 7.15), las cuales fueron clasificadas en 9 muestras de sedimentos activos, 8 de aguas de sedimentos activos, 7 de vertimientos, 9 de agua superficial, 4 de humedales, 1 de agua de alimentación y 14 de relaves. Para la selección de los puntos muestreados se tuvieron en cuenta las fuentes hídricas influenciadas directamente por la extracción minera, con el objetivo de hacer seguimiento al ciclo ambiental, desde la actividad propia de la mineralogía en la zona hasta las alteraciones causadas por las diferentes fases de la explotación metalúrgica.

Figura 7.15. Descripción, identificación y localización de las muestras ambientales recolectadas en los municipios de Condoto, Tadó, Unión Panamericana y Cértegui, en el departamento del Chocó

COORDENADAS			MUNICIPIO	VEREDA	DESCRIPCIÓN
ESTE	NORTE	ALTITUD			
1045379	1046634	90	Condoto	Tapacundó	Vertimiento planta Clidio Hurtado
1045379	1046634	90	Condoto	Tapacundó	Fase sólida de vertimiento
1045190	1046832	57	Condoto	Tapacundó	Agua superficial quebrada Tapacundó (posterior)
1045190	1046832	57	Condoto	Tapacundó	Sedimento activo quebrada Tapacundó (posterior)
1045190	1046832	57	Condoto	Tapacundó	Agua de sedimento activo quebrada Tapacundó (posterior)
1045256	1046278	68	Condoto	Tapacundó	Sedimento activo quebrada Lucas mina Clidio Hurtado (posterior)
1045256	1046278	68	Condoto	Tapacundó	Agua de sedimento activo quebrada Lucas mina Clidio Hurtado (anterior)
1045256	1046278	68	Condoto	Tapacundó	Agua superficial quebrada Lucas mina Clidio Hurtado (anterior)
1074914	1079183	154	Tadó	Playa de oro	Agua superficial quebrada Taurá
1074914	1079183	154	Tadó	Playa de oro	Agua de sedimento activo quebrada Taurá
1074914	1079183	154	Tadó	Playa de oro	Sedimento activo quebrada Taurá
1074915	1079186	154	Tadó	Playa de Oro	Vertimiento de actividad minera, mina La Loma Nilo y Leonel a quebrada Taurá
1074913	1079194	160	Tadó	Playa de Oro	Fase sólida de vertimiento de mina La Loma Nilo y Leonel a quebrada Taurá.
1074803	1079492	190	Tadó	Playa de Oro	Agua de humedal – alimentación procesamiento en la mina La Loma Nilo y Leonel
1075914	1080389	124	Tadó	Carmelo	Vertimiento de actividad minera Carmelo al río Pureto
1075957	1080513	128	Tadó	Carmelo	Agua superficial, río Pureto anterior al vertimiento de Carmelo
1055305	1072852	81	Tadó	San Antonio	Sedimento activo quebrada San Antonio - El Coco
1055305	1072852	81	Tadó	San Antonio	Agua de sedimento activo quebrada San Antonio
1055305	1072852	81	Tadó	San Antonio	Agua superficial quebrada San Antonio
1055635	1073244	79	Tadó	San Antonio	Compost de relaves, mina El Coco - La Cantera San José
1055618	1073267	78	Tadó	San Antonio	Agua de humedal alimentación procesamiento en la mina El Coco - La Cantera San José
1055635	1073194	87	Tadó	San Antonio	Compost de relaves, mina El Coco - La Cantera San José
1052075	1076217	132	Unión Panamericana	La Toma	Vertimiento salida de pozo de sedimentación
1052075	1076217	132	Unión Panamericana	La Toma	Fase sólida de vertimiento salida del pozo de sedimentación
1050917	1075837	122	Unión Panamericana	La Toma	Agua superficial de la quebrada Las Ánimas (posterior)
1050917	1075837	122	Unión Panamericana	La Toma	Sedimento activo quebrada Las Ánimas (posterior)
1050917	1075837	122	Unión Panamericana	La Toma	Agua de sedimento activo quebrada Las Ánimas (posterior)
1050881	1075832	123	Unión Panamericana	La Toma	Agua superficial después de vertimiento Las Ánimas
1050881	1075832	123	Unión Panamericana	La Toma	Sedimento activo quebrada Las Ánimas (anterior)
1050881	1075832	123	Unión Panamericana	La Toma	Agua de sedimento activo quebrada Las Ánimas (anterior)
1052220	1076284	126	Unión Panamericana	La Toma	Compost de colas sector mina La Toma
1053368	1074743	118	Unión Panamericana	Santa Rita	Vertimiento proceso de beneficio en canalones de la mina Santa Rita
1046529	1054601	83	Condoto	Espantamuertos	Agua de pozo
1046654	1054407	94	Condoto	Espantamuertos	Relave 1, AuVert
1046656	1054401	88	Condoto	Espantamuertos	Relave 2, AuVert

Figura 7.15. Descripción, identificación y localización de las muestras ambientales recolectadas en los municipios de Condoto, Tadó, Unión Panamericana y Cértegui, en el departamento del Chocó

ESTE	COORDENADAS		MUNICIPIO	VEREDA	DESCRIPCIÓN
	NORTE	ALTITUD			
1046661	1054396	82	Condoto	Espantamuertos	Relave 3, AuVert
1046643	1054393	78	Condoto	Espantamuertos	Relave 4, AuVert
1046654	1054379	77	Condoto	Espantamuertos	Relave 5, AuVert
1046551	1054512	77	Condoto	Espantamuertos	Agua de alimentación proceso en planta de beneficio AuVert, recirculada entre clarificador y humedal
1046555	1054501	79	Condoto	Espantamuertos	Compost de relaves frescos pila principal de la planta de beneficio. AuVert
1050093	1087081	75	Cértegui	Calo	Material final de A-Z "La Mina" 1
1050093	1087081	75	Cértegui	Calo	Material final de A-Z "La Mina" 2
1050093	1087081	75	Cértegui	Calo	Material final de A-Z "La Mina" 3
1050093	1087081	75	Cértegui	Calo	Material final de A-Z "La Mina" 4
1050098	1087106	63	Cértegui	Calo	Agua de humedal - alimentación para procesamiento sector Calo
1048894	1085660	63	Cértegui	La Batea	Relave abandonado inactivo La Batea
1048797	1085685	70	Cértegui	La Batea	Sedimento activo quebrada La Regadera
1048797	1085685	70	Cértegui	La Batea	Agua superficial quebrada La Regadera
1048797	1085685	70	Cértegui	La Batea	Agua de sedimento activo La Regadera
1049480	1085641	60	Cértegui	La Batea	Sedimento activo, quebrada Casaquemada (anterior)
1049518	1085607	62	Cértegui	La Batea	Agua de sedimento activo, quebrada Casaquemada (anterior)
1049518	1085607	62	Cértegui	La Batea	Agua superficial, quebrada Casaquemada (anterior)

7.7. PATIO DE RELAVES Y QUEBRADAS VISITADAS

7.7.1. MUNICIPIO DE CONDOTO, VEREDAS TAPACUNDÓ Y ESPANTAMUERTOS

7.7.1.1. MINA CLIDIO HURTADO (TAPACUNDÓ)

Tomando como referencia la zona de explotación aluvial en la mina Clidio Hurtado se lleva cabo el muestreo en las fuentes hídricas influenciadas por esta actividad, de las cuales aguas arriba se encuentra la quebrada Lucas, donde se recolectó sedimento activo, agua del sedimento activo y agua superficial. Aguas abajo de la extracción minera se ubica un vertimiento con material sólido generado por el procesamiento de la mina, tomándose muestra de ambas fases (fase líquida y sólida del vertimiento), y como afluente de interés, aguas abajo de la actividad minera está la quebrada Tapacundó, donde se recolectaron muestras de sedimento activo, agua del sedimento y agua superficial.

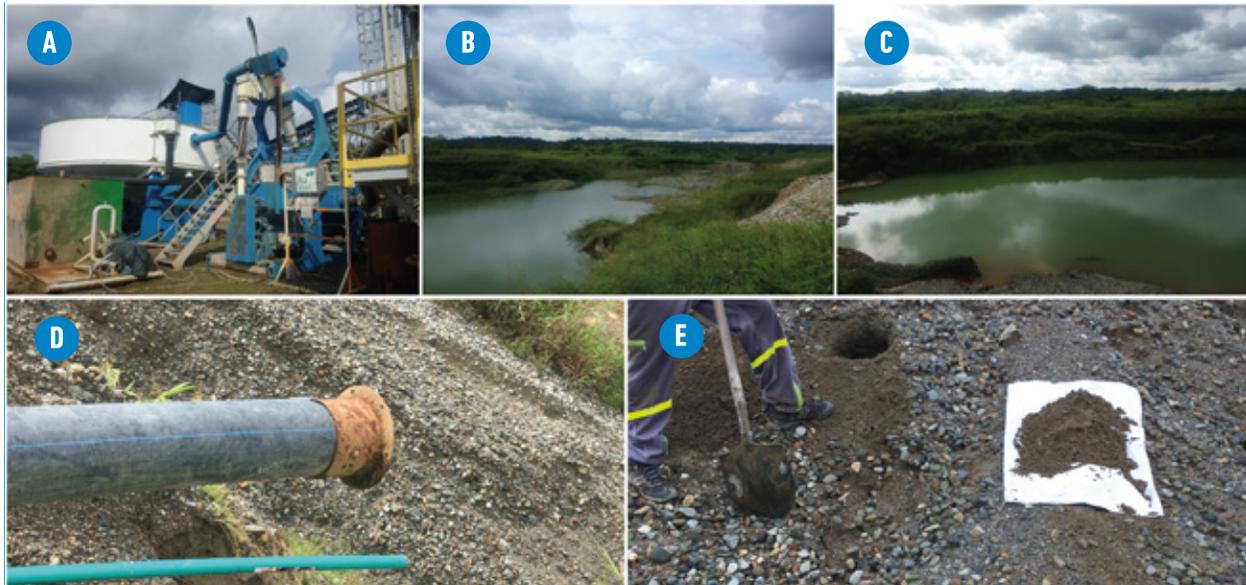
Fotografía 7.4. Muestreo mina Clidio Hurtado, vereda Tapacundó (Condoto): (a) sector de extracción por aluvión; (b) quebrada Lucas, aguas arriba; (c) quebrada Tapacundó, aguas abajo



7.7.1.2. PLANTA AUVERT – ESPANTAMUERTOS

Esta planta de minería aluvial está dedica a realizar la extracción de metales preciosos sin el uso de agentes químicos y emplea métodos de recuperación de mercurio en materiales contaminados. Por tal motivo, se tomaron muestras de principal interés en dos zonas de relaves, la primera compuesta por relaves antiguos reprocesados por minería artesanal y tratados por la planta, mientras que la segunda es la pila de relaves frescos de la planta provenientes del Knelson, en la cual se empleó un muestreo aleatorio estratificado, a partir del cual se generó in situ un compost formado por 5 submuestras, tomadas a una profundidad de 60 cm y abarcando una área de 562 m² en la pila. Adicionalmente se tomaron dos muestras líquidas, una del agua de pozo de la planta y la otra del agua de alimentación de la planta proveniente del clarificador y recirculada al pozo.

Fotografía 7.5. Muestreo planta de procesamiento AuVert, vereda Espantamuertos (Condoto): (a) planta de procesamiento de oro aluvial; (b) agua de pozo principal de la planta; (c) agua de pozo principal, donde vierten el agua del clarificador y recirculan para procesamiento; (d) pila principal de relaves frescos de Knelson, planta de beneficio; (e) zona de relaves antiguos reprocesados por minería artesanal



7.7.2. MUNICIPIO DE TADÓ, VEREDAS PLAYA DE ORO, EL CARMELO Y SAN ANTONIO

7.7.2.1. MINA LA LOMA NILO Y LEONEL (PLAYA DE ORO)

Fotografía 7.6. Muestreo mina La Loma Nilo y Leonel, vereda Playa de Oro (Tadó): (a) quebrada Taurá, sector mina La Loma Nilo y Leonel aguas abajo de la actividad minera; (b) pozo de agua de lluvias que alimenta por motobomba la extracción en la mina La Loma Nilo y Leonel; (c) vertimiento generado por extracción en la mina La Loma Nilo y Leonel a la quebrada Taurá



En esta zona de beneficio se hizo el muestreo en la quebrada Taurá, por ser la corriente de agua que recibe los drenajes generados por la explotación de la mina, donde se hicieron tomas de sedimento activo, agua del sedimento y agua superficial aguas arriba de la confluencia con el vertimiento generado por la mina. El vertimiento que se genera en esta mina tiene contenido significativo de sólidos, debido a que los mineros emplean altos flujos de agua a presión impulsada por motobomba para remover el mineral de la montaña. Por este motivo se hizo una toma de la fase líquida del vertimiento, antes de unirse con la quebrada Taurá, y se colectaron 8 submuestras de su fase sólida, aguas arriba, desde la quebrada hasta el punto de extracción minera. Para factores de comparación, como muestra inicial se hizo una toma de agua del pozo que alimenta la motobomba.

7.7.2.2. MINA CARMELO (EL CARMELO)

En la vereda Carmelo se tomó como afluente de interés el río Pureto, el cual recibe las aguas generadas por la extracción aluvial de la mina Carmelo. El muestreo se llevó a cabo aguas abajo de la actividad de beneficio, haciendo una toma de agua superficial del río Pureto en un punto previo a la unión con el vertimiento generado por la mina, y colectando agua del vertimiento antes de desembocar en el río. Cabe resaltar el alto contenido de sólidos suspendidos en el vertimiento, evidenciado en la turbidez que aporta al río Pureto (fotografía 7.7c), debido a la alta remoción de la capa vegetal para la extracción del mineral aurífero.

Fotografía 7.7. Muestreo del río Pureto y del vertimiento por la actividad minera en El Carmelo (Tadó): (a) río Pureto; (b) vertimiento generado por la extracción en la mina; (c) unión del vertimiento de la mina con el río, aguas de la actividad minera



7.7.2.3. MINA EL COCO-SAN JOSÉ (SAN ANTONIO)

En esta mina, el muestreo se llevó a cabo en un punto de extracción de material reprocesado. En la zona se tomó una muestra del agua superficial del pozo de lluvia que se emplea para el proceso extractivo y muestras compuestas de dos relaves representativos, mezclando el material in situ; se tomó un compost recolectado de la pila principal, de la cual se sacaron 4 submuestras a diferentes profundidades (1,0 m; 1,2 m; 1,5 m; 2,5 m), abarcando un área de 1835 m², y se sacó muestra de la pila de colas finales lavadas, empleando un muestreo aleatorio estratificado. La fuente hídrica relacionada con la actividad de la mina El Coco San José es la quebrada San Antonio, que tributa al río San Juan, de la cual aguas abajo de la actividad minera se tomó sedimento activo, agua del sedimento y agua superficial (fotografía 7.8).

7.7.3. MUNICIPIO DE UNIÓN PANAMERICANA, VEREDA LA TOMA

7.7.3.1. MINAS LA TOMA Y SANTA RITA

En la mina La Toma la explotación aluvial está compuesta por una amplia extensión de terrazas de extracción, pozos profundos y pilas de material residual de proceso. Por la distribución de la zona y la dispersión de los relaves, se llevó a cabo la toma de un compost in situ de tres pilas principales, compuesto por 8

Fotografía 7.8. Muestreo de la mina El Coco San José, vereda San Antonio (Tadó): (a) unión de la quebrada San Antonio con el río San Juan; (b) quebrada San Antonio, aguas debajo de la mina; (c) zona de extracción de la mina; (d) pila principal de relaves; (e) agua de alimentación para el procesamiento de la mina (pozo de aguas de lluvia)



submuestras, las cuales se sacaron de forma aleatoria a una profundidad de 50 cm, abarcando un área de 5911 m² del relave. En la zona de la mina se tiene un pozo de sedimentación, el cual genera vertimientos con una cantidad alta de material en suspensión, y en el punto de salida de este pozo se hizo muestreo de las fases líquida y sólida. La principal fuente hídrica relacionada con la actividad de la mina La Toma en el sector es la quebrada Las Ánimas, la cual fue muestreada aguas abajo de la actividad extractiva. En este afluente desemboca un vertimiento con alta turbidez, motivo por el cual se hizo muestreo de sedimento activo, agua del sedimento activo y agua superficial de la quebrada antes y después de la unión con el vertimiento.

Fotografía 7.9. Muestreo de las minas La Toma y Santa Rita, vereda La Toma (Unión Panamericana): (a) zona de explotación aluvial de la mina La Toma; (b) pila principal de relave de la actividad extractiva en esta mina; (c) vertimiento del pozo de sedimentación de la mina La Toma; (d) quebrada Las Ánimas, antes del vertimiento de la mina; (e) quebrada Las Ánimas, después de la unión con el vertimiento de la mina; (f) mina Santa Rita, entrada al túnel del aluvión; (g) vertimiento de la mina Santa Rita al pozo de agua de lluvia



En la vereda La Toma también se llevó a cabo la visita a la mina Santa Rita, donde emplea como técnica de extracción aluvial un sistema de guaches, y el material que se obtiene de este proceso es lavado sobre paños, generando un vertimiento canalizado a un pozo de agua de lluvia que drena a la quebrada Santa Rita, razón por la cual se tomó una muestra del vertimiento en un punto previo a la unión con el agua del pozo.

7.7.4. MUNICIPIO DE CÉRTEGUI, VEREDAS CALO Y LA BATEA

7.7.4.1. MINAS CALO Y LA BATEA

La mina Calo cubre una zona muy amplia, formada por terrazas y pozos profundos en los que se lleva a cabo el proceso de extracción aluvial. El muestreo ambiental en este sector se enfocó principalmente en la toma de relaves de cuatro pilas de material final proveniente de concentradores gravimétricos (A-Z, estructuras metálicas de concentración en diagonal) y en el muestreo de agua superficial del pozo principal, el cual se emplea para la alimentación del proceso de extracción, lavado y concentración del material aurífero.

El sector de la mina La Batea es una zona que ya se encuentra removida por explotaciones antiguas, de modo que el material que se está beneficiando actualmente proviene de las colas de los procesos anteriores. En este punto se hizo la toma de un relave abandonado e inactivo, y para la caracterización del sector respecto a las fuentes hídricas se tomaron dos puntos de muestreo: la quebrada Casaquemada, aguas arriba de la actividad metalúrgica, y la quebrada La Regadera, aguas abajo de dicha actividad, colectando en ambas muestras de sedimentos activos, aguas de los sedimentos y aguas superficiales.

Fotografía 7.10. Muestreo de la mina Calo, vereda Calo, y de la mina La Batea, vereda La Batea (Cértegui): (a) extracción de oro aluvial en la mina Calo; (b) pilas de relaves generados en esta mina; (c) concentrado de batea con oro y platino de la mina Calo; (d) quebrada Casaquemada, aguas arriba de la actividad minera en La Batea; (e) quebrada La Regadera, aguas abajo de la actividad minera en La Batea



7.8. ANÁLISIS QUÍMICOS Y AMBIENTALES

La caracterización química y ambiental, desarrollada con la aplicación de las diferentes herramientas analíticas e instrumentales, permite construir una perspectiva general sobre el estado de los recursos naturales que están en contacto con los procesos de beneficio para el oro en los puntos visitados. En este estudio también se identifican las posibles fuentes que pueden llegar a ocasionar una contaminación significativa en el medio ambiente a causa de dicha actividad metalúrgica en las zonas muestreadas, motivo

por el cual se exponen técnicas y metodologías para el control, remediación y eliminación de sustancias tóxicas y se promueven las buenas prácticas para la extracción de minerales auríferos.

7.8.1. FLUORESCENCIA DE RAYOS X

Mediante la técnica de fluorescencia de rayos X se obtuvieron resultados respecto a la composición elemental de muestras geológicas provenientes de material extraído en cabezas del proceso de beneficio, relaves y sedimentos activos de quebradas. Estos resultados se relacionan con los minerales de los depósitos muestreados y aportan conocimiento sobre las condiciones de formación y clasificación mineralógica, además de información necesaria para la evaluación metalúrgica. De este modo, la aplicación de esta técnica posibilita evaluar la eficiencia de las operaciones en el proceso de beneficio, al tiempo que en el campo químico ambiental brinda un indicador de la presencia de elementos y compuestos que pueden movilizarse hacia los relaves y los sedimentos activos de las quebradas. El propósito de esto es identificar comportamientos naturales o alteraciones por intervención antropogénica en torno a la minería, para que por medio de este estudio se puedan sugerir mejoras en los procesos de beneficio de oro en los municipios estudiados.

7.8.2. DETERMINACIÓN DE PH

Una de las principales propiedades fisicoquímicas que permiten establecer indicadores sobre el comportamiento ambiental es el pH (potencial de hidrógeno), por medio del cual se puede medir la acidez o alcalinidad en los medios acuosos con el propósito de identificar una tendencia o patrón de comportamiento propio de las condiciones naturales de los medios o generado por una influencia externa. Para este estudio, la determinación del pH se enfoca en muestras relacionadas con aguas superficiales, aguas en contacto con sedimentos activos, vertimientos y aguas de nacimiento o naturales tomadas en la zona de interés.

Es pertinente tener en cuenta que la determinación del pH, al tener una influencia ambiental muy relevante, presenta un rango determinado de valores permisibles, establecidos principalmente por el uso al cual se destinan dichas aguas. Para el análisis de los resultados obtenidos en esta investigación se consideran los rangos especificados por la normatividad ambiental para vertimientos (entre 6,00 a 9,00 unidades de pH) y los valores límites de pH para los cuerpos de agua destinados a la preservación de la flora y la fauna con un criterio de calidad (entre 5,50 a 9,00 unidades de pH) (Minambiente, 2015).

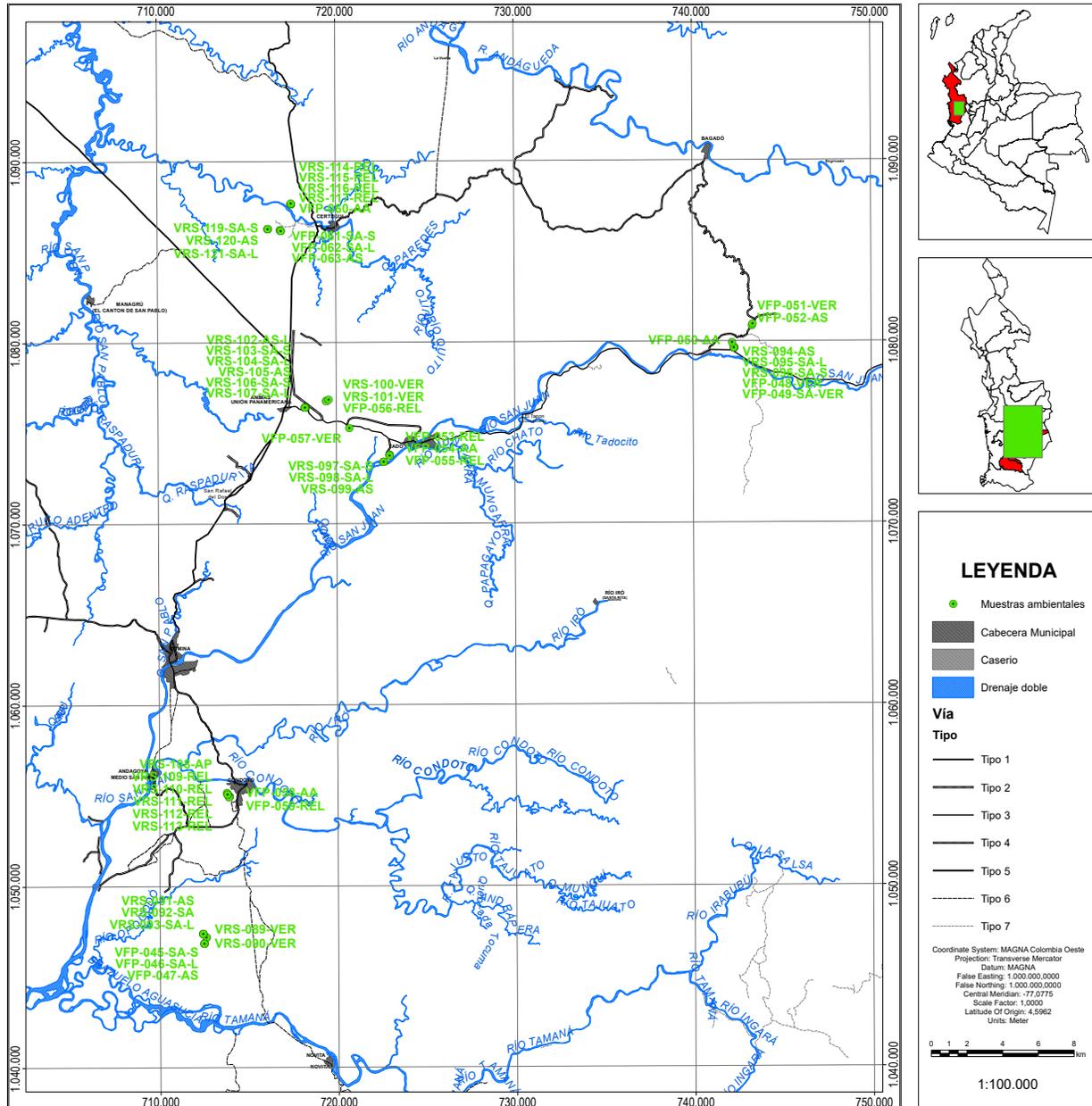
El valor de pH para las muestras de aguas superficiales tomadas en campo es un indicador que permite clasificar varios aspectos, por la presencia de metales o por compuestos en los afluentes, ya sea que se trate de un comportamiento ácido (entre 1,00 a 7,00 unidades de pH) o básico (entre 7,00 a 14,00 unidades de pH) (Skoog et al., 2001), los cuales pueden atribuirse, bien sea a las actividades de beneficio o a la composición natural de los minerales en la zona.

7.8.3. CARACTERIZACIÓN DE LA ZONA MINERA DE CONDOTO

7.8.3.1. ANÁLISIS DE FLUORESCENCIA DE RAYOS X EN MATERIAL DE CABEZA

se presentan los resultados de FRX para material de cabeza utilizado en las minas Clidio Hurtado y Au-Vert, en donde se observa un mayor contenido de silicio, atribuible a cuarzo y a horblendas, así como aluminio, en porcentajes de 5,16 % y 3,85 %, respectivamente para ambas minas. Además de los anteriores elementos también se encuentra calcio (0,90 % y 1,61 %, respectivamente) y fósforo (0,38 % y 0,37 %), lo cual puede ser un indicador de apatitos presentes en este material de cabeza. En cuanto al contenido de azufre, se encuentran porcentajes de 0,20 % en mina Clidio Hurtado y de 0,25 % en mina Au-Vert, asociados posiblemente a sulfuros de hierro, en la medida en que este último elemento se encuentra en porcentajes de

Figura 7.16. Mapa de muestras ambientales captadas en el municipio de Condoto, Chocó



5,45 % y 4,87 % en las respectivas minas. Estos datos también son claros indicadores de un bajo contenido de sulfuros de hierro, como pirita, frente a la abundancia de óxidos de hierro, como magnetita o hematita, más un contenido adicional de ilmenita, que además de ser un óxido de hierro contiene también titanio, observable en los resultados con porcentajes de 1,16 % y 0,90 %, respectivamente, aunque también puede atribuirse este titanio a la presencia de rutilo.

De otro lado, los resultados de FRX para elementos menores en este mismo material de cabeza muestran principalmente trazas de cromo y manganeso en ambas minas, y bario en la mina Au-Vert, que pueden ser asociadas a cromita, a minerales ferromangánicos (Railsback, 2012) y a baritinas, las cuales comúnmente se encuentran con óxidos de hierro como ilmenitas (Hurlbut, 1976). En estas muestras, los resultados de FRX evidencian contenidos de cromo de 500,33 ppm y 662,30 ppm, y de manganeso de 395,37 ppm y 488,69 ppm, respectivamente para las minas Clidio Hurtado y Au-Vert, y de 520,19 ppm de bario en la

mina de AuVert. En menor cantidad se encontraron elementos como zirconio (117,63 ppm y 104,81 ppm), normalmente atribuible a zirconitas, estroncio (30,84 ppm y 146,43 ppm), como elemento común de la roca, zinc (106,04 ppm y 127,33 ppm), presente posiblemente como esfalerita, cobre (80,67 ppm y 97,30 ppm), que en esta zona de estudio se relaciona principalmente con óxidos de cobre, y níquel (58,91 ppm y 89,62 ppm), como elemento traza. Adicionalmente se observan remanentes de antimonio, estaño, cadmio, plata y rubidio en los resultados de la mina Au-Vert, que no se evidencian en la mina Clidio Hurtado (figura 7.18).

Figura 7.17. Elementos mayores contenidos en el material de cabeza de proceso de las plantas de beneficio visitadas en el municipio de Condoto, determinados por la técnica de FRX

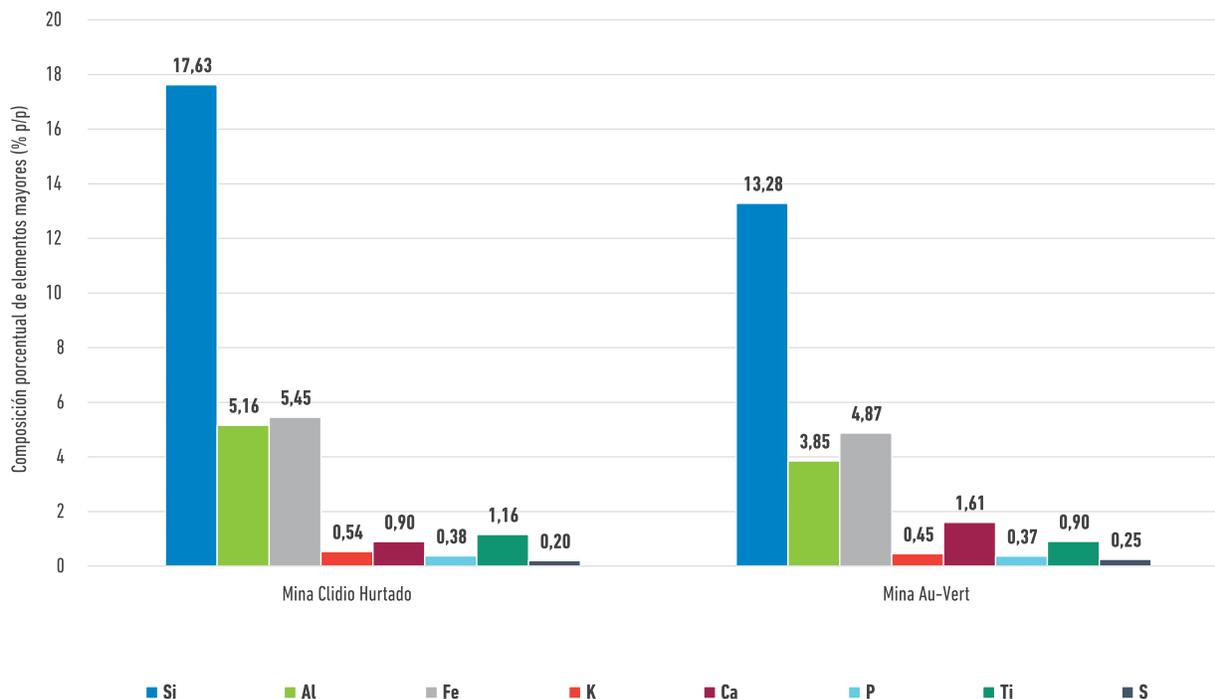
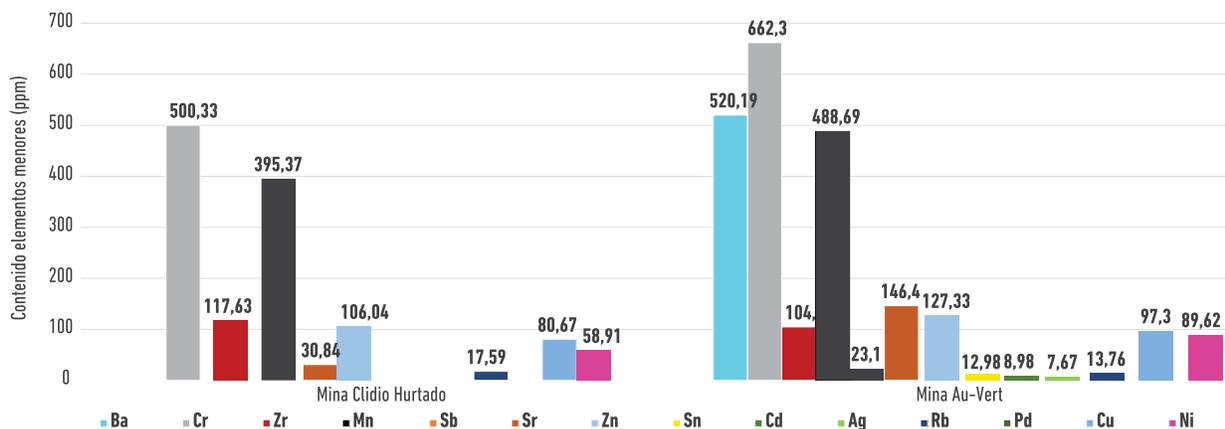


Figura 7.18. Elementos menores contenidos en el material de cabeza de proceso de las plantas de beneficio visitadas en el municipio de Condoto, determinados por la técnica de FRX

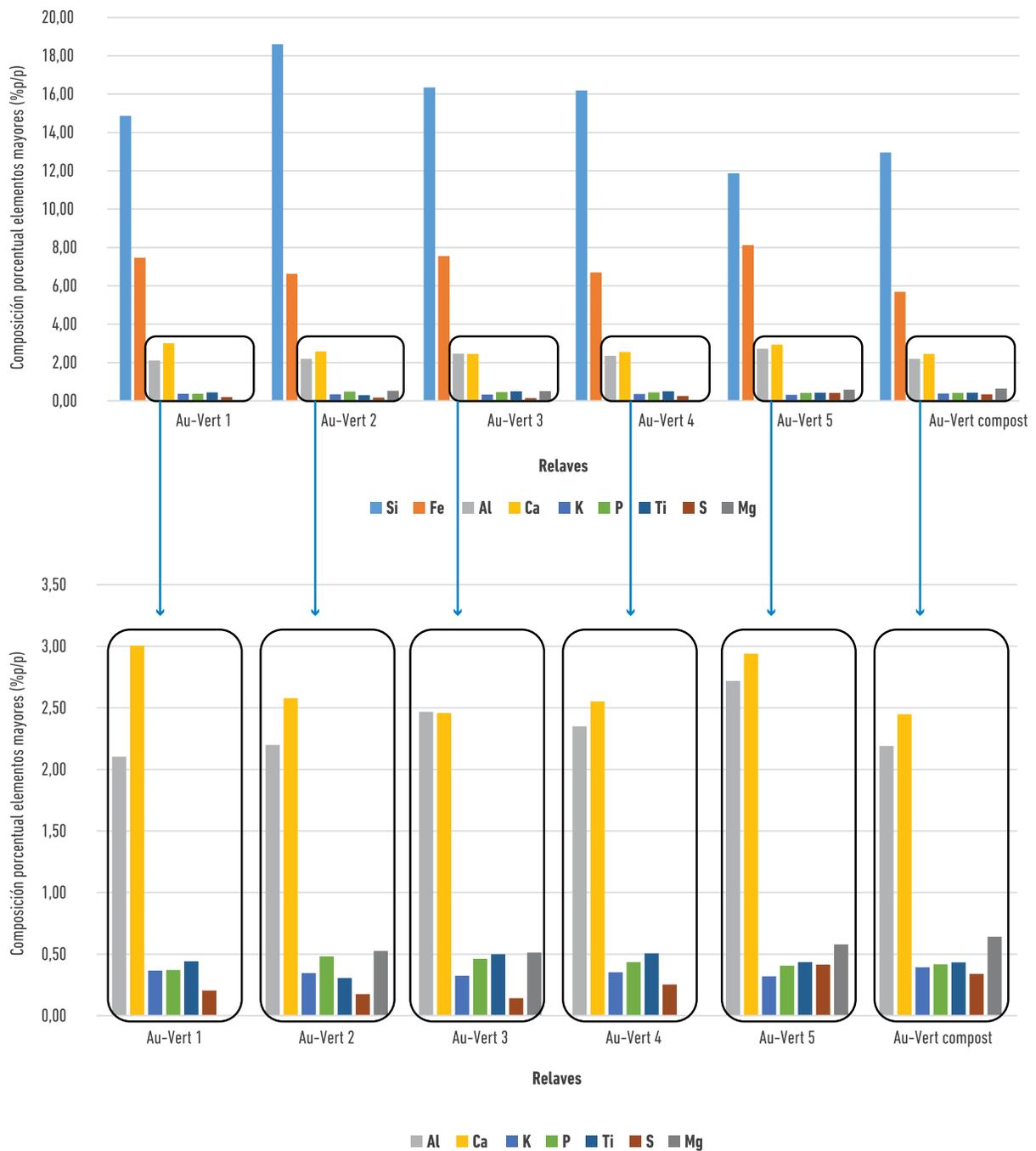


7.8.3.2. ANÁLISIS DE FLUORESCENCIA DE RAYOS X EN RELAVES

En la figura 7.19 se presentan los resultados de FRX para relaves de la mina Au-Vert, en donde se observa, al igual que en el material de cabeza de esta mina, un mayor contenido de silicio, seguido por hierro, aluminio y calcio, lo que implica la posibilidad de residuos de horblendas, óxidos de hierro y cuarzo. Se puede

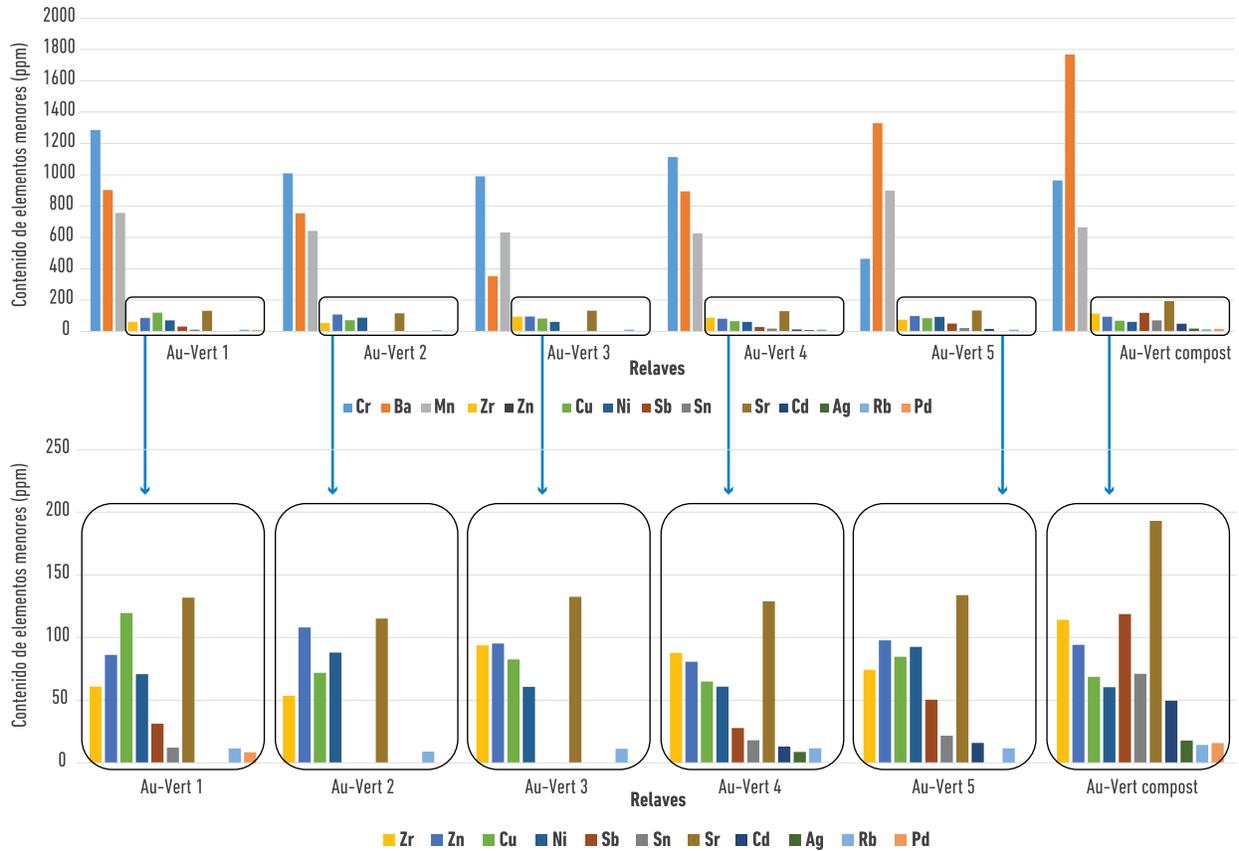
observar también que el porcentaje de azufre se encuentra por debajo del 0,50 %, lo que concuerda con el material de cabeza estudiado.

Figura 7.19. Elementos mayores contenidos en relaves generados en la mina Au-Vert, municipio de Condoto, determinados por FRX



Los elementos menores medidos por FRX para estos mismos relaves se presentan en la figura 7.19, revelando principalmente trazas de cromo, bario y manganeso, al igual que en el material de cabeza para esta mina, así como acumulación de elementos como cadmio, estaño, zinc, cobre, plata y paladio.

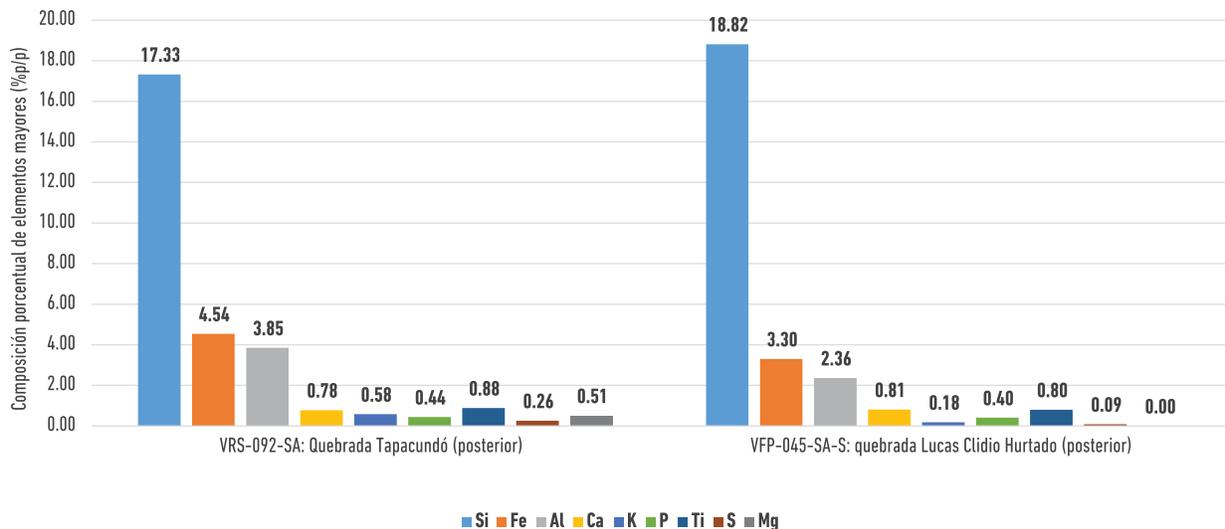
Figura 7.20. Elementos menores contenidos en relaves generados en la mina Au-Vert, determinados por FRX



7.8.3.3. ANÁLISIS DE FLUORESCENCIA DE RAYOS X EN SEDIMENTOS ACTIVOS

En las figura 7.21 y 7.22 se presentan los resultados de FRX para las muestras de sedimentos activos de las quebradas Tapacundó y Lucas, ubicadas en zonas mineras del municipio de Condoto, evidenciando que la composición de elementos mayores y menores contenidos en los sedimentos presentan diferencias entre estas dos quebradas.

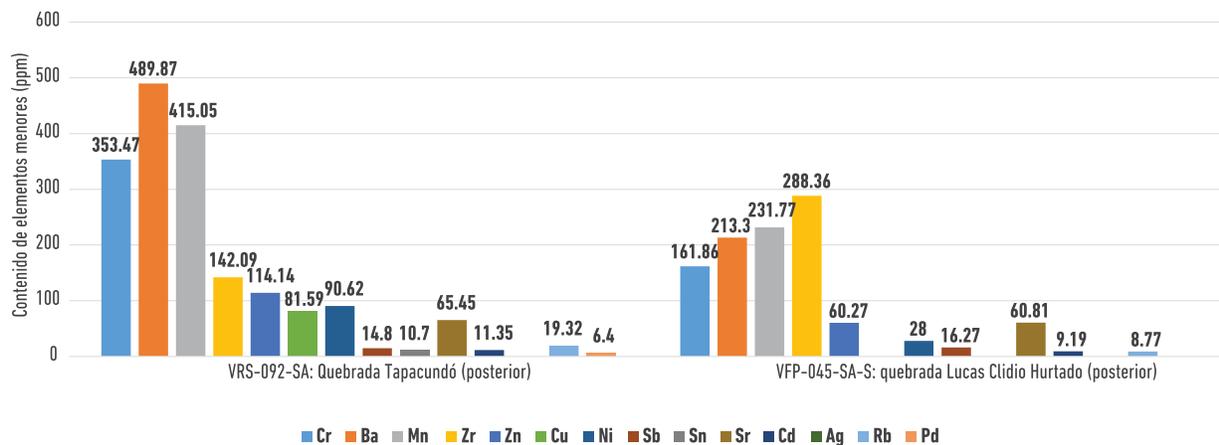
Figura 7.21. Elementos mayores contenidos en sedimentos activos de quebradas muestreadas en el municipio de Condoto, determinados por FRX



Del mismo modo, como se pudo observar en las muestras de material de cabeza y relaves de Condoto, los sedimentos activos de las quebrada Tapacundó y Lucas contienen principalmente silicio (17,33 % y 18,82 %), hierro (4,54 % y 3,30 %) y aluminio (3,85 % y 2,36 %, respectivamente) (figura 7.21); estos elementos se asocian principalmente a la presencia de aluminosilicatos, cuarzo y óxidos de hierro. También se obtuvieron rastros de calcio (0,78 % y 0,81 %), que como ya se mencionó para el análisis de material de cabeza en las minas de este municipio hace parte de la estructura de aluminosilicatos clasificados como horblendas, además de titanio (0,88 % y 0,80 %, respectivamente), que puede relacionarse con ilmenitas u óxidos de tipo rutilo (Hurlbut, 1976). Por último, el fósforo presente en estos sedimentos se asocia a apatitos y el azufre a sulfuros de hierro como pirita, cuyos contenidos porcentuales se encuentran abajo de 0,26 %.

A diferencia de los elementos mayores, el contenido de elementos menores presenta diferencias entre el sedimento activo de la quebrada Tapacundó, aguas abajo de la actividad minera, y el sedimento activo de la quebrada Lucas, en la parte alta de la zona, encontrándose principalmente contenidos de cromo (355,47 ppm y 161,86 ppm), bario (489,87 ppm y 213,3 ppm) y manganeso (415,05 ppm y 231,77 ppm) respectivamente asociados a cromitas, baritinas (Hurlbut, 1976) y minerales ferromangánicos (Railsback, 2012) propios de la zona, de acuerdo con los resultados observados en el material de cabeza (ver figura 7.18). Sin embargo, se logra evidenciar una mayor concentración de estos elementos en la quebrada Tapacundó, aguas abajo de la actividad minera, probablemente por la remoción en el frente de mina, la movilidad de relaves hacia la quebrada y el transporte de estos elementos por la corriente de la quebrada. Este mismo efecto se puede observar en relación al zinc, cobre, níquel, estaño, rubidio y paladio (figura 7.22).

Figura 7.22. Elementos menores contenidos en sedimentos activos de quebradas muestreadas en el municipio de Condoto, determinados por FRX



7.8.3.4. ANÁLISIS DE PH

Los resultados de pH de aguas superficiales y vertimientos muestreados en el municipio de Condoto se presentan en la figura 7.23. Estos datos permiten determinar que en las zonas de muestreo existe tendencia a encontrar aguas superficiales ácidas; además, la medición para el agua superficial de la quebrada Lucas, la cual está ubicada en un punto anterior a la mina Clidio Hurtado, permite establecer que su valor de pH = 5,16 es propio de la zona, dado que este punto de muestreo se encuentra en el nacimiento de la quebrada, donde no hay intervención minera.

Estos valores de pH pueden ser explicados por la mineralogía misma de la zona, dado que no se presentan elementos o compuestos de propiedades básicas que contribuyan a pH más elevados, pero sí se reporta aluminio, que puede generar problemas de acidez en los suelos y que por las escorrentías y las lluvias ácidas entra en contacto con las aguas superficiales de las quebradas (Parménides, 2002).

7.8.4. CARACTERIZACIÓN DE LA ZONA MINERA DE CÉRTEGUI

7.8.4.1. ANÁLISIS DE FLUORESCENCIA DE RAYOS X EN MATERIAL DE CABEZA

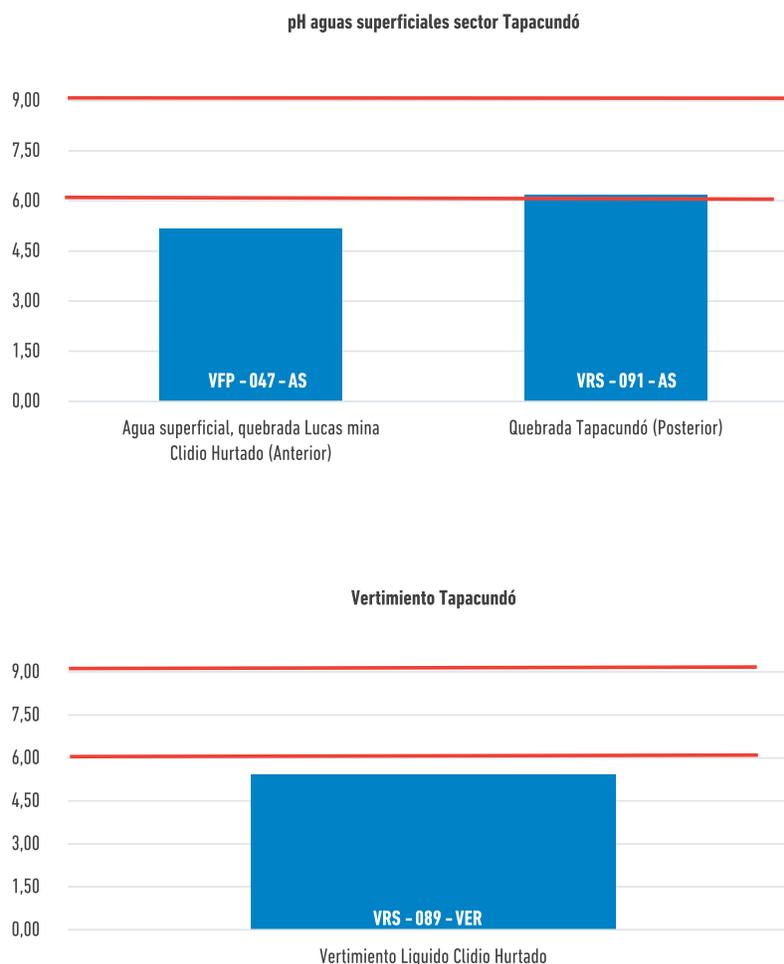
Las muestras de material cabeza del proceso de beneficio colectadas en el municipio de Cértegui, correspondientes a las minas Calo, Candelaria y La Batea, se caracterizan principalmente por la presencia de silicio, debido a que el material usado proviene de frentes de mina contenedores de cuarzo y horblendas.

Sin embargo, aparece una mayor cantidad de silicio en la mina Calo que en las minas Candelaria y La Batea (figura 7.25), lo que puede sugerir una mayor relación de silicio hacia cuarzo en esta mina que en las otras dos. Por otra parte, teniendo en cuenta que, además de silicio, las horblendas contienen aluminio y calcio, se registran porcentajes de estos dos elementos de 1,85 % y 0,24 % en la mina Calo, 2,66 % y 0,21 % en la mina Candelaria y 2,51 % y 0,08 % en la mina La Batea. El hierro de estas minas está relacionado con los contenidos de óxidos de hierro, principalmente hematitas o magnetitas, y en menor medida con ilmenitas, asociadas a la presencia de titanio, que en porcentajes equivale al 0,43 %, 0,35 % y 0,56 % en las tres minas. Finalmente, el azufre presenta valores muy cercanos a 0,07 %, 0,12 % y 0,06 %, respectivamente, lo que indica mínimas concentraciones de sulfuros.

Los resultados sobre elementos menores contenidos en el material de cabeza proveniente de las minas muestreadas se muestran en la figura 7.26; estos datos evidencian, al igual que con los elementos mayores, similitudes entre la mina Candelaria y la mina La Batea, por ejemplo, respecto al contenido de bario (418,75 ppm y 449,3 ppm, respectivamente), mientras que en la mina Calo la FRX no evidencia la presencia de este elemento.

Es notorio que en esta zona estén presentes elementos menores como cromo, manganeso y zirconio, que como se mencionó previamente para los municipios de Condoto y Tadó, están relacionados con minerales ferromangánicos, cromitas y zirconitas. Además, se puede observar que en la mina La Batea se detectan elementos traza que no aparecen en las otras dos minas, como paladio, plata, cadmio y estaño.

Figura 7.23. Valores de pH de las aguas superficiales y vertimientos muestreados en Condoto



Mapa de muestras ambientales captadas en el municipio de Cértégui, Chocó

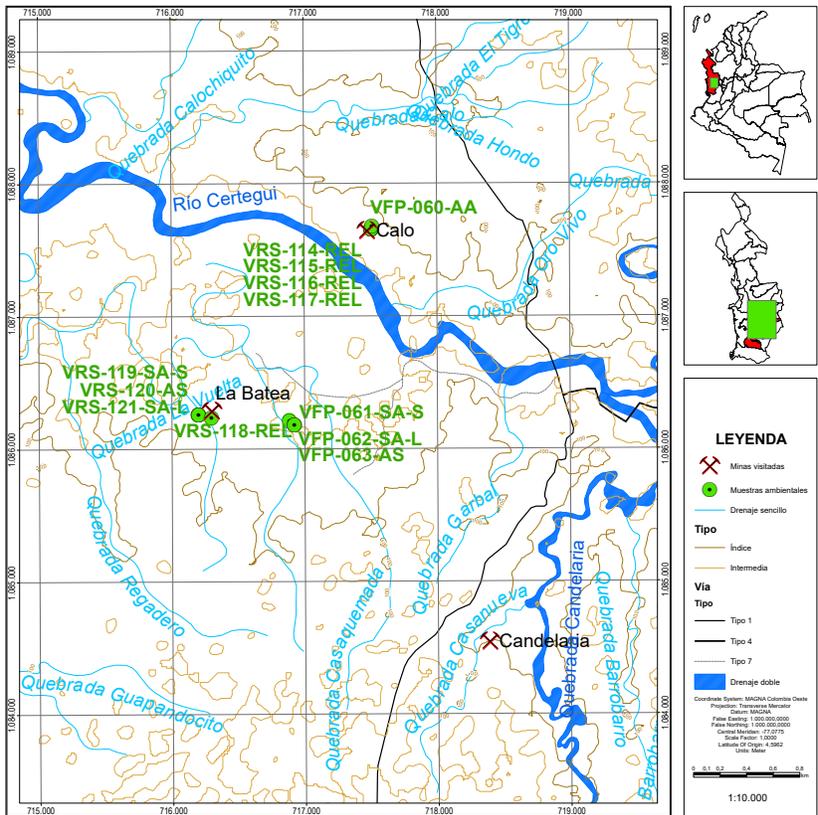


Figura 7.25. Elementos mayores contenidos en el material de cabeza del proceso de las plantas de beneficio visitadas en el municipio de Cértégui, determinados por FRX

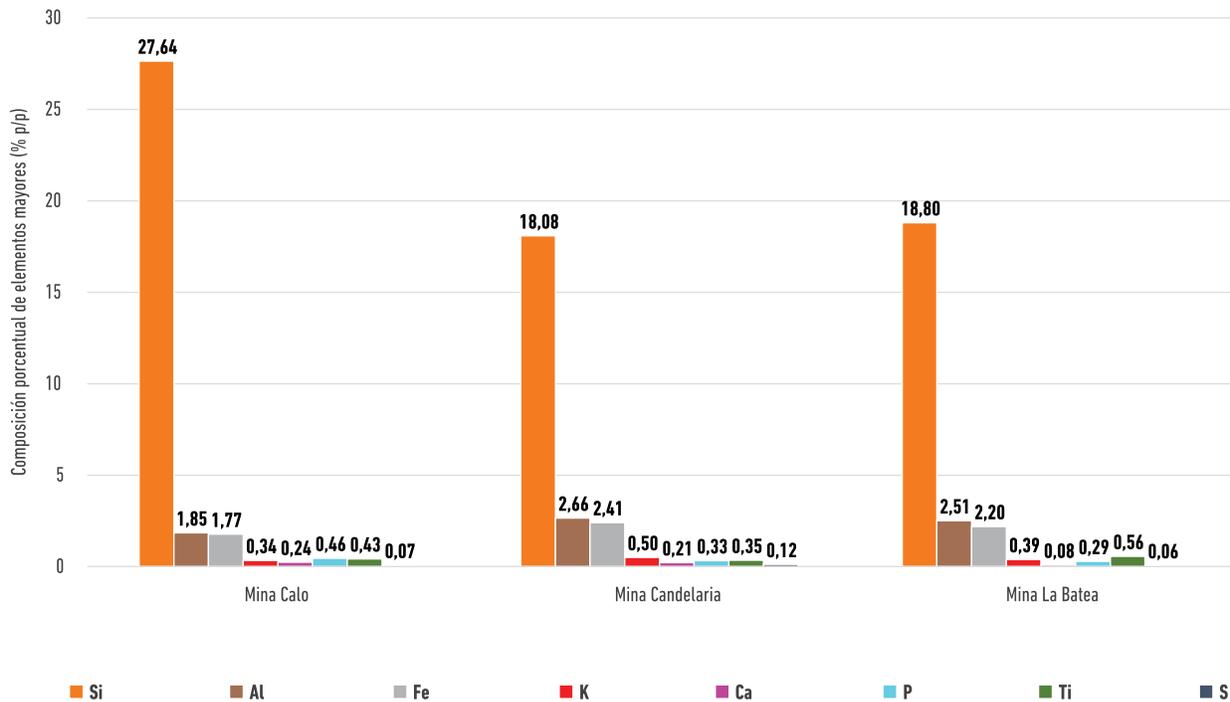
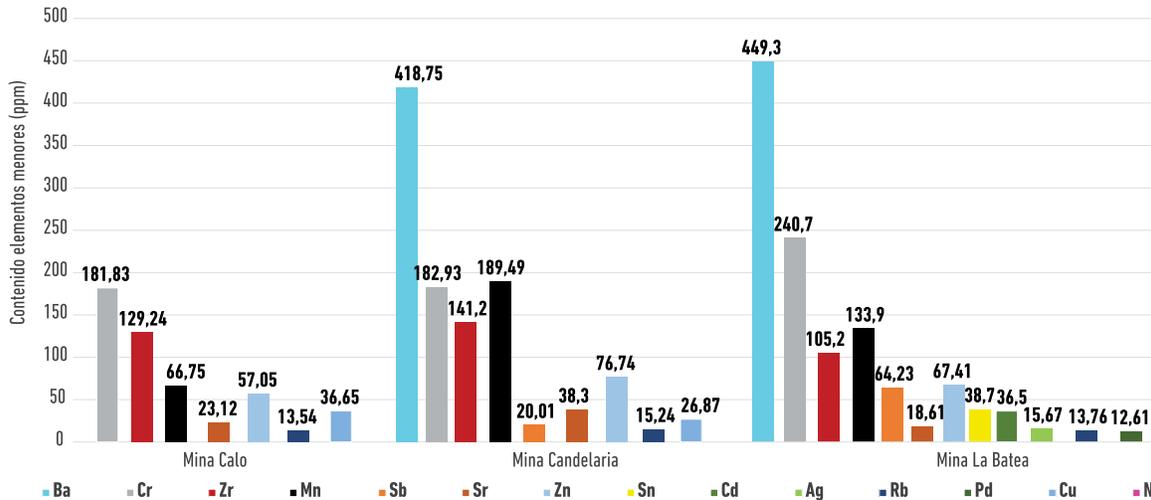


Figura 7.26. Elementos menores contenidos en el material de cabeza del proceso de las plantas de beneficio visitadas en el municipio de Cértegui, determinados por FRX



7.8.4.2. ANÁLISIS DE FLUORESCENCIA DE RAYOS X EN RELAVES DE CÉRTEGUI

En la figura 7.27 se indican las concentraciones de elementos mayores en los relaves recolectados en Cértegui, destacándose la presencia de hierro y aluminio que, de acuerdo con los resultados de material de cabeza, se asocian a óxidos de hierro y aluminosilicatos. El calcio y el fósforo se hallan en menor proporción y se correlacionan con apatitos. Por su parte, el potasio presente se asocia a feldspatos, que igualmente se identificaron en el material de cabeza de proceso. Las concentraciones de azufre son bajas, y se deben a trazas de sulfuros.

En cuanto a los elementos menores que se muestran en la figura 7.28, es importante mencionar la alta proporción de cromo y bario en los relaves de la mina 4 y La Batea. En las muestras de la mina 3 resalta la concentración de Zr, con un valor de 176 ppm, mientras que en la mina 1 y en La Batea este valor oscila alrededor de 91 ppm. Dentro de la composición elemental de los relaves en cuestión se tienen trazas de minerales de plata y paladio, al igual que rastros de sulfuros como calcopirita y esfalerita.

Figura 7.27. Elementos mayores contenidos en relaves en el municipio de Cértegui, determinados por FRX

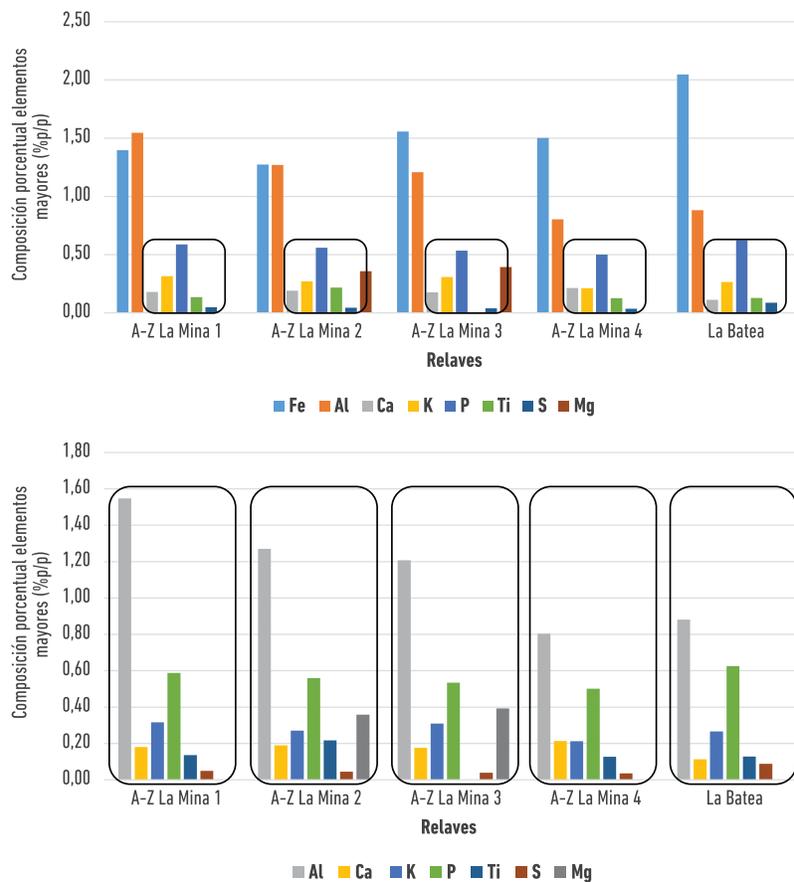
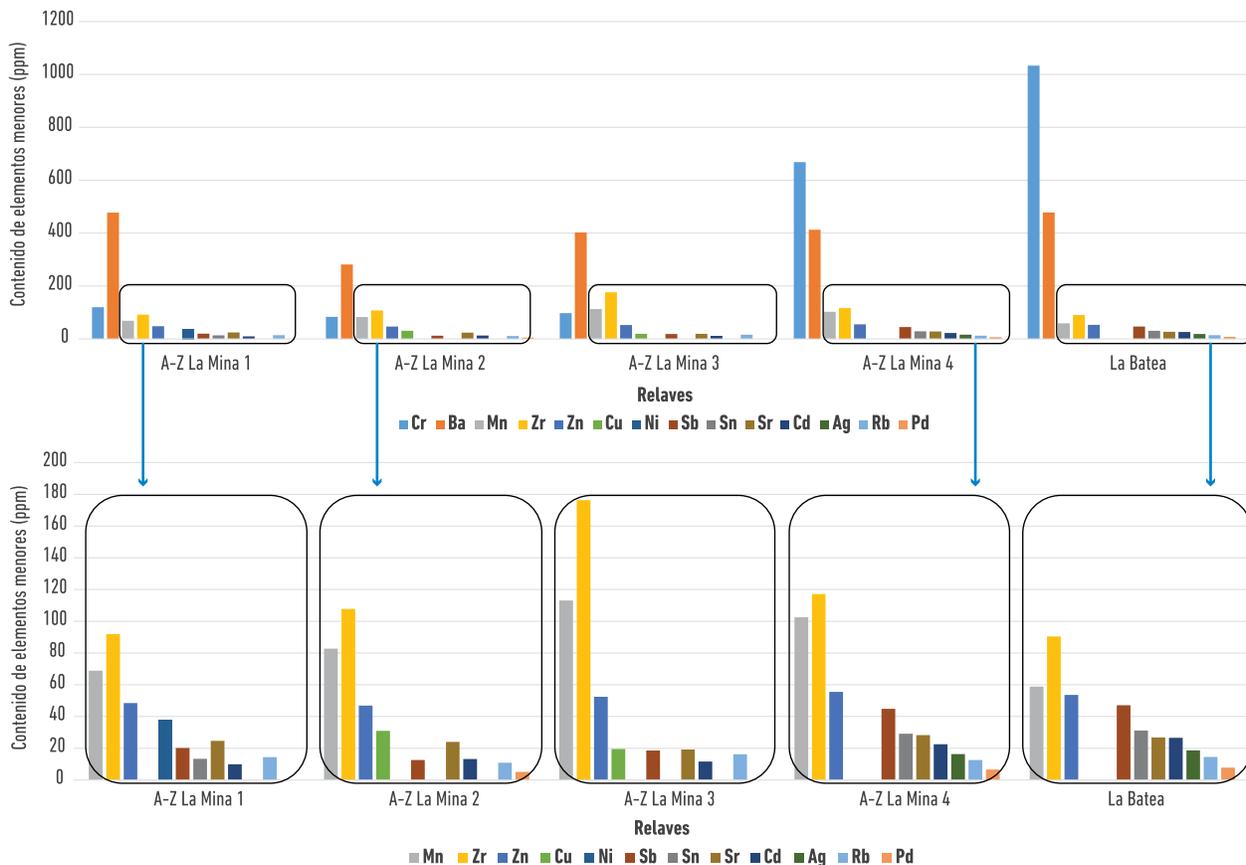


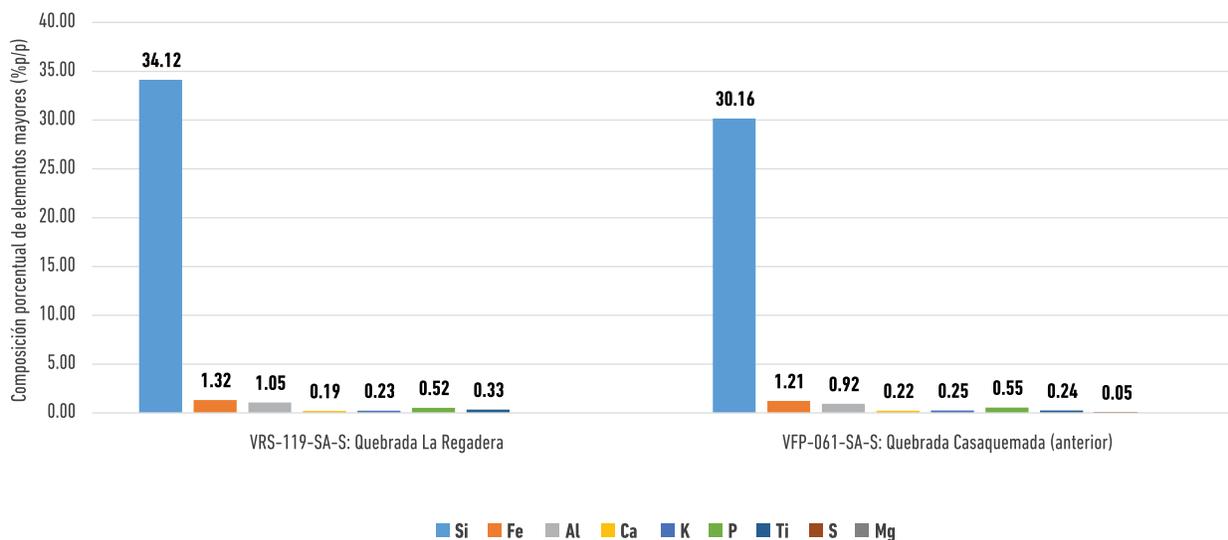
Figura 7.28. Elementos menores contenidos en relaves en el municipio de Cértégui, Chocó, determinados por la técnica de fluorescencia de rayos X



7.8.4.3. ANÁLISIS DE FLUORESCENCIA DE RAYOS X EN SEDIMENTOS ACTIVOS

Los resultados de FRX para las muestras de sedimentos activos de las quebradas La Regadera y Casaquemada, ubicadas en zonas mineras cercanas a la mina La Batea en el municipio de Cértégui, se presentan en las figuras 7.29 y 7.30, mostrando similitud en los elementos livianos, pero diferencia en los elementos

Figura 7.29. Elementos mayores contenidos en sedimentos activos de quebradas, muestreados en el municipio de Cértégui, determinados por FRX

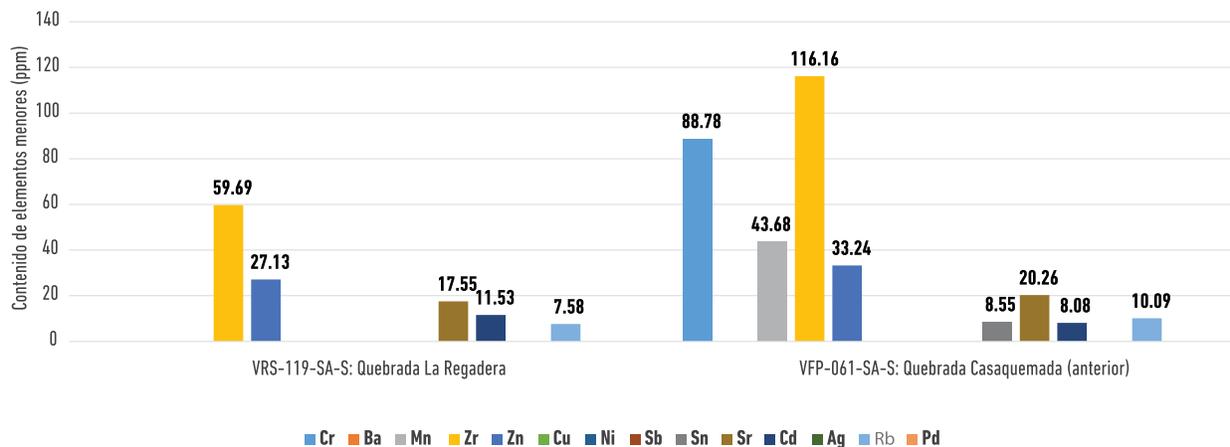


menores. Del mismo modo, como se pudo observar en las muestras de material de cabeza y relaves de Condoto, los sedimentos activos de ambas quebradas contienen principalmente silicio (34,12 % y 30,16%), indicando una mayor presencia de cuarzo.

Por otra parte, a diferencia de los resultados mostrados para los sedimentos de las quebradas muestreadas en Condoto y Tadó, La Regadera y Casaquemada presentan menor contenido de hierro (1,32 % y 1,21 %) y aluminio (1,05 % y 0,92 %, respectivamente), asociados principalmente a óxidos de hierro (hematitas y magnetitas) y aluminosilicatos, mientras que los contenidos de calcio (0,19 % y 0,22 %) se pueden atribuir a horblendas (figura 7.29). Además, en relación con las ilmenitas y rutilos contenedores de titanio mencionados a lo largo del estudio químico y ambiental, los resultados para estos sedimentos evidencian una mínima concentración de este elemento (0,33 % en la quebrada La Regadera y 0,24 % en Casaquemada) (Hurlbut, 1976). Finalmente, el fósforo presente (0,52 % y 0,55 %) se asocia a apatitos, mientras que el azufre, comúnmente asociado en minería a sulfuros, no se logró detectar, al igual que el magnesio.

Los resultados de elementos menores encontrados en los sedimentos de las quebradas La Regadera y Casaquemada muestran al zirconio (59,69 ppm y 116,16 ppm), zinc (27,13 ppm y 33,24 ppm), estroncio (17,55 ppm y 20,26 ppm), cadmio (11,53 ppm y 8,58 ppm) y rubidio (7,58 ppm y 10,09 ppm) como elementos en común, mientras que el cromo (88,78 ppm), manganeso (43,68 ppm) y estaño (8,55 ppm) se encuentran únicamente en los sedimentos de la quebrada Casaquemada. Otra característica de estos sedimentos es que no fue posible la detección de bario, níquel, antimonio, plata y paladio por FRX, debido a que pueden estar por debajo de los límites de detección. A partir de lo anterior, se puede asociar al cromo con cromitas, al manganeso con minerales ferromangánicos (Railsback, 2012), al estaño y al cadmio como trazas, el estroncio y rubidio como elementos que comúnmente se pueden encontrar en sedimentos, al zirconio con zirconitas y al zinc con esfaleritas que, aunque en bajas concentraciones de acuerdo con los resultados observados en todos los municipios estudiados en el Chocó, son propias o de origen geogénico en este departamento.

Figura 7.30. Elementos menores contenidos en sedimentos activos de quebradas, muestreados en el municipio de Cértegui, determinados por FRX



7.8.5. ANÁLISIS DE PH EN AGUAS SUPERFICIALES Y VERTIMIENTOS

Los resultados de pH de aguas superficiales y vertimientos muestreados en los municipios de Condoto, Tadó y Cértegui (figuras 7.31, 7.32 y 7.33) permiten determinar que en estas zonas existe tendencia a encontrar aguas superficiales ácidas.

Estos valores de pH pueden ser explicado por la mineralogía misma de la zona que no presenta elementos o compuestos de propiedades básicas que contribuyan a pH más elevados pero si presentan aluminio que

puede generar problemas de acidez a los suelos y que por las escorrentías y las lluvias ácidas entran en contacto con las aguas superficiales de las quebradas (Parménides, F, 2002).

Figura 7.31. Valores de pH de las aguas superficiales y vertimientos muestreados en Condoto

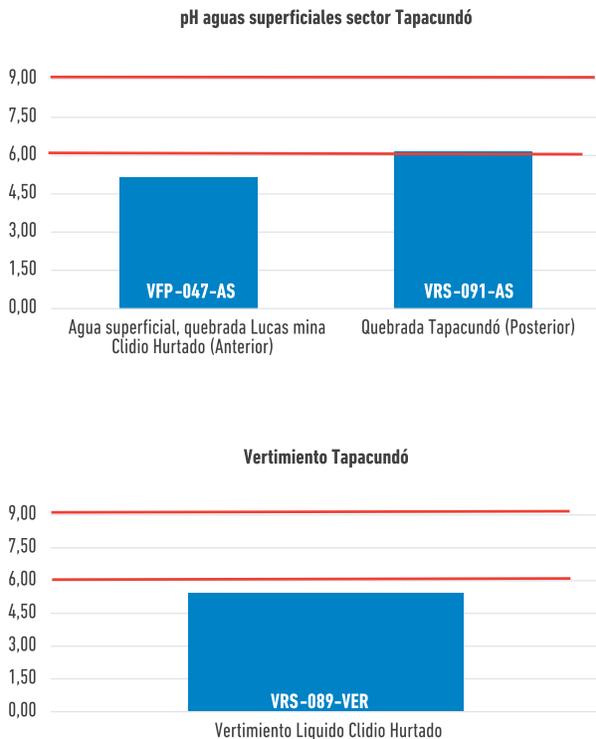


Figura 7.32. Valores de pH de líquidos en el sector de la mina Carmelito

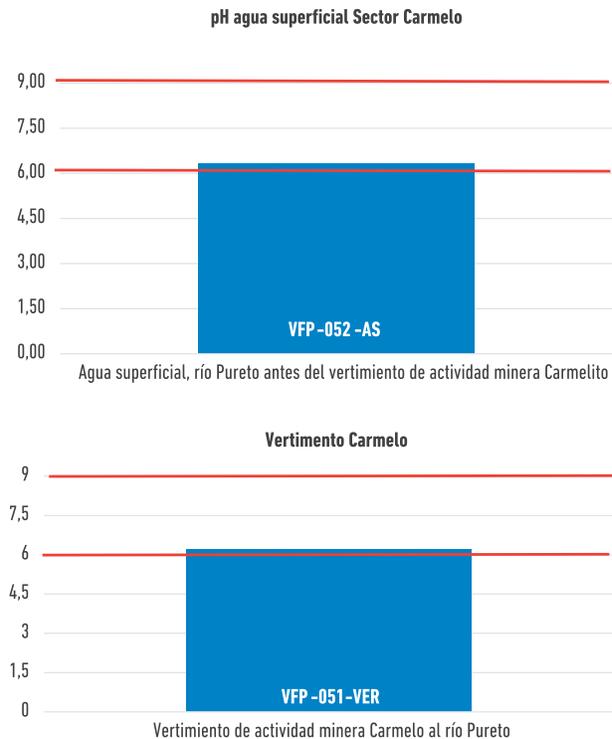
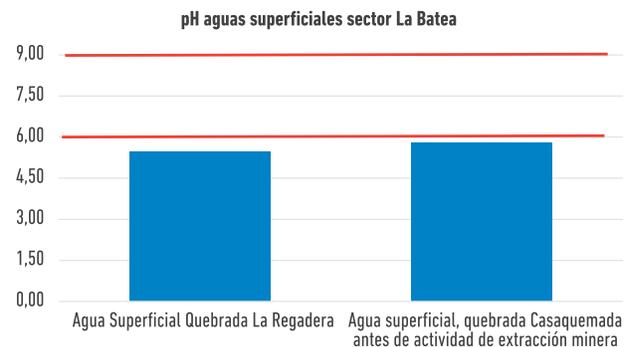


Figura 7.33. Valores de pH para aguas superficiales en el sector de la mina La Batea



7.8.6. DETERMINACIÓN DE MERCURIO EN AGUAS SUPERFICIALES MEDIANTE DESCOMPOSICIÓN TÉRMICA Y AMALGAMACIÓN CON ORO ACOPLADO A ESPECTROFOTOMETRÍA DE ABSORCIÓN ATÓMICA

En las figuras 7.34 y 7.35 se muestran los resultados de la cuantificación de mercurio por espectrofotometría de absorción atómica (EAA) en las muestras de agua que se filtraron al momento de la toma del sedimento activo, así como en aguas superficiales y de humedales. El caudal de las fuentes hídricas asociadas promueve el transporte del mercurio hacia zonas de menor velocidad, por lo cual, y teniendo en cuenta que se trata de un elemento pesado, es más probable obtener valores cuantificables de mercurio por EAA en sedimentos, lo que explica que los valores hallados sean significativamente bajos. Según el Decreto 1076 de 2015 (Minambiente, 2015), la concentración de mercurio para agua destinada al tratamiento para consumo humano y uso doméstico debe ser inferior a 0,002 mg/L, mientras que para uso pecuario y conservación de fauna y flora no debe superar 0,01 mg/L.

Figura 7.34. Contenido de mercurio en las muestras de agua de sedimento activo de las fuentes hídricas de las zonas mineras de Condoto, Cértegui, Tadó y Unión Panamericana

DESCRIPCIÓN	MUNICIPIO	VEREDA	Hg (mg/L)	Hg (µg/L)
Agua de sedimento activo quebrada Tapacundó (posterior)	Condoto	Tapacundó	D.L.C*	0,6839
Agua de sedimento activo quebrada Lucas mina Clidio Hurtado (anterior)	Condoto	Tapacundó	D.L.C*	0,9426
Agua de pozo	Condoto	Espantamuertos	D.L.C*	0,1731
Agua de sedimento activo La Regadera	Cértegui	La Batea	D.L.C*	0,0016
Agua de sedimento activo, quebrada Casaquemada (anterior)	Cértegui	La Batea	D.L.C*	0,1327
Agua de sedimento activo quebrada Taurá	Tadó	Playa de oro	D.L.C*	0,518
Agua de sedimento activo quebrada San Antonio	Tadó	San Antonio	D.L.C*	0,3976
Agua de sedimento activo quebrada Las Ánimas (posterior)	Unión Panamericana	La Toma	D.L.C*	0,3217
Agua de sedimento activo quebrada Las Ánimas (anterior)	Unión Panamericana	La Toma	D.L.C*	0,298

D.L.C. = Debajo de límite de cuantificación.

Figura 7.35. Contenido de mercurio en las muestras de agua superficial y humedales de las zonas mineras de Condoto, Cértegui, Tadó y Unión Panamericana

DESCRIPCIÓN	MUNICIPIO	VEREDA	Hg (mg/L)	Hg (µg/L)
Agua superficial quebrada Tapacundó (posterior)	Condoto	Tapacundó	0,0008	0,8521
Agua superficial, quebrada Lucas Clidio Hurtado – (anterior)	Condoto	Tapacundó	0,0001	0,1121
Agua de alimentación proceso en planta de beneficio AuVert, recirculada entre clarificador y humedal	Condoto	Espantamuertos	0	0,0001
Agua superficial, quebrada Casaquemada (anterior)	Cértegui	La Batea	0	0,0652
Agua superficial quebrada La Regadera	Cértegui	La Batea	0,0001	0,1341
Agua de humedal - alimentación para procesamiento sector Calo	Cértegui	Calo	0,0003	0,3191
Agua superficial quebrada Taurá	Tadó	Playa de oro	0,0006	0,5895
Agua superficial quebrada San Antonio	Tadó	San Antonio	0,0004	0,3647
Agua de humedal, procesamiento en la mina La Loma Nilo y Leonel	Tadó	Playa de Oro	0,0001	0,1082
Agua de humedal, procesamiento en la mina El Coco - La cantera San José	Tadó	San Antonio	0,0002	0,2257
Agua superficial, río Pureto anterior al vertimiento de Carmelo	Tadó	Carmelo	0	0,0592
Agua superficial de la quebrada Las Ánimas (posterior)	Unión Panamericana	La Toma	0,004	0,3644
Agua superficial después de vertimiento Las Ánimas	Unión Panamericana	La Toma	0,0004	0,4199

D.L.C. = Debajo de límite de cuantificación.

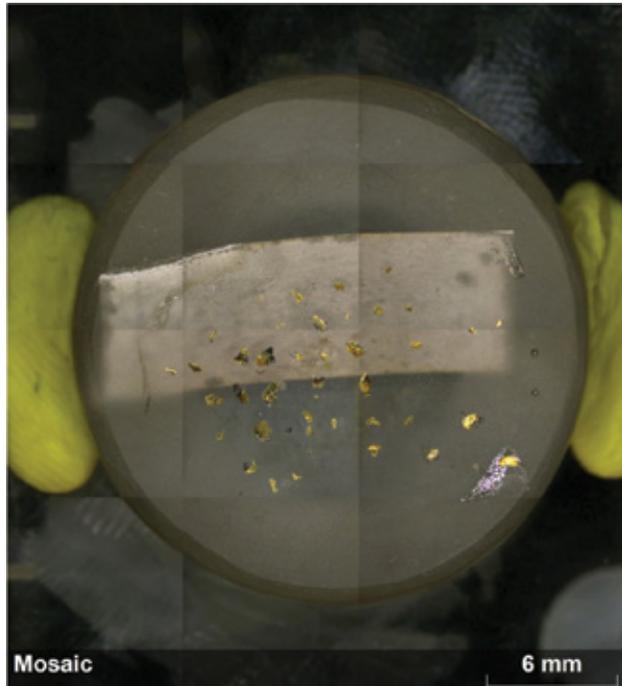
7.9. RESULTADOS ANEXOS REALIZADOS POR MICROFLUORESCENCIA DE RAYOS X

La técnica de micro fluorescencia de rayos X (μ FRX) permite realizar análisis con un tamaño de spot de hasta 20 μ m, permitiendo de este modo tener información más detallada de la muestra.

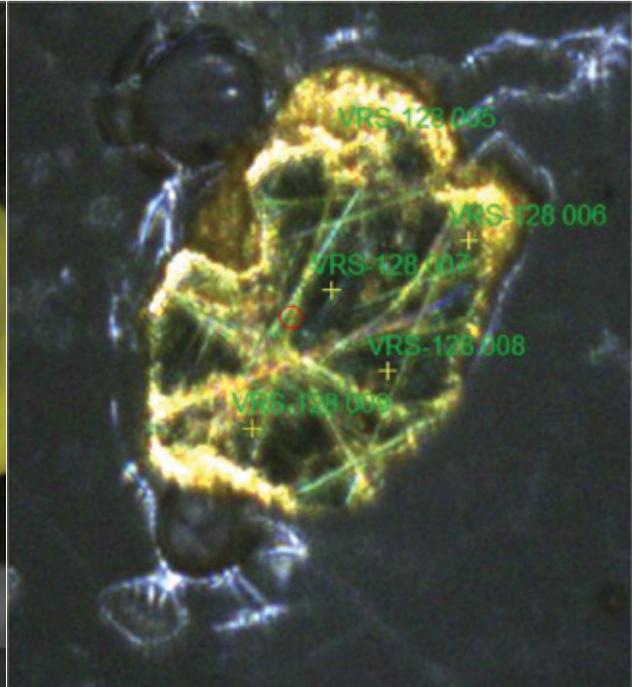
Con la adquisición de un equipo de μ FRX por parte del SGC se tuvo la oportunidad de analizar de forma más detallada algunas muestras de oro de la zona Chocó. Las muestras de oro analizadas fueron preparadas por el laboratorio de Mineralogía, usando la técnica de *picking* y ubicando los granos en una briqueta.

Los análisis de μ FRX se realizaron bajo los siguientes parámetros: en vacío, con tubo de Rodio, a 50 kV, 300 μ A, spot de 20 μ m y una exposición de 60 s. Cada uno de los granos recibió una cantidad de disparos según su tamaño, entre 3 y 10 aproximadamente.

Fotografía 7.11. Briqueta con granos de oro

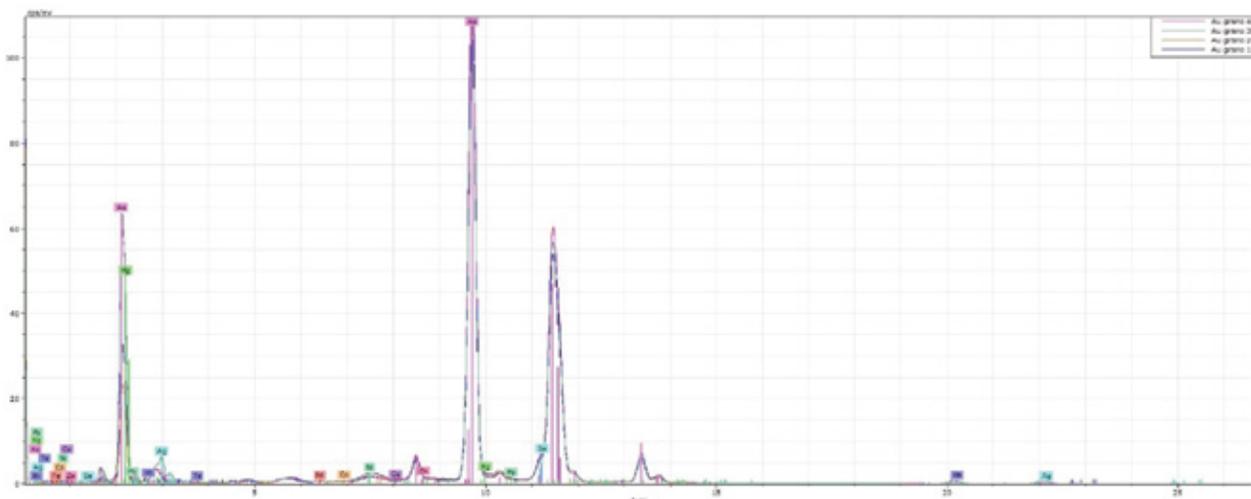


Fotografía 7.12. Grano de oro con la ubicación de los disparos. El círculo rojo representa el tamaño del spot del equipo



Se trabajaron 7 briquetas de diferentes minas de la zona, para un total de 88 granos y más de 450 disparos. Cada disparo genera un espectro, al cual se le identifican los elementos presentes para luego generar una cuantificación.

Figura 7.36. Ejemplo de espectro generado por μ FRX



Posterior al análisis de μ FRX y el tratamiento estadístico de la cuantificación, los resultados mostraron información de la composición elemental de los granos, las minas (briquetas) y la relación entre ellos. Esta información nos permite ver cómo varían los porcentajes elementales dentro del área de análisis del grano (por ejemplo, en la relación oro/plata).

Adicional a esta proporción oro/plata también se identificaron otros elementos en la composición de los granos, los cuales, gracias a las capacidades del equipo, se pueden llegar a cuantificar hasta en 20 μ g/g.

Figura 7.37. Origen de las muestras

TIPO DE MUESTRA	MINA	VEREDA	MUNICIPIO	DEPARTAMENTO
Concentrado de batea de oro aluvial de draga Henry	Río Tapacundó	Tapacundó	Condoto	Chocó
Concentrado de batea de oro aluvial "Clidio Hurtado"	Mina Clidio Hurtado	Tapacundó	Condoto	Chocó
Concentrado de batea La Loma "Milo y Leonel"	Mina La Loma Milo y Leonel	Playa de Oro	Tadó	Chocó
Concentrado de batea frente 2 mina "La Platina"	Mina La Platina	Playa de Oro	Tadó	Chocó
Concentrado de batea "mina El Coco" José Ángel Valderrama	Concentrado de mina El Coco	San Antonio	Tadó	Chocó
Concentrado de explotación "La Batea", Juanita y Leonardo	Concentrado de batea mina La Batea	La Batea	Cértogui	Chocó
Concentrado de batea "mina Calo"	Concentrado de batea mina Calo	Calo	Cértogui	Chocó

Figura 7.38. Porcentajes Oro y Plata en granos de oro

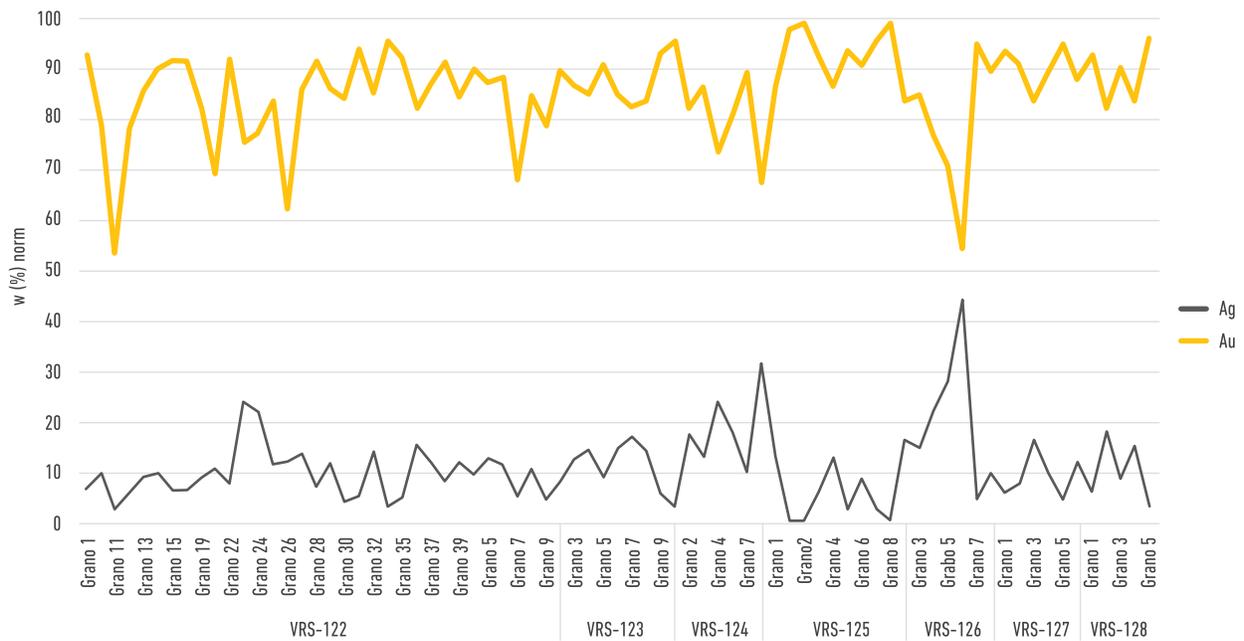


Figura 7.39. Porcentajes de oro y plata por mina (briqueta)

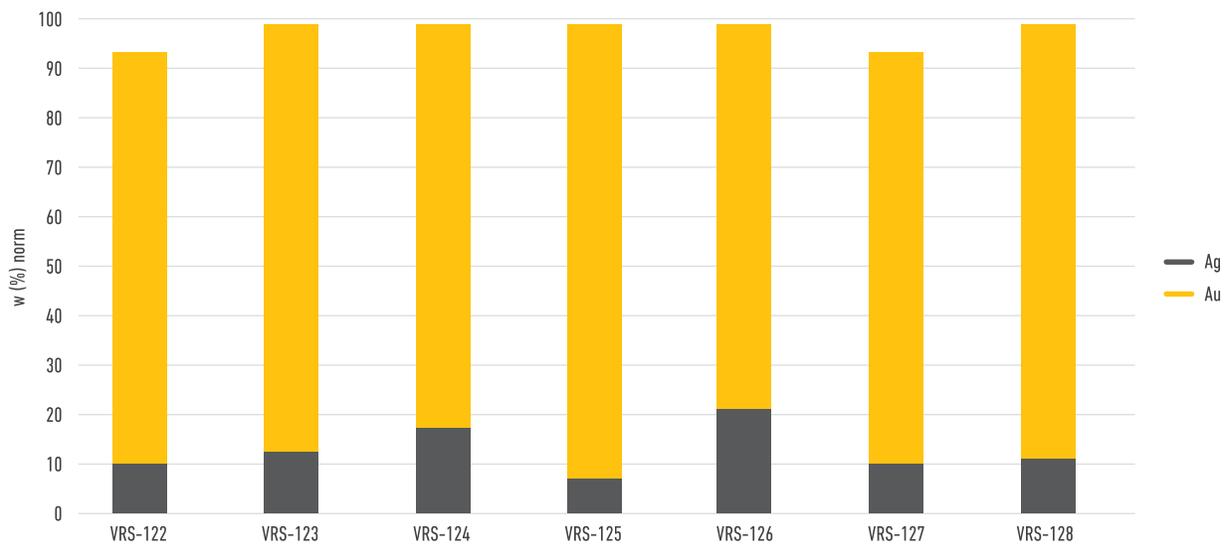
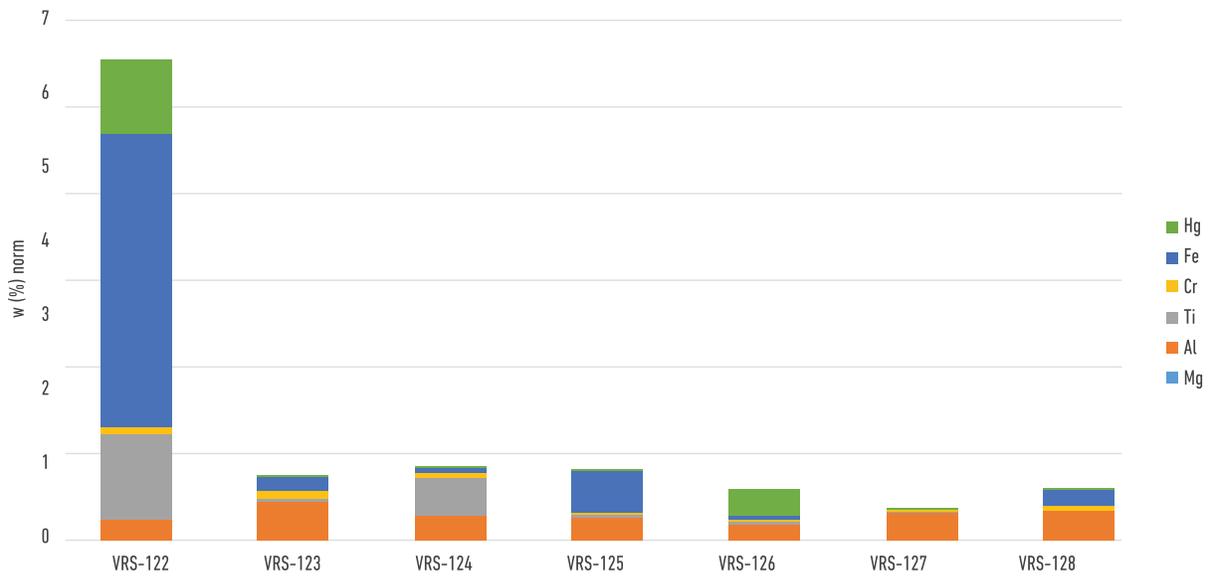
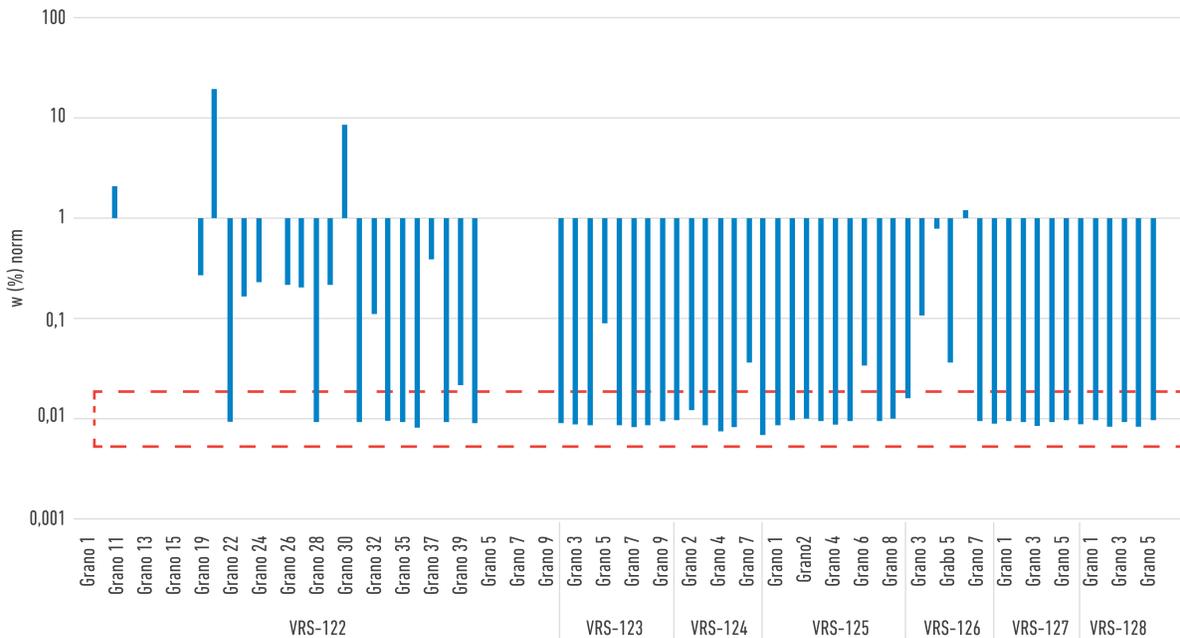


Figura 7.40. Porcentajes de elementos trazas por mina (briqueta)



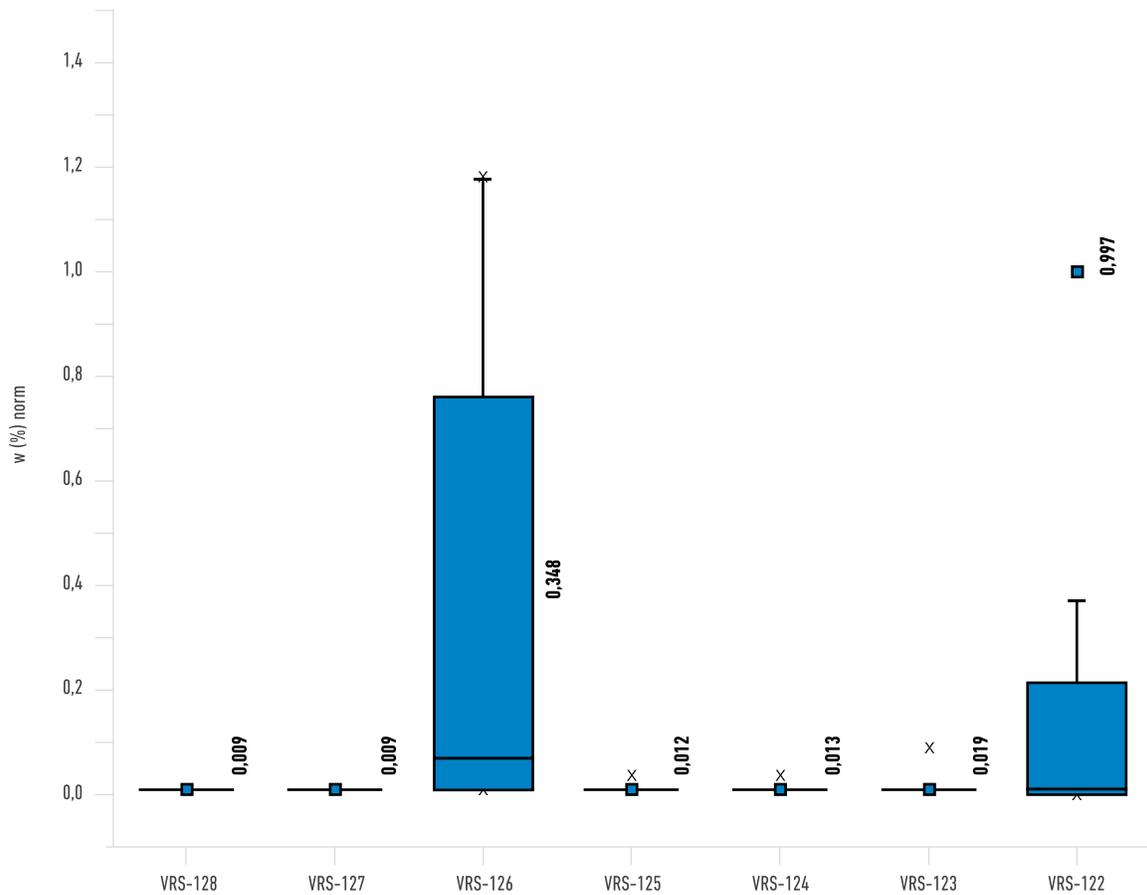
Entre los elementos que se identificaron se encuentran mercurio, hierro, titanio y aluminio. Para el caso del mercurio, se observó que el 57 % de los granos contenían alrededor de 100 ppm de este elemento.

Figura 7.41. Resultados porcentaje de mercurio por grano en escala logarítmica
Nota: El área demarcada roja indica las muestras cerca a los 100 ppm



La evaluación por mina de este elemento mostró una diferencia significativa de las minas El Coco y Calo respecto a las demás analizadas.

Figura 7.42. Resultados mercurio por mina (briqueta), diagrama *boxplot*



7.10. ESTRATEGIAS IMPLEMENTADAS PARA EL MANEJO AMBIENTAL

En la visita a las zonas mineras del Chocó, se identificaron estrategias de manejo ambiental a través de las cuales se busca la recuperación de los suelos, y con ello la facilidad de retención de agua y la llegada de organismos vivos. En la fotografía 7.13 se presentan fotografías de la revegetalización con pastos, y en la fotografía 7.14 la revegetalización con yarumos, que ha implementado la planta Au-Vert como forma de restauración de las propiedades del suelo, dados los impactos ambientales ocasionados por la explotación de depósitos de oro aluvial.

Fotografía 7.13. Ejemplo de revegetalización con pastos en Au-Vert



Fotografía 7.14. Ejemplo de revegetalización con yarumos en Au-Vert



Adicionalmente, se ha trabajado en la construcción de unas lagunas de decantación, mediante las cuales se logra la clarificación del agua y se evitan las descargas de material con sólidos suspendidos (fotografía 7.15).

Fotografía 7.15. Laguna de decantación en Au-Vert



De igual manera, en la vereda La Batea, en el municipio de Cértegui, se han implementado estrategias de reforestación empleando yarumos y pastos, como se indica en las fotografías 7.16 y 7.17. Los objetivos que se persiguen con estas estrategias son la contribución a la recuperación del suelo y a la mejora del paisaje que se ha ido deteriorando por la explotación aluvial.

Fotografía 7.16. Mina La Batea, reforestación con yarumos



Fotografía 7.17. Mina La Batea, revegetalización con pastos



7.11. RESUMEN DE RESULTADOS REPRESENTATIVOS DE LOS ANÁLISIS QUÍMICOS Y AMBIENTALES POR SECTORES DEL DISTRITO MINERO DE CHOCÓ

Figura 7.43. Caracterización química y ambiental de las muestras recolectadas en la mina Clidio Hurtado, vereda Tapacundó (Condoto)

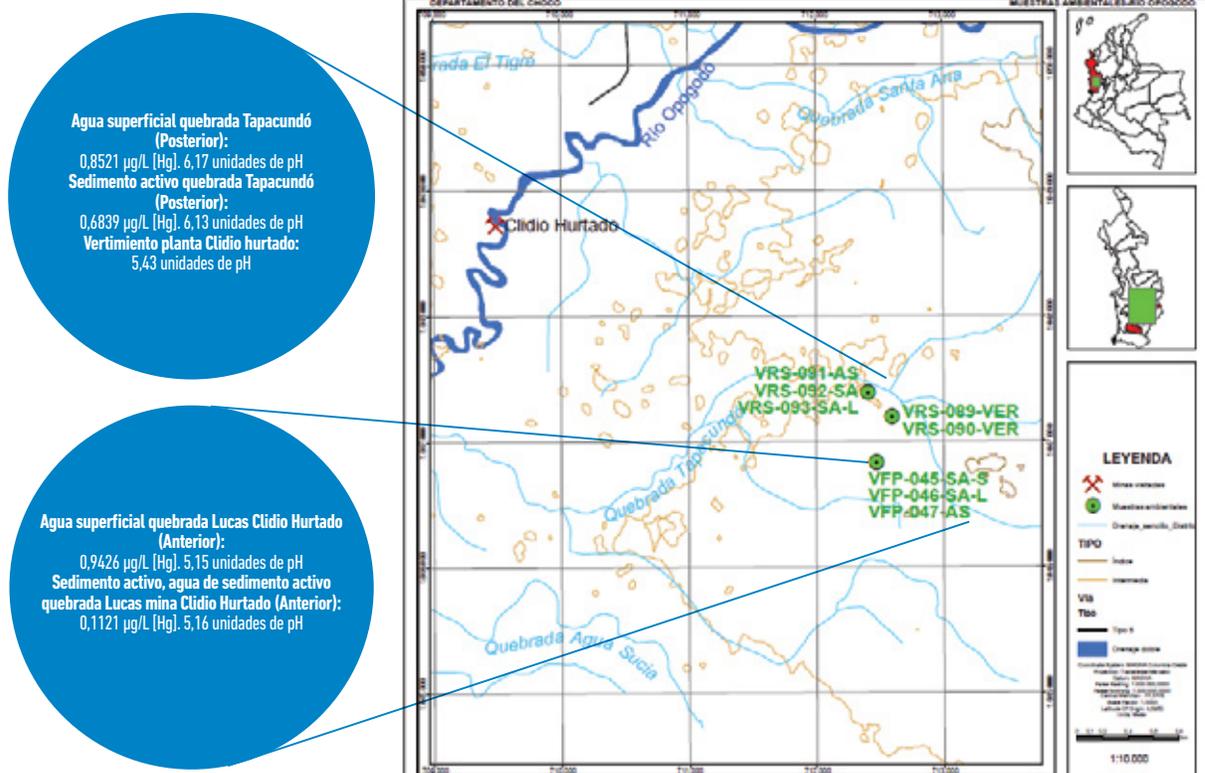


Figura 7.44. Caracterización química y ambiental de las muestras recolectadas en la planta de beneficio aluvial Au-Vert, vereda Espantamuertos (Condoto)

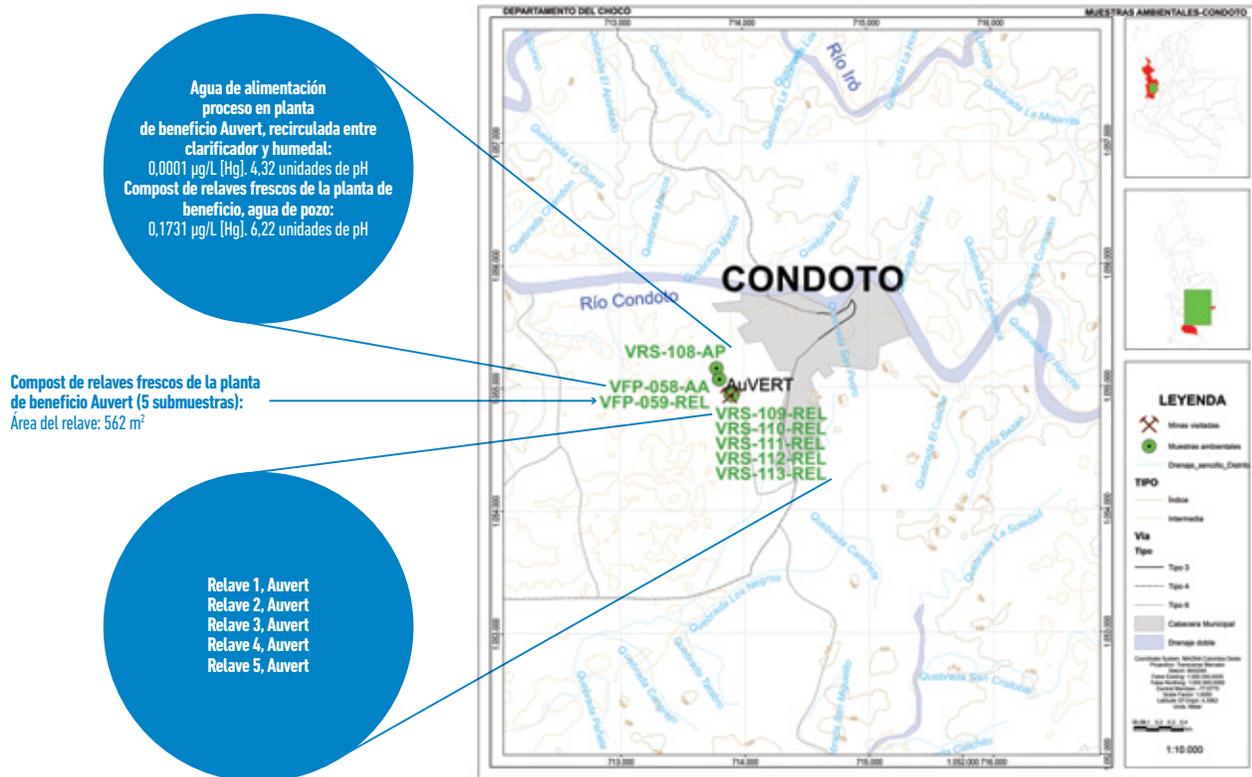


Figura 7.45. Caracterización química y ambiental de las muestras recolectadas en la mina La Loma Nilo y Leonel, veredas Playa de Oro y El Carmelo (Tadó)

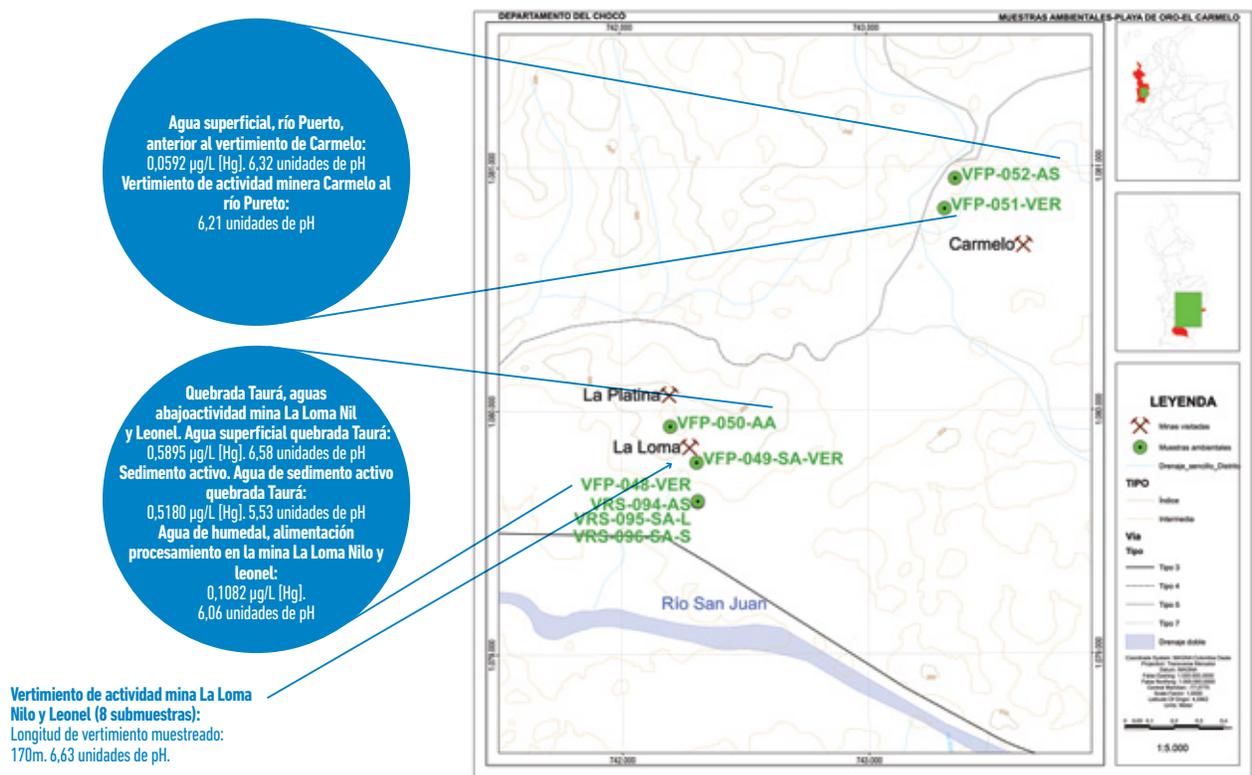


Figura 7.46. Caracterización química y ambiental de las muestras recolectadas en la mina El Coco-San José, vereda San Antonio (Tadó)

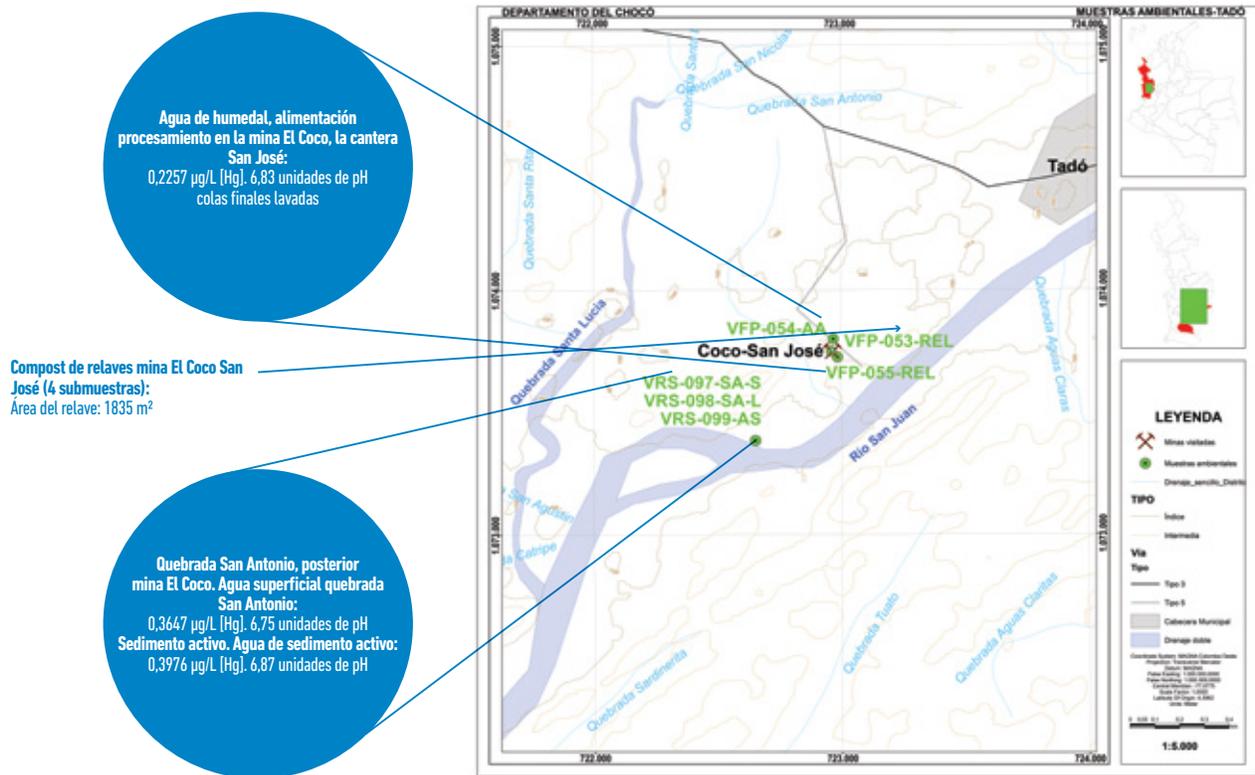


Figura 7.47. Caracterización química y ambiental de las muestras recolectadas en las minas La Toma y Santa Rita, vereda La Toma (Unión Panamericana)

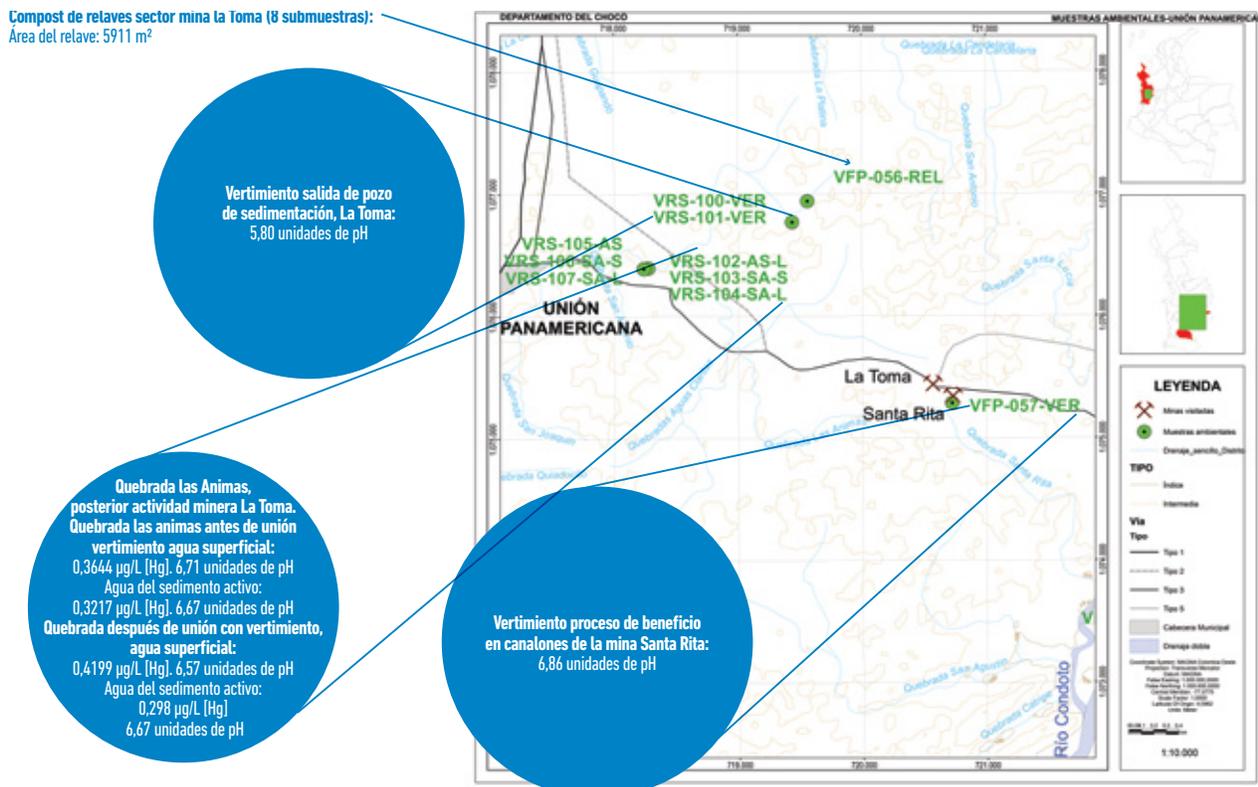
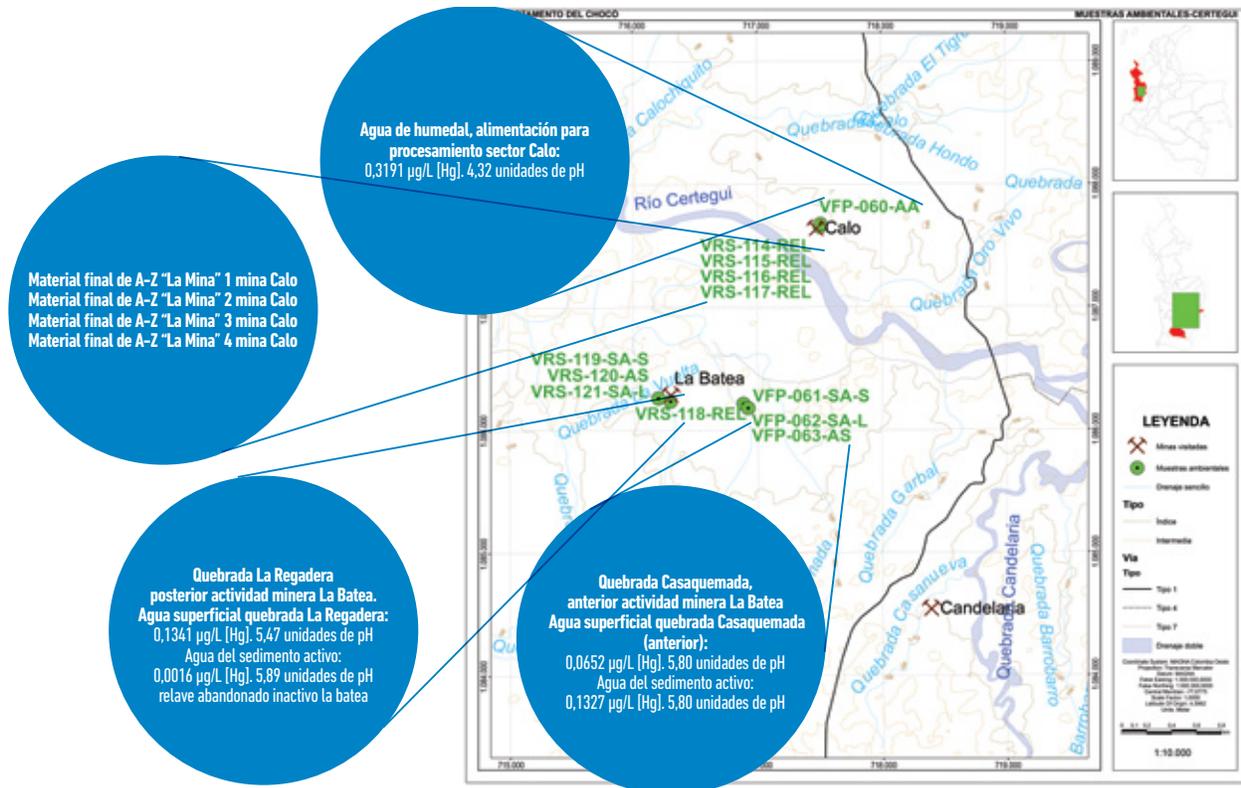


Figura 7.48. Caracterización química y ambiental de las muestras recolectadas en las minas Calo y La Batea (Cértegui)



7.12. CONCLUSIONES

- De acuerdo con los resultados de FRX para materiales de cabeza de los municipios del Chocó, en ellos se encuentra principalmente silicio, hierro, aluminio y calcio, lo que se relaciona con la presencia de cuarzo y horblendas, así como de óxidos de hierro (tales como hematitas y magnetitas), además de ilmenitas, dada la detección de titanio como uno de los elementos mayores. También se presentan contenidos de fósforo, indicadores de la presencia de apatitas.
- Los contenidos de elementos en material de cabeza determinados por FRX muestran variaciones entre municipios y veredas, pero son congruentes al compararse relaves y sedimentos activos en la misma zona.
- A partir de la cuantificación de la composición elemental de las muestras de relaves por medio de FRX, se corrobora la presencia de minerales como hematitas, ilmenitas y magnetita, que se encuentran en proporciones mayores. La concentración de sulfuros es baja, debido a que el azufre, en todos los casos analizados (Tadó, Cértegui y Condoto), es bajo y los elementos con los cuales pueden asociarse para formar sulfuros polimetálicos se hallan en trazas. Se destaca también la presencia de feldespatos, apatitos y baritinas.
- El contenido elemental en sedimentos activos determinados por FRX muestra congruencia con el contenido mostrado en material de cabeza, indicando que estos elementos son de origen geogénico y que se han transportado a través de la corriente de las quebradas, desde la parte alta donde se encuentra su nacimiento.

El contenido elemental en sedimentos activos determinados por FRX muestra congruencia con el contenido mostrado en material de cabeza, indicando que estos elementos son de origen geogénico y que se han transportado a través de la corriente de las quebradas, desde la parte alta donde se encuentra su nacimiento

- La técnica de FRX para las muestras ambientales de la minería de aluvión practicada en el departamento del Chocó no permitió detectar elementos como plomo o arsénico, que generalmente se encuentran en la minería de socavón, además de que el contenido de elementos pesados en todas las muestras evaluadas en este estudio resulta mucho menor.
- Con respecto a la cuantificación de mercurio realizada mediante descomposición térmica y amalgamación con oro, acoplado a espectrofotometría de absorción atómica con vapor frío, en aguas superficiales, aguas de humedales y aguas de sedimentos activos, se tiene que los niveles de este analito oscilan entre los 0,0001 µg/L y 0,9426 µg/L, lo cual no es significativo al compararse con la normatividad colombiana.
- En general, en los municipios de Condoto, Tadó y Cértegui, los resultados de pH de aguas superficiales permiten determinar que estas aguas son de tendencia ácida, lo que se explica por la mineralogía de la zona, particularmente por la presencia de aluminio, que puede generar problemas de acidez a los suelos y que por las escorrentías y las lluvias ácidas entra en contacto con las aguas superficiales de las quebradas.

Con respecto a la cuantificación de mercurio realizada mediante descomposición térmica y amalgamación con oro, acoplado a espectrofotometría de absorción atómica con vapor frío, en aguas superficiales, aguas de humedales y aguas de sedimentos activos, se tiene que los niveles de este analito oscilan entre los 0,0001 µg/L y 0,9426 µg/L, lo cual no es significativo al compararse con la normatividad colombiana

7.13. RECOMENDACIONES

Para el desarrollo de la minería aluvial es recomendable hacer una planificación detallada de cómo se llevará a cabo la extracción del valor, de manera que se contemplen los impactos ambientales significativos asociados al uso de maquinaria pesada. Por ende, es necesaria la implementación de planes que promuevan la reconstrucción de los ecosistemas afectados, ideando planes de reforestación con especies nativas y dando apertura a la llegada de especies autóctonas. Resulta clave resaltar la importancia de la eliminación del uso de mercurio en la amalgamación del oro, dado que este elemento limita significativamente la recuperación paisajística y del ambiente, llegando a ser perjudicial para la salud humana.

Para el desarrollo de la minería aluvial es recomendable hacer una planificación detallada de cómo se llevará a cabo la extracción del valor, de manera que se contemplen los impactos ambientales significativos asociados al uso de maquinaria pesada. Por ende, es necesaria la implementación de planes que promuevan la reconstrucción de los ecosistemas afectados, ideando planes de reforestación con especies nativas y dando apertura a la llegada de especies autóctonas. Resulta clave resaltar la importancia de la eliminación del uso de mercurio en la amalgamación del oro, dado que este elemento limita significativamente la recuperación paisajística y del ambiente, llegando a ser perjudicial para la salud humana



8.

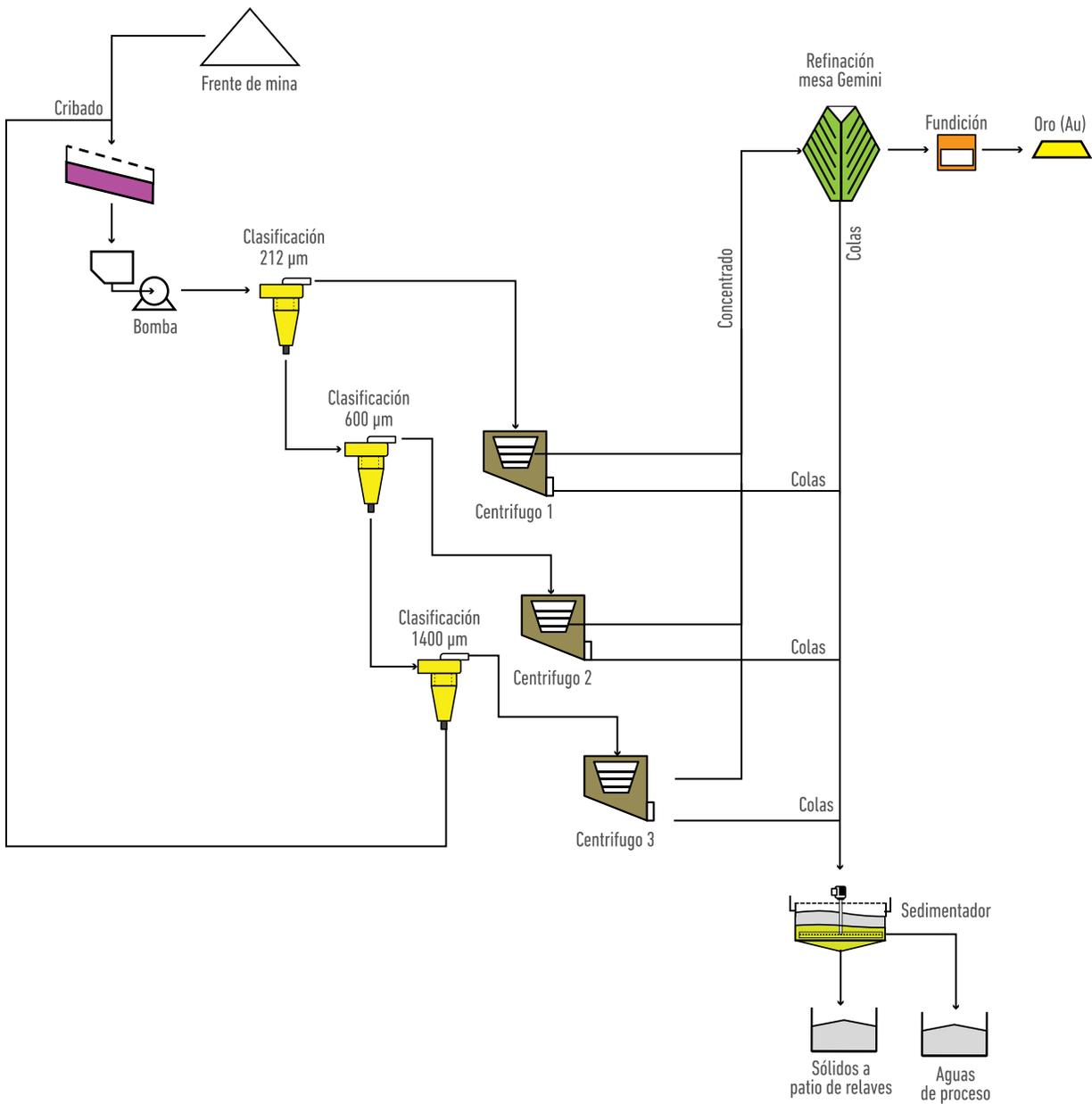
RUTA METALÚRGICA PROPUESTA PARA LA ZONA MINERA

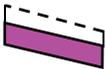
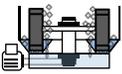
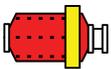
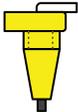
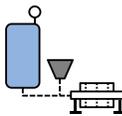
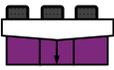
Comunidad llevando a cabo la actividad de “barequeo” del material de rechazo en la mina Calo.
Fotografía tomada por Gabriel Pantoja, Servicio Geológico Colombiano

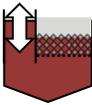
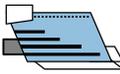
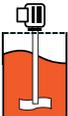
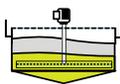
8.1. PROCESO DE BENEFICIO SUGERIDO

En la figura 8.1 se presenta el diagrama de flujo de la planta de beneficio que se implementaría en la zona minera, con sus respectivas líneas de entradas y salidas de cada operación unitaria. Este diagrama responde a la ruta metalúrgica propuesta y al montaje de la planta sugerida.

Figura 8.1. Diagrama de flujo de proceso de beneficio sugerido



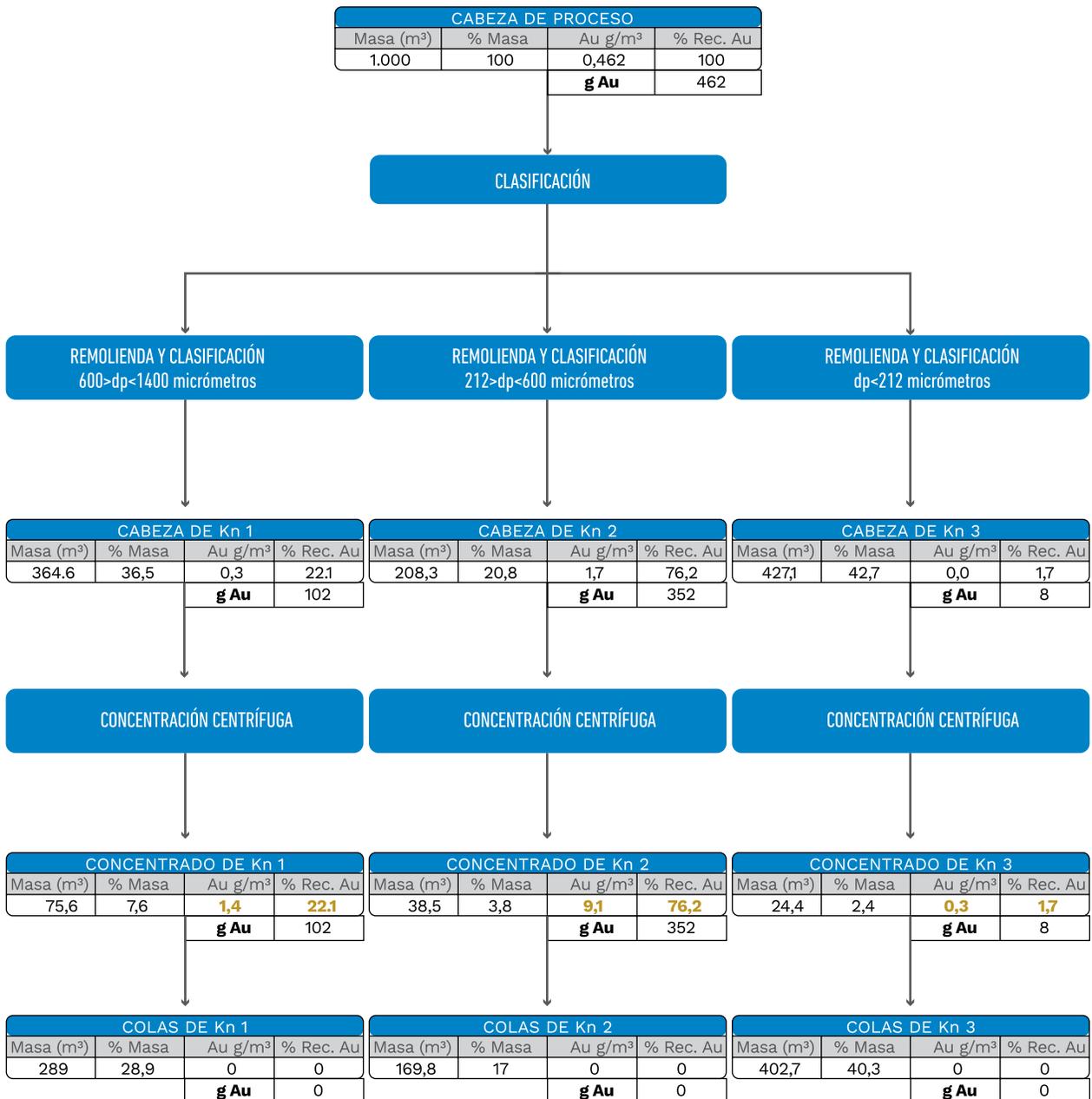
SÍMBOLO	MÁQUINA	FOTOGRAFÍA
	TOLVA	
	TRITURADORA DE QUIJADAS	
	CRIBA VIBRATORIA	
	MOLINO CHILENO	
	MOLINO DE BOLAS	
	HIDROCICLÓN	
	BANDA TRANSPORTADORA	
	MERRIL CROWE	
	CELDA DE FLOTACIÓN CIRCULARES	
	TANQUE DE COLAS	
	CONCENTRADOR CENTRÍFUGO KNELSON	

SÍMBOLO	MÁQUINA	FOTOGRAFÍA
	JIG CONCENTRADOR GRAVIMÉTRICO	
	CAJA DE PULPA	
	BOMBA CENTRÍFUGA	
	MESA DE CONCENTRACIÓN	
	TANQUES AGITADORES	
	TANQUE SOLUCIÓN RICA	
	TANQUE SOLUCIÓN POBRE	
	TANQUE DE AGUA DE PROCESO	
	SEDIMENTADOR / TANQUE ESPESADOR	
	FUNDICIÓN CRISOL	
	ALIMENTADOR TIPO GRIZZLY	

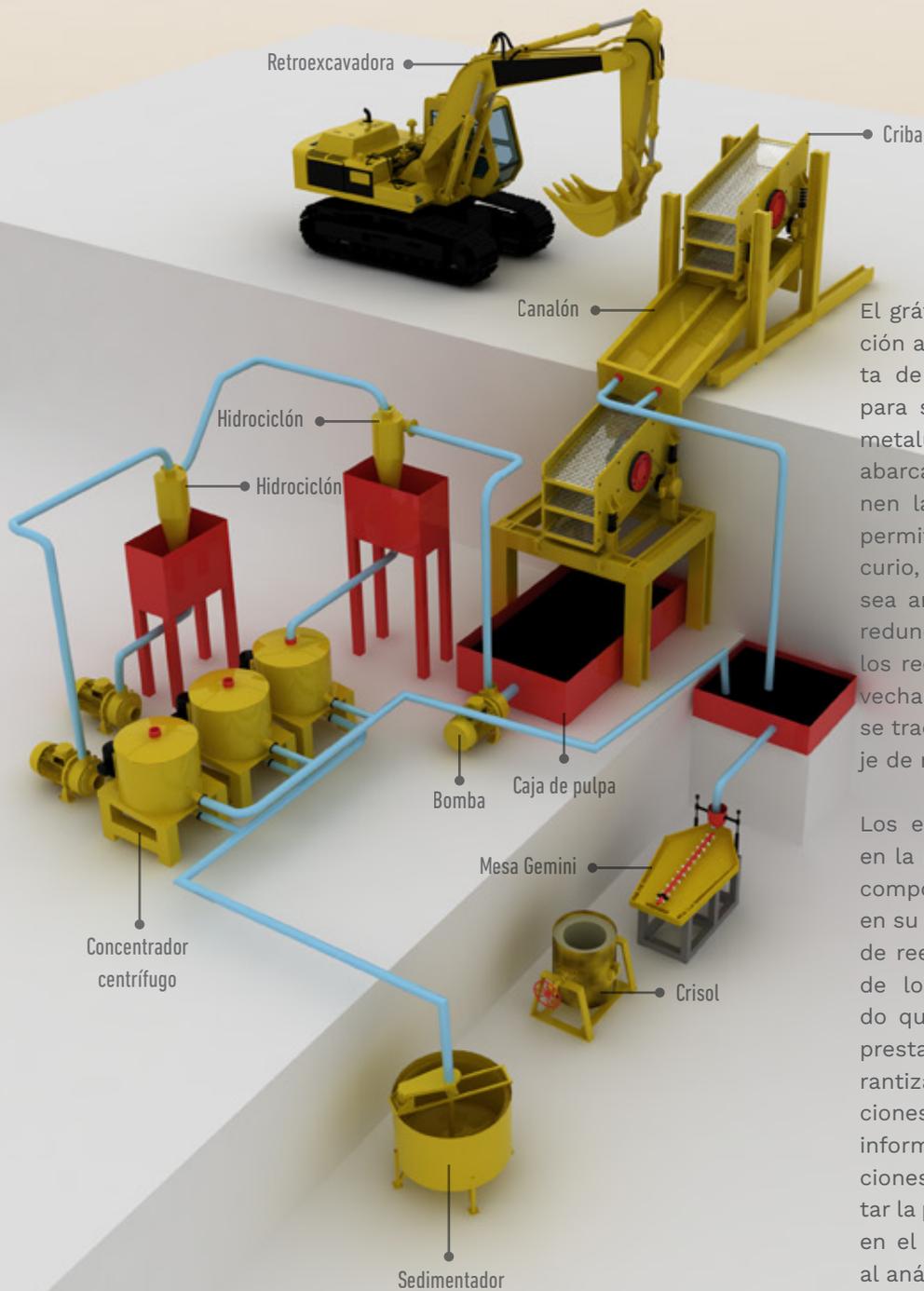
8.2. BALANCES DE MATERIA DEL PROCESO SUGERIDO

Se presentan el diagrama de flujo sugerido con el balance de materia que permiten visualizar y tener control de la cantidad de mineral de entrada y salida, así como de oro procesado en cada etapa del circuito de beneficio.

Figura 8.2. Diagrama de balance de materia



8.3. MONTAJE DE LA PLANTA DE BENEFICIO SUGERIDA



El gráfico muestra una aproximación a la configuración de la planta de beneficio que se requiere para seguir los pasos de la ruta metalúrgica sugerida. Además, abarca los equipos que componen la planta de beneficio. Esto permitirá la eliminación del mercurio, lo que hará que el proceso sea ambientalmente sostenible y redundará en una optimización de los recursos y en un mayor aprovechamiento del material, lo cual se traduce en un mayor porcentaje de recuperación de oro.

Los equipos que se representan en la imagen se basan en los que componen la planta piloto del SGC en su sede de Cali. El minero puede reemplazarlos por los equipos de los que disponga, verificando que sean equivalentes en las prestaciones ofrecidas para garantizar la eficiencia de las operaciones unitarias. Para tener mayor información sobre las especificaciones técnicas se puede consultar la parte de maquinaria descrita en el capítulo 9, correspondiente al análisis económico y financiero. En este apartado se exponen las potencias de los motores y la capacidad de procesamiento.

8.4. CONCLUSIONES SOBRE LOS MATERIALES QUE ALIMENTAN LAS PLANTAS DE BENEFICIO DE LA ZONA ESTUDIADA Y EL MÉTODO METALÚRGICO

- Los resultados de los ensayos para determinación de las propiedades físicas de los minerales de cabeza de proceso en las minas de la zona del Chocó muestran que la densidad de los minerales se encuentra en el rango de 2,5-2,6 g/cm³, lo cual es un indicador de que las muestras de cabeza están compuestas por minerales con baja densidad.

8.4.1. CON RESPECTO A LA CONCENTRACIÓN GRAVIMÉTRICA

- Los resultados de los ensayos de concentración en mesa Wilfley de las muestras de las minas de la zona, muestran que la concentración gravimétrica presenta una tasa de enriquecimiento de oro entre 13 y 29, lo que indica la viabilidad de dicha operación unitaria para el beneficio del oro de las menas auríferas anteriormente mencionadas. Adicionalmente los resultados de análisis de óxidos por FRX muestran que los concentrados de mesa tienen proporciones de SiO₂ alrededor del 30%, lo que significa que se obtiene un concentrado poco limpio de minerales de ganga que debe ser refinado.
- Los resultados de refinación en batea de los concentrados gravimétricos obtenidos en mesa Wilfley para todas las muestras de las minas de la zona, mostraron altas recuperaciones de oro. Este resultado corrobora las observaciones realizadas en el análisis mineralógico donde se muestra que las partículas de oro de las muestras de la zona son mayores a 150 µm.

8.4.2. CON RESPECTO A LA CONCENTRACIÓN POR FLOTACIÓN

- Los resultados de los ensayos de concentración por flotación de las muestras de las minas de la zona de Chocó, muestran que la flotación presenta es una alternativa secundaria para recuperar el oro fino (~100micrómetros) que pueda estar presentes en los rechazos de los procesos gravimétricos, ya que se observaron granos de oro en los concentrados de flotación.

8.5. CONCLUSIONES ACERCA DE LA SUSTITUCIÓN DE LA AMALGAMACIÓN

- En la zona se conocen y en algunos casos se practican las técnicas alternativas para abolir el mercurio. Los resultados de tenor obtenidos de las muestras tomadas en plantas desarrolladas son similares a los obtenidos en este documento con la ruta metalúrgica propuesta.
- La recuperación de oro con el método alternativo propuesto se incrementa dos veces respecto a lo que se obtiene con el método de amalgamación actualmente utilizado, según algunos tenores medios de las colas de proceso de las plantas de beneficio visitadas.

La recuperación de oro con el método alternativo propuesto se incrementa dos veces respecto a lo que se obtiene con el método de amalgamación actualmente utilizado, según algunos tenores medios de las colas de proceso de las plantas de beneficio visitadas

8.6. CONSIDERACIONES SOBRE LAS PLANTAS DE BENEFICIO EN LA ZONA ESTUDIADA

- Las recuperaciones de oro en las plantas de beneficio visitadas arrojaron recuperaciones alrededor del 50% según los tenores de oro tomados tanto a las cabezas de proceso como a las colas.
- Mediante la mineralogía de procesos se evidenció que, en las colas de los procesos gravimétricos de las minas visitadas, hay una gran variedad de tamaños de grano de oro, el cual oscila entre 70 y 300 micrómetros.

Mediante la mineralogía de procesos se evidenció que, en las colas de los procesos gravimétricos de las minas visitadas, hay una gran variedad de tamaños de grano de oro, el cual oscila entre 70 y 300 micrómetros

9.

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 pertinencia 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 mina y de su planta de beneficio, después de haber implementado la ruta metalúrgica propuesta en esta guía.

Producto de oro refinado en batea. Fotografía tomada por Gabriel Pantoja, Servicio Geológico Colombiano



9.1. 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.

9.1.1. GENERALIDADES SOBRE LOS PROYECTOS DE INVERSIÓN

9.1.1.1. DEFINICIÓN

Un proyecto de inversión puede definirse como un plan que consta de dos elementos esenciales: el primero, una serie de actividades secuenciales e interrelacionadas entre sí, y el segundo, la descripción de un agregado de recursos o medios que permitirán realizar la materialización de una idea, la solución de un problema o la satisfacción de una necesidad.

Los proyectos de inversión tienen varios orígenes. En el caso de los proyectos de 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, en función del precio y la calidad, y, a la vez, contribuir al desarrollo sostenible del lugar o comunidad en donde se desarrolla el proyecto

9.1.1.2. CLASIFICACIÓN

De modo general, los proyectos de inversión pueden clasificarse de tres formas:

- Según la categoría. Según esta clasificación, los proyectos pueden ser de prestación de servicios o de producción o fabricación de bienes (en este caso, el proyecto es de producción de bienes).
- 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).
- 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).

9.1.1.3. EL CICLO DE VIDA DE LOS PROYECTOS

La expresión 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, con el objetivo de que el inversionista pueda tomar la mejor decisión en función de sus necesidades.

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 llevan a cabo los estudios diagnósticos necesarios para identificar el problema o los problemas que se esperan solucionar, al igual que las oportunidades de negocio que puedan ser aprovechadas.

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 implementación de la propuesta de mejora 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.

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 tiene como propósito evaluar la viabilidad técnica de la producción 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.
- Estudio financiero, que permite cuantificar el monto de las inversiones necesarias para la implementación de la propuesta y definir potenciales ingresos y los posibles egresos de operación durante el período de evaluación del proyecto. Para el efecto se considera la información resultante de los estudios que le anteceden (de mercado, organizacional y técnico).

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 implementar el proyecto (desembolso del dinero) y finaliza en el momento en que el proyecto inicia su 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.

9.1.2. ESTUDIO Y EVALUACIÓN FINANCIERA DE PROYECTOS DE INVERSIÓN

9.1.2.1. PROPÓSITO DEL ESTUDIO FINANCIERO

El estudio financiero integra la información contenida en los demás estudios técnicos, y su objetivo primordial es valorar el monto de la inversión necesaria para la implementación de la propuesta, así como estimar los ingresos y egresos de la operación del proyecto durante el tiempo de evaluación.

9.1.2.2. 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 emplean de forma constante en la producción de bienes y servicios. El costo de estos activos comprende, además del valor de su compra, los demás gastos en que incurre la empresa para dejarlos en condiciones de uso. 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 clases: 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).

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 esta sección se incluye una explicación detallada de cada una de las etapas que comprende el estudio y la evaluación financiera de proyectos de inversión

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

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

De acuerdo con el Glosario minero de 2017, el costo operacional 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.

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

De acuerdo con el Glosario minero de 2017, los ingresos operacionales son la entrada de dinero a una empresa derivada de la venta de sus productos, servicios, operaciones financieras y otros.

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

9.1.2.3. PROPÓSITO DE LA EVALUACIÓN FINANCIERA

La evaluación financiera de proyectos tiene como objetivo fundamental comprobar la pertinencia de iniciar un proyecto, para lo cual es necesario valorar la rentabilidad de la inversión a la luz de las exigencias de rentabilidad propias del inversionista.

9.1.2.4. 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

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

rentabilidad del proyecto. En efecto, esta herramienta permite 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 la tasa interna de retorno (TIR), el valor presente neto (VPN) y la relación beneficio-costos (RB/C).

Valor presente neto

El valor presente neto (VPN) 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 (Mesa, 2010).

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, de acuerdo con lo planteado por Mesa (2010), 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

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, de acuerdo con lo planteado por Mesa (2010), son los siguientes:

Si la TIR es mayor que la tasa de descuento, se acepta el proyecto (el inversionista obtiene un rendimiento mayor que el 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

En este análisis se mide la relación beneficio-costo (RB/C) de un proyecto, que se obtiene mediante la división de la suma total de los ingresos generados durante el tiempo de evaluación entre la sumatoria de los costos del mismo, ambas sumas valoradas en pesos de hoy.

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

Los criterios para aceptar o rechazar un proyecto utilizando la relación beneficio-costo son los siguientes:

Si la RB/C es mayor que uno, se acepta el proyecto (los beneficios son mayores que los costos, aun si se incluye la inversión inicial).

Si la RB/C es igual a cero, es indiferente aceptar o no el proyecto (los beneficios son iguales a los costos).

Si la RB/C es menor que uno, se rechaza el proyecto (los beneficios son menores que los costos).

9.2. METODOLOGÍA PARA EL ESTUDIO Y EVALUACIÓN FINANCIERA DEL PROYECTO EN LA ZONA MINERA DE CHOCÓ

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 ruta metalúrgica propuesta para la zona minera de Chocó, al mismo tiempo que se exponen las recomendaciones técnicas (provenientes de los estudios geológico, minero, metalúrgico y químico-ambiental) que soportan la definición de las variables de operación de la mina y 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 futura de la mina y planta de beneficio típicas de la zona minera de Chocó

Para la realización del estudio financiero se establecieron unas variables de operación de la mina y de la planta de beneficio típicas 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.

- | | |
|---|---------------------------|
| • Tiempo de trabajo en mina | 24 h/día |
| • Volumen de material de mina extraído | 2.000 m ³ /día |
| • Volumen de material estéril extraído | 1.000 m ³ /día |
| • Volumen de material mineral extraído | 1.000 m ³ /día |
| • Capacidad de procesamiento planta | 83,3 m ³ /h |
| • Tiempo de funcionamiento de la planta | 24 h/día |
| • Volumen de procesamiento mineral + estéril) | 2.000 m ³ /día |

• Turnos por día	2
• Días de operación al mes	20
• Volumen de procesamiento (mineral + estéril)	40.000 m ³ /mes
• Volumen de material mineral procesado	20.000 m ³ /mes
• Tenor por metro cúbico de material de mina	0,462 g/m ³
• % Total de recuperación de oro	90%
• Recuperación total de oro	8.316 g/mes

9.2.1. 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 ruta metalúrgica, como se explica enseguida.

9.2.1.1. IDENTIFICACIÓN Y VALORACIÓN DE LA INVERSIÓN INICIAL

Activos Fijos

La inversión en activos fijos está representada en la adquisición de maquinaria y equipo tanto para las operaciones de explotación del material de mina, como para las operaciones unitarias del proceso de beneficio (incluyendo el costo de instalaciones eléctricas e hidráulicas para su funcionamiento) y el costo del montaje del laboratorio.

Maquinaria y equipo

Con el fin de implementar los procesos que se detallan en la ruta metalúrgica contenida en esta guía se ha incluido este rubro, que 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 de explotación del mineral y en la planta de beneficio”.

En la siguiente tabla se detalla la maquinaria y los equipos nuevos que se requieren para mejorar las operaciones en la fase de explotación del mineral, de acuerdo con las condiciones mineras de la zona.

Fase de explotación del mineral

De igual manera, en la siguiente tabla se relaciona la maquinaria y los equipos nuevos que deberán ser adquiridos para la implementación de la ruta metalúrgica propuesta.

Figura 9.1. Maquinaria para la fase de extracción del mineral

DESCRIPCIÓN DE MAQUINARIA Y EQUIPO	ESPECIFICACIÓN TÉCNICA	CANTIDAD
Retroexcavadora	Balde 1 m ³	3
Cargador de orugas	3 m ³	1
Compresor portátil diésel	Flujo de aire - cfm (m3/min) 185 /5.2	1
Planta de energía eléctrica	5,5 KVA	2
Bomba sumergible	1,5 HP	3

Fase de beneficio del mineral

La puesta en marcha de la propuesta de modernización requiere la compra total de la maquinaria que se relaciona enseguida. Estas especificaciones técnicas corresponden al volumen de material mineral que se debe explotar por día y a la capacidad de procesamiento de la planta de beneficio definida por el equipo técnico

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.

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.

Activos diferidos

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

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.

Figura 9.2. Maquinaria para la fase de beneficio del mineral

PROCESOS	MÁQUINA Y DESCRIPCIÓN	ESPECIFICACIÓN TÉCNICA	CANTIDAD
TRITURACIÓN Y MOLIENDA	Tolva para almacenar material de mina	4 m x 4m x 2m	1
	Criba vibratoria	1,20 x 2,40	1
	Caja de pulpa	0,80m x 0,80m x 1m	3
	Bomba de sólidos	2,5" x 2"	3
	Hidrociclón	6"	3
CONCENTRACIÓN	Mesa gemini de refinación	40kg/h	1
	Concentrador centrífugo	184 kg	3
FUNDICIÓN	Horno con crisol	Capacidad de 15 kg	1
MANEJO AMBIENTAL	Tanque auxiliares en lámina para neutralización	D= 3m, H=3,5m	2
	Tanque reactor	D=3m, H=3m	1

El monto de las inversiones que se requieren para mejorar las operaciones en la fase de explotación del mineral y la adecuación de la planta de beneficio (maquinaria y equipo e instalaciones eléctricas e hidráulicas y montaje de laboratorio) dependerá de las características de cada explotación minera y de cada planta, así como de la negociación del minero con su proveedor

Para el desarrollo de la explotación minera y el beneficio de oro se debe contar con dos criterios básicos: a) trabajar bajo el amparo de un título minero, y b) contar con licencia ambiental

9.2.1.2. IDENTIFICACIÓN Y VALORACIÓN DE COSTOS DE LA FASE DE EXPLOTACIÓN

En esta etapa se identificaron y valoraron monetariamente cada uno de los costos directos de la fase de explotación del material de mina.

Costos directos de la fase de explotación

Los costos directos de la fase de explotación del mineral tienen que ver con la adquisición de insumos (partes, accesorios, herramientas, suministros y combustible), la compra de elementos de seguridad industrial, la contratación de mano de obra, el mantenimiento de maquinaria y equipos, y la depreciación de bienes físicos.

Insumos para la fase de explotación

Respecto al rubro de insumos, se tiene en cuenta el costo mensual de la adquisición de partes y accesorios de la maquinaria y los equipos, las herramientas y los suministros para la explotación, y el combustible utilizado.

En las siguientes tablas se muestra el detalle de los insumos que se utilizan en las operaciones de explotación del material de mina, de acuerdo con los metros cúbicos de avance definidos previamente por el equipo técnico.

Mano de obra para la fase de explotación

En este rubro se cuantifica el pago mensual de los salarios del personal vinculado a la operación de explotación del mineral, 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 (5) empleados en dos (2) turnos, conforme a la distribución de operarios por proceso y la asignación salarial, que se muestran en la siguiente tabla.

Figura 9.4. Distribución de operarios por proceso y la asignación salarial, fase de extracción

PROCESO	CARGO	CANTIDAD DE OPERARIOS	TURNOS X DÍA	SUELDO BÁSICO X MES (COP)	AUX. TRANSPORTE X MES (COP)	SALARIO TOTAL X MES (COP)*
Frente de explotación	Operario	2	2	877.803	102.854	3.922.628
Carga y transporte	Operario	3	2	877.803	102.854	5.883.942
Total						9.806.570

* El salario total asignado a los operarios y el supervisor corresponde al valor del salario mínimo mensual vigente en Colombia durante 2020.

Aportes al Sistema General de Seguridad Social

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

El cálculo de los aportes al SGSS y de las 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 el auxilio de transporte

Fórmula para calcular los aportes a seguridad social (SGSS)

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

Aportes parafiscales

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

Figura 9.3. Insumos para la extracción de material de mina

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD
PARTES Y ACCESORIOS	
Manguera de 3/4X300 PSI x150m (6 pulgadas)	40 unidades
Reposición de uñas de retroexcavadora	5 unidades
Refuerzo de balde - cargador de orugas	1 unidad
HERRAMIENTAS Y SUMINISTROS	
Aceite mobil ALMO 527	3 unidades
Otras herramientas y repuestos menores	1 unidad
COMBUSTIBLE	
Combustible diésel	23.610 galones

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 para pago de prestaciones sociales

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

Fórmula para calcular la provisión para intereses de cesantías

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

Elementos de protección personal para la fase de explotación

Este rubro comprende el costo de la adquisición de los elementos que conforman el equipo de protección personal de los operarios de la explotación minera.

Para calcular este costo se consideró la frecuencia de compra de los elementos y las respectivas cantidades, para establecer un factor de conversión que permitiera convertir el costo total en un costo mensual. Lo anterior, teniendo en cuenta que estos elementos tienen frecuencia de compra diferente.

La siguiente tabla contiene el detalle de los elementos de protección personal que se requieren para garantizar la seguridad de los trabajadores de la explotación minera.

Figura 9.6. Elementos de protección personal para trabajadores en mina

DESCRIPCIÓN	FRECUENCIA DE COMPRA	CANTIDAD*
Cargador individual CH	Anual	10 unidades
Lámpara KLSLM naranja 8.000 lux	Anual	10 unidades
Casco con portalámpara	Anual	60 unidades
Overol tipo piloto con cinta	Cuatrimstral	20 unidades
Cinturón minero de nylon con anillo	Cuatrimstral	20 unidades
Bota de caucho macha	Cuatrimstral	20 unidades
Bota de seguridad exportadora	Cuatrimstral	20 unidades
Fono Samuray (protector auditivo externo)	Cuatrimstral	20 unidades
Conjunto de 2 piezas de ajuste en broche (impermeable)	Cuatrimstral	20 unidades

Figura 9.5. Tablas de aportes a seguridad social, parafiscales y prestaciones sociales

CONCEPTO	APORTE SGSS COP (\$)	DESCRIPCIÓN
EPS (salud)	\$ 74.613	Aporte total (12,5 %): \$ 109.725 Aporte del empleador (8,5 %): \$74.613 Aporte del trabajador (4 %): \$35.112
AFP (pensión)	\$ 105.336	Aporte total (16 %): \$ 140.448 Aporte empleador (12 %): \$105.336 Aporte trabajador (4 %): \$35.112
ARL profesionales)	\$ 61.095	Aporte total Riesgo V (6,96 %): \$61.095 Aporte empleador: \$61.095
Total:	\$ 241.044	

*Cálculo sobre el valor de un salario mínimo mensual vigente en Colombia en 2020, con base en la Ley 100 de 1993.

CONCEPTO	APORTES PARAFISCALES COP(\$)	DESCRIPCIÓN
Caja de Compensación Familiar	\$ 35.112	Aporte total al CCF: (4 %) a cargo del empleador
ICBF	\$ 26.334	Aporte total al ICBF: (3 %) a cargo del empleador
SENA	\$ 17.556	Aporte total al SENA -: (2 %) a cargo del empleador
Total:	\$ 79.002	

*Cálculo sobre el valor de un salario mínimo mensual vigente en Colombia en 2020, con base en los porcentajes establecidos en el Código Sustantivo del Trabajo.

CONCEPTO	PRESTACIONES SOCIALES COP(\$)	DESCRIPCIÓN
Cesantías (8,33%)	\$ 81.689	(8,33 %): equivale a un mes de salario por cada año trabajado o según el tiempo laborado
Intereses de cesantías (12%)	\$ 9.803	(12 %): corresponde al 12 % sobre el valor a pagar de las cesantías
Prima de servicios (8,33%)	\$ 81.689	(8,33 %): equivale a un mes de salario por cada año trabajado o según el tiempo laborado
Vacaciones (4,17%)	\$ 40.893	(4,17 %): la ley del trabajo establece 15 días hábiles consecutivos de vacaciones anuales remuneradas
TOTAL	\$ 214.074	

*Cálculo sobre el valor de un salario mínimo mensual vigente en Colombia en 2020, con base en Ley 1607 de 2012.

DESCRIPCIÓN	FRECUENCIA DE COMPRA	CANTIDAD*
Guante de nylon de nitrilo	Mensual	40 unidades
Lente Nitro II AF 110005-0	Mensual	20 unidades
Protector reusable Libus - Reflex bolsa (protector auditivo)	Mensual	40 unidades
Señal de prevención	Anual	40 unidades
Tapabocas caja x 50 unidades	Mensual	5 unidades
Botiquín	Anual	3 unidades
Botiquín tipo c	Anual	1 unidad
Extintor ABC	Anual	4 unidades

* Las cantidades se determinaron para un total de 8 empleados.

Mantenimiento de los bienes físicos para la fase de explotación

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 y prolonguen sustancialmente su tiempo de uso.

El costo del mantenimiento de la maquinaria y de los equipos se estableció como un porcentaje equivalente a 0,2% 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 0,2%

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

Depreciación maquinaria y equipo para la fase de explotación

En este rubro se valora la reducción en el valor de la maquinaria como consecuencia de su uso. 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)

9.2.1.3. IDENTIFICACIÓN Y VALORACIÓN DE COSTOS DE LA FASE DE BENEFICIO

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 (sección 8.1.), los costos de operación se cuantificaron y clasificaron para cada uno de los siguientes procesos:

- Trituración y molienda
- Concentración (gravimétrica)
- Fundición
- Manejo ambiental

Costos directos de la fase de beneficio

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

Materia prima para la fase de beneficio - costo de explotación

El costo de materia prima corresponde al valor que se debe pagar por cada metro cúbico de material mineral puesto en tolva. En este ejercicio, el costo de la materia prima se define como el costo de explotación del mineral, el cual incluye los rubros mencionados en la sección 9.2.1.2, “Identificación y valoración de costos de la fase de explotación”.

Debe tenerse en cuenta que, en la estimación de los costos totales de la fase de beneficio, al costo de explotación por cada metro cúbico de material procesado se le descuenta el valor de la depreciación de los bienes físicos y maquinaria, utilizados en esta fase, a efectos de facilitar la sistematización de la información en el flujo de caja del proyecto.

Insumos para la fase de beneficio

Figura 9.7. Insumos para la fase de beneficio

PROCESOS	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CONSUMO / TONELADA*	CONSUMO MENSUAL**
FUNDICIÓN	Bórax Pentahidratado	Kg	1	8

*La dosificación por kilogramo fue determinada por el equipo técnico. **La cantidad consumida mensualmente se estimó para un volumen de fundición de 8.316 gramos.

Mano de obra para la fase de beneficio

En este rubro se cuantifica el pago mensual de los salarios del personal vinculado a la operación de beneficio, 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 tres (3) empleados en dos (2) turnos, conforme a la distribución de operarios por proceso y la asignación salarial, que se muestran en la siguiente tabla.

Figura 9.8. Distribución de operarios por proceso y la asignación salarial, fase de beneficio

PROCESO	CARGO	CANTIDAD DE OPERARIOS	TURNOS X DÍA	SUELDO BÁSICO X MES (COP)	AUX. TRANSPORTE X MES (COP)	SALARIO TOTAL X MES (COP)*
Concentración	Operario	3	2	877.803	102.854	5.883.942
Total						5.883.942

* El salario total asignado a los operarios y el supervisor corresponde al valor del salario mínimo mensual vigente en Colombia durante 2020.

Aportes al Sistema General de Seguridad Social

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

Fórmula para calcular los aportes a seguridad social

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

Aportes parafiscales

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

Fórmula para calcular los aportes a parafiscales

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

Prestaciones sociales

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

Fórmula para calcular la provisión para pago de prestaciones sociales

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

Fórmula para calcular la provisión para intereses de cesantías

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

El cálculo de los aportes al SGSS y las 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 el auxilio de transporte

Mantenimiento de los bienes físicos de la fase de beneficio

En este rubro se cuantifican todos los gastos necesarios para conservar la maquinaria y los equipos de la planta de beneficio 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 0,20 % del valor comercial de la maquinaria (este valor incluye el costo del mantenimiento preventivo y correctivo y la compra de repuestos).

Fórmula para calcular el costo de mantenimiento

Costo de mantenimiento (\$) = valor comercial total (\$) × 0,20%

Análisis y pruebas de laboratorio de la fase de beneficio

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.

Figura 9.9. Tablas de aportes a seguridad social, parafiscales y prestaciones sociales

CONCEPTO	APORTE SGSS COP (\$)	DESCRIPCIÓN
EPS (salud)	\$ 74.613	Aporte total (12,5 %): \$ 109.725 Aporte del empleador (8,5 %): \$74.613 Aporte del trabajador (4 %): \$35.112
AFP (pensión)	\$ 105.336	Aporte total (16 %): \$ 140.448 Aporte empleador (12 %): \$105.336 Aporte trabajador (4 %): \$35.112
ARL profesionales)	\$ 61.095	Aporte total Riesgo V (6,96 %): \$61.095 Aporte empleador: \$61.095
Total:	\$ 241.044	

*Cálculo sobre el valor de un salario mínimo mensual vigente en Colombia en 2020, con base en la Ley 100 de 1993.

CONCEPTO	APORTES PARAFISCALES COP(\$)	DESCRIPCIÓN
Caja de Compensación Familiar	\$ 35.112	Aporte total al CCF: (4 %) a cargo del empleador
ICBF	\$ 26.334	Aporte total al ICBF: (3 %) a cargo del empleador
SENA	\$ 17.556	Aporte total al SENA -: (2 %) a cargo del empleador
Total:	\$ 79.002	

*Cálculo sobre el valor de un salario mínimo mensual vigente en Colombia en 2020, con base en los porcentajes establecidos en el Código Sustantivo del Trabajo.

CONCEPTO	PRESTACIONES SOCIALES COP(\$)	DESCRIPCIÓN
Cesantías (8,33%)	\$ 81.689	(8,33 %): equivale a un mes de salario por cada año trabajado o según el tiempo laborado
Intereses de cesantías (12%)	\$ 9.803	(12 %): corresponde al 12 % sobre el valor a pagar de las cesantías
Prima de servicios (8,33%)	\$ 81.689	(8,33 %): equivale a un mes de salario por cada año trabajado o según el tiempo laborado
Vacaciones (4,17%)	\$ 40.893	(4,17 %): la ley del trabajo establece 15 días hábiles consecutivos de vacaciones anuales remuneradas
TOTAL	\$ 214.074	

*Cálculo sobre el valor de un salario mínimo mensual vigente en Colombia en 2020, con base en Ley 1607 de 2012.

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.

Figura 9.10. Análisis y pruebas de laboratorio de la fase de beneficio

PROCESOS	TIPO DE ENSAYO	TIPO DE MUESTRA	CANTIDAD (UNIDAD/MES)
TRITURACIÓN Y MOLIENDA	Ensayos al fuego	Cabeza general	20
CONCENTRACIÓN	Ensayos al fuego	Cola de concentración	20
	Ensayos al fuego	Concentrado de mesa	20
	Ensayos al fuego	Superconcentrado	4
FUNDICIÓN	Ensayos al fuego	Fundido	2
MANEJO AMBIENTAL	Absorción atómica	Ambientales	2

Servicios públicos de la fase de beneficio

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 energía como costo directo 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.

Costo de energía eléctrica

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

El consumo de energía eléctrica por cada equipo se determinó a partir de la potencia efectiva de los motores empleados en la planta y el número de horas al día durante las cuales 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 (kW-h/mes) × tarifa kW (\$)

Figura 9.11. Consumo de energía por equipos de la fase de beneficio

EQUIPO		CANTIDAD	POTENCIA DE MOTOR hp	MOTOR Kw	POTENCIA EFECTIVA Kw	HORAS TRABAJO	Kw/ DÍA	Kw/ MES
TRITURACIÓN Y MOLIENDA	Criba Vibratoria	2	1,5	1,2	1	24	28,8	576
	Bomba de sólidos	5	3,75	3,0	3	24	216	4.320
Total trituración y molienda								4.896
CONCENTRACIÓN	Mesa gemini de refinación	1	0,75	0,6	1	24	14,4	288
	Concentrador Centrifugo	2,5	1,875	1,5	3	24	108	2.160
Total concentración								2.448
AMBIENTAL	Tanque agitado para neutralización	10	7,5	6	2	24	288	5.760
	Total manejo ambiental							5.760
							Total	13.104

Depreciación de la maquinaria y el equipo para la fase de beneficio

En este rubro se valora la reducción en el valor de la maquinaria como consecuencia de su uso. 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.

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

Fórmula para calcular la depreciación de la maquinaria y el equipo

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

Costos indirectos de la fase de beneficio

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.

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 entre el número de gramos recuperados, y viceversa

Fórmula para calcular los CIF

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

Costos totales de la fase de beneficio

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 (\$)

9.2.1.4. 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 después de la implementación de la ruta metalúrgica. Para esto se debe multiplicar la cantidad de oro producido en gramos por el precio al que se vende cada gramo de oro.

Fórmula para calcular la cantidad de oro por metro cúbico procesado

Oro recuperado por metro cúbico (g) = tenor (g/m³) × % de recuperación total

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

Figura 9.12. Recuperación de oro en la fase de beneficio

CANTIDAD DE MATERIAL PROCESADO (t)	TENOR	RECUPERACIÓN TOTAL (%)*	CANTIDAD RECUPERADA (g/t)**
1	0,462	100	0,462
1	0,462	90%	0,4158

*Con la implementación de la propuesta tecnológica se puede alcanzar mínimo un 90 % de recuperación de oro por metro cúbico. **En este ejercicio se tuvo en cuenta un tenor de 0,462g/m³, correspondiente al balance de masa realizado

Fórmula para calcular la producción mensual de oro

Producción mensual de oro (g) = oro recuperado por metro cúbico (g) × mineral procesado mensualmente (t)

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

Fórmula para calcular los ingresos mensuales por venta de oro

Ingresos totales mensuales (\$) = producción mensual de oro (g) × (precio del oro (\$/g)* (Ley/1000))

Para la zona minera de Chocó el equipo determinó una Ley de 650, esto quiere decir que por cada 1000 partes (milésimas) contenidas en un lingote del metal precioso, 650 son de oro puro, siendo el resto de otros metales

9.2.2. EVALUACIÓN FINANCIERA

En esta sección se expone la metodología que se emplea en las dos etapas de la evaluación financiera y se presentan 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.

9.2.2.1. 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)* (Ley/1000))

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 de aluvión es del 6% en contratos de concesión, según lo establece el artículo 16 de la Ley 756 de 2002.

Fórmula para la liquidación de las regalías

Regalías del año 1 (\$) = (producción de oro el año 1 (g) × precio fijado por el Banco de la República en el año 1 (\$/g) × 6%

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 (representado en el costo de explotación del mineral) 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

Las regalías corresponden a una contraprestación económica que debe reconocerse al Estado por la explotación de un recurso natural no renovable. En este caso, las regalías se pagan por la producción de oro, debido a que después de beneficiar el mineral este no se regenera

De conformidad con los artículos 58, 332 y 360 de las Constitución Política de Colombia de 1991, toda explotación de recursos naturales no renovables de propiedad estatal genera una regalía como contraprestación económica

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 en estos rubros 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 año 1 (\$) = ingresos gravables en el año 1 (\$) – egresos deducibles en el año 1 (\$)

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 año 1 (%) = (utilidad operacional en el año 1 (\$) / ingresos gravables en el año 1 (\$)) × 100

Impuestos

En el flujo de caja del proyecto se debe estimar el impuesto de renta, que corresponde a una contribución que grava el ingreso de las personas y entidades económicas. Este impuesto sobre la renta incluye el gravamen al trabajo, al capital y la combinación de ambos (Glosario minero, 2017).

En la última reforma tributaria, contenida en la Ley 1819 del 29 de diciembre de 2016, se estableció el 32% como tarifa general del impuesto de renta para las personas jurídicas.

Debe tenerse en cuenta que en el momento de la liquidación del impuesto de renta se toman como base los ingresos gravables generados en el último año y se descuenta el monto correspondiente a los costos de operación, o egresos deducibles.

Fórmula para calcular el impuesto de renta

Impuesto de renta del año 1 (\$) = utilidad antes de pagar impuestos del año 1 (\$) × 32%

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 año 1 (\$) = utilidad operacional del año 1 (\$) – impuesto de renta del año 1 (\$)

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, incluido el pago de impuesto de renta.

Fórmula para calcular el margen de utilidad neta

Margen de utilidad neta del año 1 (%) = (utilidad neta del año 1 (\$) / ingresos gravables en el año 1 (\$)) × 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 año 1 (\$) = utilidad neta en el año 1 (\$) + depreciación en el año 1 (\$)

9.2.2.2. APLICACIÓN DE MÉTODOS PARA EVALUAR PROYECTOS

Enseguida se presentan las fórmulas que se emplearon para calcular los indicadores de evaluación financiera del proyecto ruta metalúrgica propuesta.

Valor presente neto (VPN)

Para el cálculo del VPN se utilizaron dos tasas de descuento: la primera, equivalente al 25%, 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

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

Tasa interna de retorno (TIR)

Fórmula para calcular la TIR

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

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 25%, y la segunda, del 30%.

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

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

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

Después de estimar el valor presente neto (VPN) de los ingresos y de los costos se procede a calcular la relación beneficio/costo (RB/C) a partir de la aplicación de la siguiente fórmula:

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

$$\text{Relación beneficio/costo} = \frac{\sum_{t=1}^5 (\text{VPN}) \text{ Ingresos(\$)}}{\sum_{t=1}^5 (\text{VPN}) \text{ Costos(\$)}}$$

Debe tenerse en cuenta que para el cálculo de la RB/C, en los costos operacionales no se tiene en cuenta la depreciación de los bienes físicos y la maquinaria.

9.3. ESTUDIO Y EVALUACIÓN FINANCIERA DEL PROYECTO DE LA ZONA MINERA DE CHOCÓ

En esta sección se presentan los resultados del ejercicio financiero, el 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 explotación minera y la planta, y los indicadores que comprueban la viabilidad financiera del proyecto, acorde con las condiciones iniciales típicas en la zona.

Figura 9.13. Inversión inicial

DESCRIPCIÓN	COSTO COP (\$)*	% PARTICIPACIÓN SOBRE COSTOS TOTALES
Activos fijos		
Maquinaria y equipos nuevos, operaciones de extracción	2 567 304 470	81%
Maquinaria y equipos nuevos, operaciones de beneficio	516 689 734	17%
Instalaciones eléctricas e hidráulicas	75 000 000	2%
Total activos fijos	3 158 994 204	100%

*Los precios cotizados se encuentran detallados en el informe técnico.

Figura 9.14. Costos de la fase de extracción

DESCRIPCIÓN	COP \$	COP (\$/t)*
Mano de obra - fase explotación	15 147 814	379
Partes y accesorios	4 890 120	122
Herramientas y suministros	773.470	19
Combustible	189 564 690	4.739
Elementos de Seguridad Industrial	3 822 401	96
Mantenimiento maquinaria	5 134 609	128
Depreciación maquinaria	21 394 204	535
Total	240 727 308	6.018

*El costo de explotación del mineral por cada metro cúbico, descontando el valor de la depreciación de los bienes físicos, es de COP \$5.483/m³.

Figura 9.15. Estructura de los costos de la fase de explotación de oro, operación futura en mina

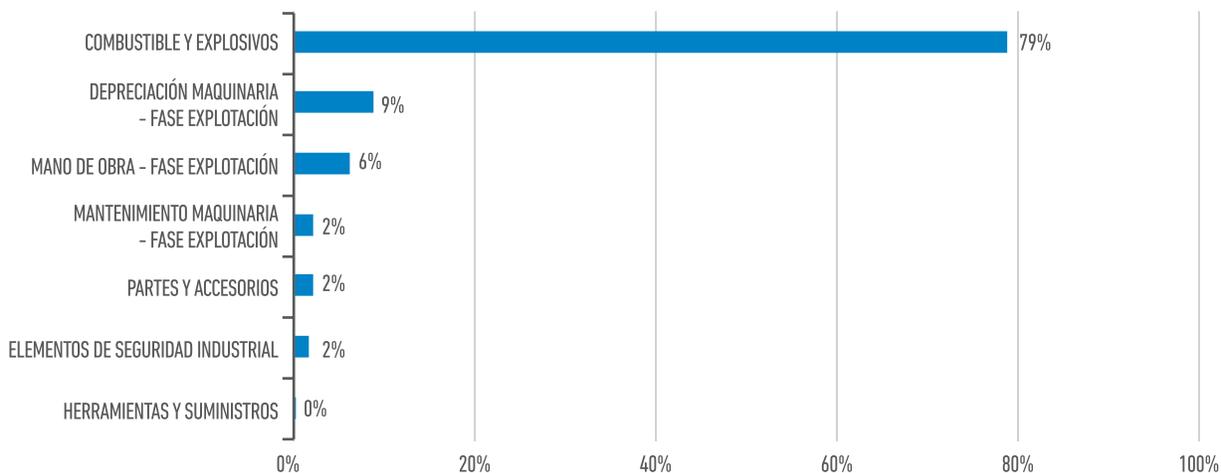


Figura 9.16. Costos de operación total (explotación + beneficio) por mes

DESCRIPCIÓN	COP (\$)
COSTOS DIRECTOS	
Materia prima	240 727 308
Insumos	26.656
Mano de obra	9 088 688
Mantenimiento	1 033 379
Análisis y pruebas de laboratorio	12 376 691
Servicios públicos	7 790 983
Depreciación de maquinaria y equipo	4 305 748
Total costos directos	275 349 455
COSTOS INDIRECTOS	
Costos indirectos de fabricación (CIF)	27 534 945
Total costos directos + indirectos	302 884 400

Figura 9.17. Estructura de los costos de la fase de beneficio, operación futura en planta

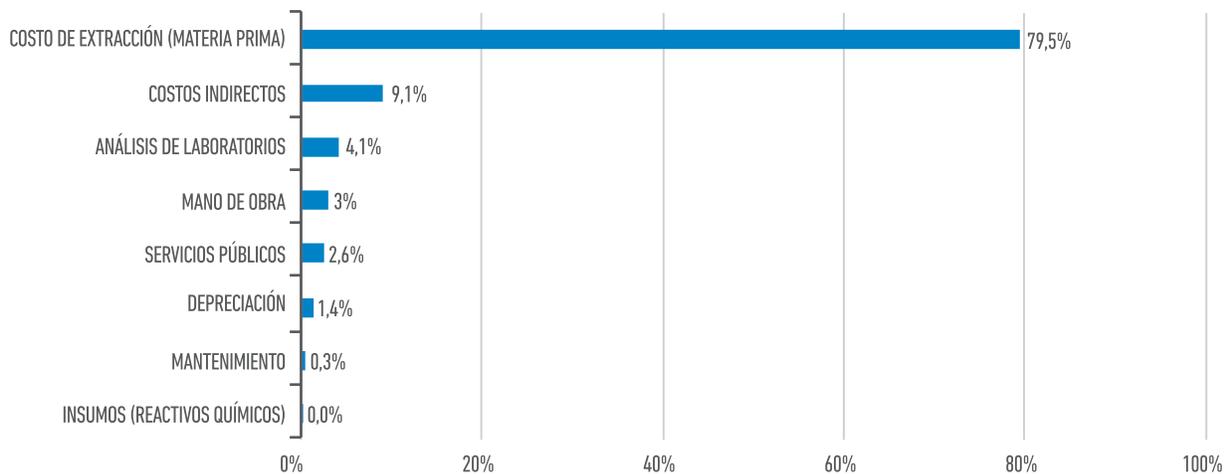


Figura 9.18. Ingresos de operación futura, por mes

TENOR (g/m ³)	RECUPERACIÓN DE ORO (%)	RECUPERACIÓN DE ORO (m ³ /t)	VOLUMEN DE MINERAL PROCESADO MES (m ³)	RECUPERACIÓN DE ORO (g/mes)	PRECIO UNITARIO DE ORO (\$/g)*	COP (\$)
0,462	90	0,4158	20.000	8.316	93.903	780 898 273

* Corresponde al precio promedio internacional del oro en 2019, estimado en \$144.466/g. Se realiza descuento de Ley del oro de 650/1000. Cálculo propio con base en información del equipo técnico y el Banco de la República.

Figura 9.19. Flujo de caja del proyecto en horizonte de evaluación (cinco años)

CONCEPTO	AÑO 0	AÑO 1	AÑO 2	AÑO 3	AÑO 4	AÑO 5
(1) inversión inicial (-)	-3 158 994 204					
Total inversión inicial	-3 158 994 204					
(2) Ingresos gravables (+)						
Ingresos operacionales		9 370 779 278	9 651 902 656	9 941 459 736	10 239 703 528	10 546 894 634
Total ingresos gravables		9 370 779 278	9 651 902 656	9 941 459 736	10 239 703 528	10 546 894 634
(3) Egresos deducibles (-)						
Costos operacionales		3 326 213 380	3 417 875 154	3 512 334 699	3 609 677 866	3 709 993 160
Regalías (6 %)		691 996 008	712 755 888	734 138 565	756 162 722	778 847 604
Depreciación		308 399 420	308 399 420	308 399 420	308 399 420	308 399 420
Total egresos deducibles		4 326 608 808	4 439 030 463	4 554 872 684	4 674 260 009	4 797 260 184
(4) Utilidad antes de impuestos		5 044 170 469	5 212 872 194	5 386 587 051	5 565 463 519	5 749 654 450
(5) Margen de utilidad operacional		53,8%	54,0%	54,2%	54,4%	54,5%
(6) Impuestos (-)						
Impuesto de renta (32 %) (-)		1 614 134 550	1 668 119 102	1 723 707 856	1 780 948 326	1 839 889 424
Total impuestos		1 614 134 550	1 668 119 102	1 723 707 856	1 780 948 326	1 839 889 424
(7) Utilidad neta		3 430 035 919	3 544 753 092	3 662 879 195	3 784 515 193	3 909 765 026
(8) Margen de utilidad neta		36,6%	36,7%	36,8%	37,0%	37,1%
(9) Depreciación (+)		308 399 420	308 399 420	308 399 420	308 399 420	308 399 420
(10) Flujo neto de efectivo	-3 158 994 204	3 738 435 340	3 853 152 512	3 971 278 615	4 092 914 613	4 218 164 446

9.3.1. RESULTADOS E INTERPRETACIÓN DE INDICADORES DE EVALUACIÓN FINANCIERA DEL PROYECTO DE LA ZONA MINERA DE CHOCÓ

Figura 9.20. Indicadores de evaluación financiera del proyecto de la zona

DESCRIPCIÓN	TASA DE DESCUENTO 25%	TASA DE DESCUENTO 30%
Valor presente neto (VPN)	\$7 389 732 278	\$6 373 406 231
Tasa interna de retorno (TIR)	119%	119%
Relación beneficio/costo (RB/C)	2,65	2,68

El VPN del proyecto de implementación de la ruta metalúrgica propuesta para la zona minera de Chocó, a una tasa de descuento del 25%, es de COP 7 389 732 278.

El VPN del proyecto de implementación de la ruta metalúrgica propuesta para la zona minera de Chocó, a una tasa de descuento del 30%, es de COP 6 373 406 231.

Teniendo en cuenta que el VPN es mayor que cero (para ambas tasas de descuento), se concluye que el proyecto es viable desde el punto de vista financiero, pues los dineros invertidos en el proyecto rinden más que estas tasas de interés de oportunidad.

La TIR anual obtenida es mayor que las dos tasas de interés de oportunidad del inversionista, definidas en este proyecto como el 25 y 30% anuales. Se concluye que este proyecto se justifica desde el punto de vista

financiero, en la medida en que los dineros que permanecen invertidos en el proyecto rinden a una tasa superior al costo de oportunidad definido.

Para este proyecto, la relación beneficio/costo a tasas de interés de oportunidad del 25 y 30% es de 2,65 y 2,68, respectivamente. De este resultado se concluye que el proyecto es viable desde el punto de vista financiero, pues los beneficios son mayores que los costos.

9.4. ESTUDIO FINANCIERO DE LA OPERACIÓN ACTUAL VS. LA OPERACIÓN FUTURA EN LA ZONA MINERA DE CHOCÓ

En esta sección se exponen los resultados del estudio financiero de la operación actual de la mina y planta de beneficio típicas de la zona minera de Chocó 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 actual de la mina y planta de beneficio típicas de la zona minera de Chocó

• Tiempo de trabajo en mina	12 h/día
• Volumen de material de mina extraído	1.000 m ³ /día
• Volumen de material estéril extraído	500 m ³ /día
• Volumen de material mineral extraído	500 m ³ /día
• Capacidad de procesamiento planta	83,3 m ³ /h
• Tiempo de funcionamiento de la planta	12 h/día
• Volumen de procesamiento mineral + estéril)	1.000 m ³ /día
• Turnos por día	1
• Días de operación al mes	20
• Volumen de procesamiento (mineral + estéril)	20.000 m ³ /mes
• Volumen de material mineral procesado	10.000 m ³ /mes
• Tenor por metro cúbico de material de mina	0,462 g/m ³
• % Total de recuperación de oro	60%
• Recuperación total de oro	2.772 g/mes

9.4.1. RESULTADOS DE LA OPERACIÓN ACTUAL DEL BENEFICIO DE ORO EN LA ZONA MINERA DE CHOCÓ

Figura 9.21. Costos actuales de la fase de explotación, por mes

DESCRIPCIÓN	COP \$	COP (\$/t)*
Mano de obra	15.147.814	757
Partes y accesorios	1.846.445	92
Herramientas y suministros	3.682.314	184
Combustible	50.823.570	2.541
Elementos de Seguridad Industrial	3.407.093	170
Mantenimiento maquinaria	4.828.391	241
Depreciación maquinaria	11.496.168	575
Total	91.231.794	4.562

*El costo de explotación del mineral por cada metro cúbico, descontando el valor de la depreciación de los bienes físicos, es de COP 3.987/m³.

Debe tenerse en cuenta que las variables de la operación actual de la mina y planta de beneficio típica de la zona se definieron a partir de la información recolectada en trabajo de campo por el equipo técnico

Figura 9.22. Estructura de costos actuales de la fase de explotación de oro

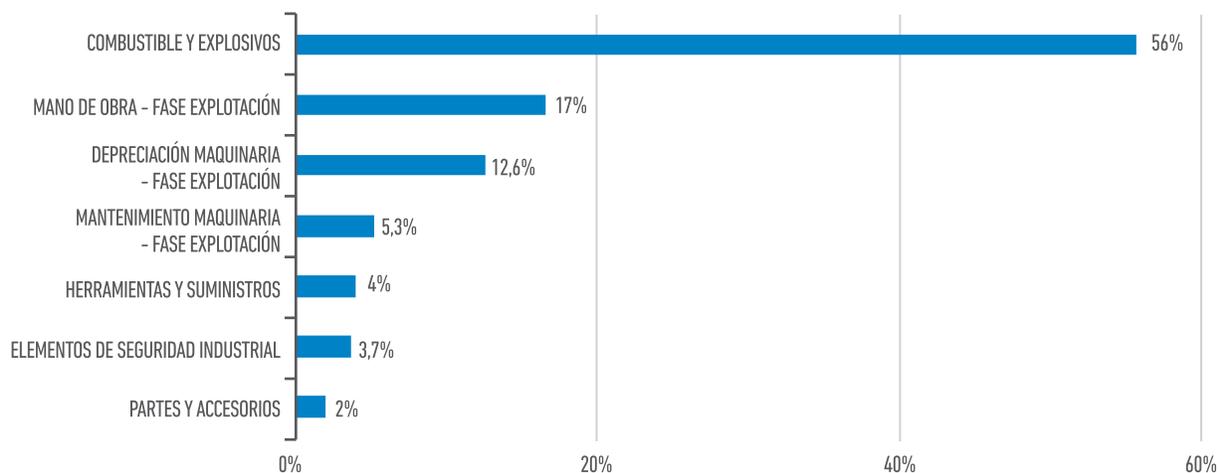


Figura 9.23. Costos de la operación actual (explotación + beneficio), por mes

DESCRIPCIÓN	COP (\$)
COSTOS DIRECTOS	
Materia Prima	91 231 794
Insumos	7.664
Mano de Obra	9 088 688
Mantenimiento	416.164
Depreciación de Maquinaria y Equipo	693.606
Total costos directos	101 437 915
COSTOS INDIRECTOS	
Costos indirectos de fabricación (CIF)	10 143 792
Total costos directos + indirectos	111 581 707

Figura 9.24. Estructura de los costos actuales de la fase de beneficio

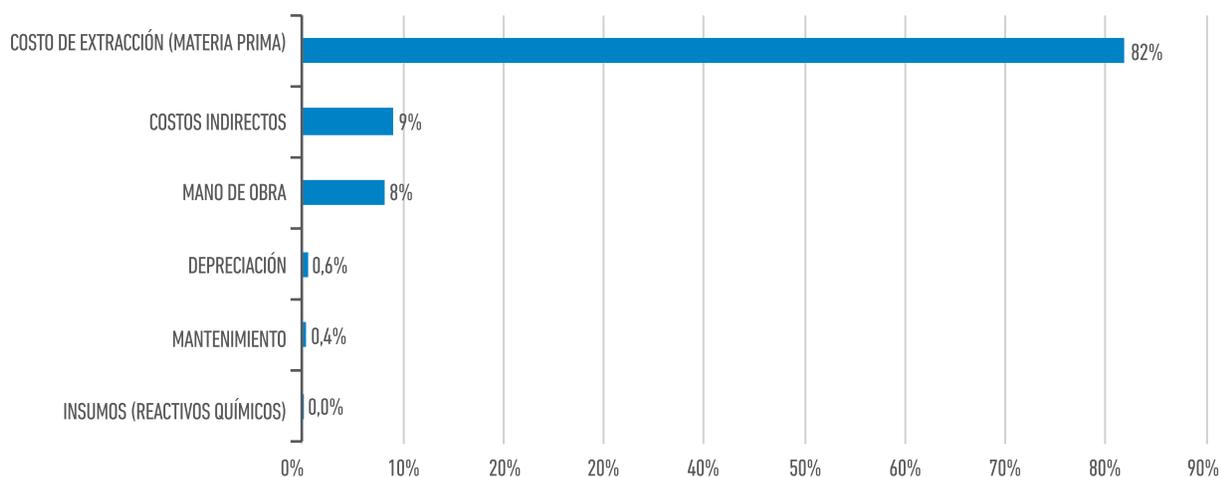


Figura 9.25. Ingresos de la operación actual, por mes

TENOR (g/m ³)	RECUPERACIÓN DE ORO (%)	RECUPERACIÓN DE ORO (m ³ /t)	VOLUMEN DE MINERAL PROCESADO MES (m ³)	RECUPERACIÓN DE ORO (g/mes)	PRECIO UNITARIO DE ORO (\$/g)*	COP (\$)
0,462	60	0,2772	10.000	2.772	93.903	260 299 424

*Corresponde al precio promedio internacional del oro en 2019, estimado en \$144.466/g. Se realiza descuento de Ley del oro de 650/1000.

Figura 9.26. Flujo de caja de la operación actual en horizonte de evaluación (cinco años)

CONCEPTO	AÑO 1	AÑO 2	AÑO 3	AÑO 4	AÑO 5
(1) Ingresos gravables (+)					
Ingresos operacionales	3 123 593 093	3 217 300 885	3 313 819 912	3 413 234 509	3 515 631 545
Total ingresos gravables	3 123 593 093	3 217 300 885	3 313 819 912	3 413 234 509	3 515 631 545
(2) Egresos deducibles (-)					
Costos operacionales	1 192 703 196	1 229 079 354	1 266 594 765	1 305 285 526	1 345 188 893
Depreciación	230 665 336	237 585 296	244 712 855	252 054 241	259 615 868
Regalías (6%)	146 277 288	146 277 288	146 277 288	146 277 288	146 277 288
Total egresos deducibles	1 569 645 819	1 612 941 938	1 657 584 908	1 703 617 055	1 751 082 049
(3) Utilidad antes de impuestos	1 553 947 273	1 604 358 947	1 656 235 004	1 709 617 455	1 764 549 496
(4) Margen de utilidad operacional	49,7%	49,9%	50,0%	50,1%	50,2%
(5) impuestos (-)					
Impuesto de renta (32 %) (-)	497 263 127	513 394 863	529 995 201	547 077 585	564 655 839
Total impuestos	497 263 127	513 394 863	529 995 201	547 077 585	564 655 839
(6) Utilidad neta	1 056 684 146	1 090 964 084	1 126 239 803	1 162 539 869	1 199 893 657
(7) Margen de utilidad neta	33,8%	33,9%	34,0%	34,1%	34,1%
(8) Depreciación (+)	146 277 288	146 277 288	146 277 288	146 277 288	146 277 288
(9) Flujo neto de efectivo	1 202 961 433	1 237 261 372	1 272 517 090	1 308 817 157	1 346 170 945

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 mina y planta de beneficio típicas de la zona

9.4.2. RESUMEN DE INDICADORES DE OPERACIÓN ACTUAL VS. OPERACIÓN FUTURA

Figura 9.27. Resumen de indicadores de operación actual vs. operación futura

INDICADOR	OPERACIÓN ACTUAL	OPERACIÓN FUTURA
Recuperación de oro	60%	90%
Cantidad de oro recuperado por metro cúbico de material mineral procesado	0,2772 gr	0,4158 gr
Costo de producción unitario por gramo de oro	COP 40.253	COP 36.422
Costo de producción unitario por onza troy de oro	USD 337,2	USD 305
Utilidad antes de impuestos por gramo de oro	COP 46.716	COP 50.547
Utilidad antes de impuestos por onza troy de oro	USD 391	USD 423
Margen de utilidad operacional (promedio 5 años)	50%	54%
Utilidad después de impuestos por gramo de oro	COP 31.767	COP 34.372
Utilidad después de impuestos por onza troy de oro	USD 266	USD 277
Margen de utilidad neta (promedio 5 años)	34%	37%
Indicador de productividad (producto/insumo)	2,33	2,58

Precio de venta por gramo de oro: COP 144.466, con descuento de la Ley 650/1000: COP 93.903. Precio de venta por onza de troy de oro: USD 787. Tasa de cambio utilizada: COP 3.713/USD. Factor de conversión utilizado: 1 onza troy = 31,1034768 gramos

9.4.3. ANÁLISIS DE RESULTADOS DE INDICADORES DE OPERACIÓN ACTUAL VS. OPERACIÓN FUTURA DE LA ZONA MINERA DE CHOCÓ

La adopción integral de la ruta metalúrgica como una alternativa para mejorar los niveles de eficiencia en el proceso de beneficio de oro permite a la empresa minera incrementar la productividad total en aproximadamente 11%, al pasar de una razón producto/insumo total de 2,33, bajo las condiciones de la producción actual de la explotación minera y la planta de beneficio típicas de la zona, a una razón de productividad de 2,58 con la implementación de la ruta metalúrgica propuesta.

Esto corrobora la generación de beneficios económicos a la empresa minera y se espera que represente, desde el punto de vista financiero, un incentivo para que el empresario adopte la presente propuesta y desarrolle su operación bajo el estricto cumplimiento de los estándares técnico-administrativos y legales.

Cabe resaltar que se estableció que en el escenario de producción actual el costo unitario de producir un gramo de oro es de aproximadamente COP 40.253, mientras que se espera que, con la operación futura, el costo unitario del gramo de oro sea de COP 36.422. Este resultado indica una reducción efectiva de los costos unitarios de 9,5%.

En el escenario actual de la operación de la mina y la planta de beneficio típicas de la zona minera de Chocó, el costo unitario de producir 1 g de oro es de COP 40.253, mientras que la implementación de la ruta metalúrgica reduce este costo a COP 36.422. Esta disminución en costo de producción, 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 8%

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 explotación minera y 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

9.5. CONSIDERACIONES SOBRE LA OPERACIÓN ACTUAL DE BENEFICIO DE ORO EN LA ZONA MINERA DE CHOCÓ

- En el estudio financiero de la operación actual de la planta se utilizó como referencia un porcentaje de recuperación de oro de 60% por cada metro cúbico de mineral procesado, obtenido en el proceso de concentración gravimétrica, de acuerdo con la información colectada en campo por el equipo técnico.
- Teniendo en cuenta que el tenor promedio de la zona minera de Chocó es de 0,462 gramos por metro cúbico de mineral, y que la operación actual permite una recuperación promedio del 60%, en el estudio financiero se estimó una recuperación de 0,2772 gramos por cada metro cúbico de mineral beneficiada.
- El costo por materia prima, definido en este ejercicio como el costo de explotación del mineral por cada metro cúbico removido, es de COP 3.987/m³, excluyendo el costo por la depreciación de bienes físicos.
- Los rubros más representativos en la estructura de costos de la fase de explotación del mineral son el combustible y la mano de obra, cada uno con una participación sobre los costos totales de 56% y 17%, respectivamente.
- El rubro más representativo en la estructura de costos de la operación actual de la planta es el costo de explotación - materia prima y la mano de obra, cada uno con una participación sobre los costos totales de 82 y 8%, respectivamente.
- En el escenario actual no se tiene en cuenta el consumo de energía eléctrica, debido a que en la zona se utiliza planta eléctrica.
- El costo unitario aproximado, teniendo en cuenta los parámetros de la operación actual definidos para la planta, es de COP 40.253 por cada gramo de oro y de USD 337,2 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 2019. Este precio es de COP 144.466/g, y una vez se descuenta la ley del oro de 650/1000, resulta en COP 93.903/g y de USD 787/onza troy, con una tasa de cambio de COP 3.713/USD.
- La ganancia unitaria (antes de pagar impuestos) aproximada es de COP 46.716 /g de oro y de USD 391/onza troy de oro. Esto corresponde a un margen de utilidad operacional de 50%, en promedio, para los cinco años contemplados como horizonte de evaluación.
- La ganancia unitaria (después de pagar impuestos) aproximada es de COP 31.767 /g de oro y de USD 266/onza troy de oro. Esto corresponde a un margen de utilidad operacional de 34%, en promedio, para los cinco años contemplados como horizonte de evaluación.

En el estudio financiero de la operación actual de la planta se utilizó como referencia un porcentaje de recuperación de oro de 60% por cada metro cúbico de mineral procesado, obtenido en el proceso de concentración gravimétrica, de acuerdo con la información colectada en campo por el equipo técnico

Teniendo en cuenta que el tenor promedio de la zona minera de Chocó es de 0,462 gramos por metro cúbico de mineral, y que la operación actual permite una recuperación promedio del 60%, en el estudio financiero se estimó una recuperación de 0,2772 gramos por cada metro cúbico de mineral beneficiada

9.6. CONSIDERACIONES SOBRE LA OPERACIÓN FUTURA DE BENEFICIO DE ORO EN LA ZONA MINERA DE CHOCÓ, RUTA METALÚRGICA

- Se estableció un potencial de procesamiento anual para las plantas de beneficio de la zona, después de la implementación de la ruta metalúrgica, de 480.000 metros cúbicos, lo cual implica un funcionamiento de la planta de 20 días al mes y un procesamiento de 40.000 metros cúbicos de material al día.
- La implementación de la propuesta de adecuación tecnológica para mejorar la eficiencia del proceso de beneficio del oro permite alcanzar mínimo un 90%. Este porcentaje es mayor que la recuperación promedio que se obtiene en la planta en las condiciones actuales.
- Teniendo en cuenta que el tenor promedio del mineral que se procesa en la zona es de 0,462 gramos por metro cúbico, y que la implementación de la ruta metalúrgica en la operación futura permite una recuperación mínima aproximada de 90%, se espera una recuperación de 0,4158 gramos por cada metro cúbico de mineral beneficiado.
- Se definió un esquema conservador, en el cual se obtiene una recuperación de oro equivalente al 90% por cada metro cúbico de material mineral procesado. Sin embargo, estos rendimientos pueden ser superiores al 95%.
- A partir de las características de las minas y las plantas típicas de la zona y las variables de operaciones definidas por el equipo técnico, se realizó un inventario de la maquinaria y de los equipos nuevos que se deben adquirir para la operación de explotación del mineral y de la planta de beneficio, con el fin de implementar la ruta metalúrgica contenida en esta guía. El monto de recursos que deberán invertirse es de COP 3 158 994 204
- La definición del inventario de maquinaria y equipo nuevos, tanto para la fase de explotación del mineral, como para la de beneficio, con sus respectivas especificaciones técnicas, se costó en su totalidad con el fin de evaluar la rentabilidad de nuevos emprendimientos.
- Los rubros más representativos de la estructura de costos de la fase de explotación son el combustible, la depreciación de la maquinaria y equipo y la mano de obra, cada uno con una participación sobre los costos totales de 79, 9, y 6%, respectivamente.
- Los rubros más representativos de la estructura de costos de la operación futura de la planta son el costo de explotación los costos indirectos y los análisis y pruebas de laboratorio, cada uno con una participación sobre los costos totales de 79, 9 y 4 %, respectivamente.
- El consumo de energía eléctrica por cada equipo se determinó a partir de la potencia efectiva de los motores empleados en la planta de beneficio y del número de horas al día durante las cuales se utilizarían. De acuerdo con los parámetros de operación previamente definidos, el consumo de energía de la operación de beneficio es de 13.104 kW/mes.
- El costo unitario aproximado que se puede alcanzar con la implementación de la propuesta de adecuación es de COP 36.422 por cada gramo de oro, y de USD 305 por cada onza troy.

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

- 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 puede racionalizarse con la inversión futura en el montaje de un laboratorio.
 - 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 2019. Este precio es de COP 144.466/g, y una vez se descuenta la ley del oro de 650/1000, resulta en COP 93.903/g y de USD 787/onza troy, con una tasa de cambio de COP 3.713/USD.
 - Con la implementación de la presente propuesta de modernización tecnológica se alcanza una ganancia unitaria (antes de pagar impuestos) de COP50.547/g de oro y de USD 423/onza troy de oro. Esto corresponde a un margen de utilidad operacional de 54%, en promedio, en 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 34.372/g de oro y de USD 288/onza troy de oro. Esto corresponde a un margen de utilidad neta de 37%, en promedio, en los cinco años contemplados como horizonte de evaluación.
-
- Se estableció que la inversión en adecuación de las plantas de beneficio de la zona minera de Chocó, a partir de la implementación de la ruta metalúrgica, 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 25 y 30% anuales.**
-
- Se estableció que la inversión en adecuación de las plantas de beneficio de la zona minera de Chocó, a partir de la implementación de la ruta metalúrgica, 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 25 y 30% anuales.
 - El período de recuperación de la inversión en adecuaciones, con las tasas de interés de oportunidad del 20 y 30% anuales, es inferior a 2 años.

10.

GLOSARIO

El objetivo de este glosario es unificar los conceptos técnicos que se emplean en el contenido de la guía, con la intención de que los mineros a quienes está dirigida se apropien y apliquen los términos correctos frecuentes en su actividad productiva.

Panorámica del punto de excavación en la mina La Candelaria, municipio de Cértégui (Chocó).
Fotografía tomada por Verónica Ruíz, Servicio Geológico Colombiano



Acopio. 1. Acción y el efecto de acopiar o reunir. 2. Se entiende como el sitio donde se ubican los minerales que se extraen.

Acotar. Hacer o poner números o cotas en un croquis, mapa topográfico, plano, etc.

Actividad económica. Es la creación de valor agregado mediante la producción de bienes y servicios en la que intervienen la tierra, el capital, el trabajo y los insumos intermedios.

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 (ARP). Entidad aseguradora de riesgos profesionales reglamentada por el Decreto 1722 de 1994, que se refiere a la afiliación y a las cotizaciones del Sistema General de Riesgos Laborales.

Agua de drenaje de mina. Aguas que se bombean en los frentes de trabajo de minería, bien sea a cielo abierto o subterráneos.

Agua subterránea. Agua del subsuelo que ocupa la zona saturada.

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, el término se refiere a cambios físicos o químicos experimentados por rocas y minerales después de su formación, promovidos por procesos exógenos como meteorización, o por procesos endógenos como magmatismo o fallamiento.

Alteración argílica. Tipo de alteración hidrotermal, también denominada argílica intermedia, caracterizada por la presencia de caolinita o montmorillonita.

Alteración filica. Tipo de alteración hidrotermal, también denominada cuarzo sericítica, o simplemente sericítica, caracterizada por el desarrollo de sericita y cuarzo secundario. Es el resultado de una hidrólisis moderada a fuerte de los feldespatos, en un rango de temperatura de 300 a 400 °C.

Alteración potásica. Alteración desarrollada en presencia de soluciones casi neutras y a altas temperaturas (400 a 600 °C), que se caracteriza por la formación de nuevos silicatos de potasio, 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.

Ancho mínimo para explotación. Es el ancho mínimo horizontal que permite explotar una veta, según el equipo que se utilice. Si el ancho de la veta es menor que el ancho mínimo de minado, durante la explotación el tajo correspondiente tiene que ampliarse a este último ancho, lo que ocasiona una dilución.

Arcilla. 1. El término hace 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, y el límite superior en el tamaño de los granos corresponde, por lo general, a un diámetro de 0,004 mm (menores de 4 μm). En mineralogía y petrografía sus variedades se conocen como arcillolitas.

Arena (rocas sedimentarias). Término textural usado para designar materiales o partículas producto de la desintegración natural o artificial de rocas preexistentes. Su tamaño oscila entre 0,0625 y 2 mm de diámetro.

Arenisca. Roca sedimentaria detrítica terrígena compuesta como mínimo por 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 irregulares, y también en lentejones. El color de estas rocas varía de blanco a gris claro, o pueden encontrarse 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. Su mineral esencial es el cuarzo; sus minerales accesorios, el feldespato, micas, cemento silíceo, de óxidos de hierro y de calcita. A veces contiene minerales pesados, como el rutilo, entre otros. Su textura es de grano medio y redondeado. Su distribución es homogénea y pocas veces contienen fósiles.

Arranque. El arranque de un mineral es la fragmentación del macizo rocoso hasta reducirlo a un tamaño que permita su manipulación para ser cargado y transportado. El arranque puede ser realizado con métodos mecánicos (forma continua y discontinua) y también por medio de la perforación con sustancias explosivas (forma discontinua).

Arranque mecánico. En este tipo de arranque se usan máquinas que utilizan los impactos, la roza, la fuerza hidráulica, el riplado o la excavación para desprender el mineral. En minería subterránea se usan máquinas de impacto tales como martillo hidráulico, martillo eléctrico y martillo neumático.

Autoridad ambiental. Es la autoridad que tiene a su cargo fiscalizar los recursos naturales renovables; aprobar estudios de impacto ambiental; adoptar términos y guías; aprobar o no la licencia ambiental, de acuerdo con el artículo 195 de la Ley 685 del 2001; delimitar geográficamente las reservas forestales; sancionar de acuerdo con las normas ambientales, y 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, tiene a su cargo la administración de los recursos mineros, la promoción de los aspectos atinentes a la industria minera, así como 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.

Azimut. 1. Dirección de una línea medida en sentido de las agujas del reloj, referida a un sistema de referencia, usualmente la red de meridianos. 2. Ángulo medido en el sentido de las agujas del reloj a partir del norte; su valor está comprendido entre 0 y 360 grados sexagesimales (400 grados centesimales). Se denomina “rumbo” si se mide con respecto al norte magnético, mientras que se emplea el término azimut geográfico si se mide con respecto al norte geográfico. 3. Ángulo que con el meridiano forma el círculo vertical que pasa por un punto de la esfera celeste o del globo terráqueo.

Barequeo. Lavado de arenas por medios manuales, sin ninguna ayuda de maquinaria o medios mecánicos, con el objeto de separar y recoger metales preciosos contenidos en dichas arenas. También puede aplicarse a la recolección de piedras preciosas y semipreciosas.

Barrena. 1. Herramienta que se usa para perforar. 2. Parte de una herramienta de perforación que corta la roca. Se le llama barreno a un agujero practicado en una roca, que se rellena de pólvora u otro explosivo, para hacerla volar.

Barretero. Minero que con una barrena y una maceta, una porra o un martillo pesado, abre orificios (barrenos) que se llenan de pólvora u otros explosivos que, al estallar, sueltan los minerales de la roca.

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, con colores que van del blanco sucio al pardo, con zonas más oscuras. Es la única mena comercial del 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 bauxita 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 a partir de las diferencias en sus propiedades.

Bienes finales. Bienes y servicios que conforman la demanda final; son aquellos cuyo proceso de producción se ha concluido en el periodo y están disponibles para su utilización; la mayor parte ha sido técnicamente terminada, es decir, no será objeto de una nueva transformación en el periodo.

Bioacumulación. Es el proceso de acumulación de sustancias químicas en organismos vivos, de forma que 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 consistente en un túnel horizontal. 2. Sitio en superficie por donde se accede a un yacimiento mineral.

Bomba (equipo). 1. Máquina para evacuar agua u otro líquido, accionada eléctrica o neumáticamente. 2. Aparato mecánico utilizado para transferir líquidos o gases de un lugar a otro, por ejemplo, la bomba de Cornualles (tipo de bomba desarrollada en Cornualles, Inglaterra, utilizada en el siglo XIX en minas profundas para elevar agua subterránea) o la bomba de trasiego. 3. Aparato mecánico para comprimir o atenuar gases.

Broca. 1. Aparato o herramienta utilizada para el corte de suelos y rocas, utilizada en perforaciones o sondeos del subsuelo, que se ensambla en la parte final de la sarta de perforación.

Buzamiento (geología general). Ángulo de inclinación que forma un filón, estructura o capa rocosa con un plano horizontal, medido perpendicularmente a la dirección o rumbo del filón.

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 movilizadas para la constitución y la puesta en marcha de una empresa.

Capital de inversión. Es la suma de todos los recursos, bienes y valores movilizadas 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.

Canteras de formación de aluvión. Llamadas también canteras fluviales. Corresponden a las canteras situadas en las laderas de ríos, donde éstos, como agentes naturales de erosión, transportan durante grandes recorridos las rocas y aprovechan su energía cinética para depositarlas en zonas de menor potencialidad para formar grandes depósitos de estos materiales, entre los cuales se encuentran desde cantos rodados y gravas hasta arena, limos y arcillas. En el entorno ambiental, una cantera de aluvión tiene mayor aceptación en terrazas alejadas del área de influencia del cauce que directamente sobre él. En las canteras de río, los materiales granulares que se encuentran son muy competentes en obras civiles, debido a que el continuo paso y transporte del agua desgasta los materiales y al final quedan aquellos que tienen mayor dureza y, además, con características geométricas típicas, como sus aristas redondeadas. Estos materiales son extraídos con palas mecánicas y cargadores de las riberas y cauces de los ríos.

Cartucho de explosivo. 1. Explosivo de dimensiones específicas y debidamente forrado con papel especial. 2. Carga cilíndrica de explosivos (indugel, fexagel y otros).

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 esta 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, que 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 pro-

yecto hasta su cierre. El ciclo minero tiene las siguientes cinco fases: gestación del proyecto, exploración, desarrollo minero, producción y desmantelamiento.

Cierre y abandono. Finalización de la explotación, abandono de montajes y de infraestructura. Se le llama abandono a la fase del ciclo minero durante la cual tiene lugar la disminución gradual de la producción, se lleva a cabo la ejecución del plan de cierre de la mina y del plan de restauración geomorfológica y ambiental del área intervenida. En esta etapa se retiran los equipos e infraestructura. (MME, 2015).

Cinética. Velocidad de disolución de un analito. En 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, así como de las características reológicas de la pulpa.

Clasificación manual. Selección manual de material en concentrados o preconcentrados antes de ser llevados a la planta de beneficio. La selección puede ser, en el caso de menas de oro, negativa (eliminación de material de ganga) o positiva (selección de granos gruesos de oro); en ambos casos se reduce la carga de material que va a la planta de beneficio.

Código de Minas. Cuerpo de 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 el subsuelo, sean de propiedad de la nación o de privados. Estas normas están contenidas en la Ley 685 del 2001, Código de Minas vigente (Congreso de la República de Colombia, 2001).

Comercialización. En minería, compraventa de minerales o de cualquier producto resultante de la actividad minera.

Compresor. Máquina para producir aire comprimido, con una presión mayor a la atmosférica, mediante la elevación de la presión del aire al valor de trabajo deseado. El aire comprimido pasa de la estación compresora y llega a las instalaciones a través de tuberías. Se distinguen dos tipos básicos de compresores: el primero trabaja según el principio de desplazamiento; en él la compresión se obtiene por la admisión de aire en un recinto hermético, donde se reduce el volumen del gas, lo que incrementa la presión interna. El segundo tipo es el compresor dinámico, que funcionan por aceleración molecular: el aire se aspira y es acelerado a gran velocidad; la energía cinética del aire se convierte en presión estática.

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 que debe procesarse. Para esta separación se pueden utilizar propiedades físicas (diferencia de densidad, atracción de campos magnéticos o eléctricos) o físico-químicas de los minerales.

Concentración gravimétrica. Método de concentración que aprovecha la diferencia en el peso específico entre los minerales que se quieren separar.

Concentración mecánica. Tratamiento del mineral bruto por procedimientos físicos que aumentan su riqueza al eliminar una parte mayor o menor del material estéril. Entre tales procedimientos figuran el lavado, la 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 que interesa separar. Durante el proceso, las partículas más densas que el fluido se hunden, mientras las livianas flotan.

Concentración residual. Acumulación de minerales in situ como resultado de procesos de meteorización de las rocas. Las lateritas se producen por este tipo de procesos.

Concentrado. Es el producto enriquecido de las operaciones de concentración de minerales.

Concentrado bulk. Concentrado que contiene más de un metal con valor comercial.

Concentrador (industria minera). 1. Planta donde la mena es separada en material de valor (concentrados) y material de desecho (colas). 2. Se le llama así a 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 centrífugo. Son equipos que utilizan la fuerza centrífuga generada por la rotación a alta velocidad del depósito que se alimenta con 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.

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 de 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: fuerza gravitacional, fuerza centrífuga, empuje del líquido y 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 hasta sesenta veces la fuerza de la gravedad. Al alimentarlo con 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 noventa toneladas métricas por día.

Concordancia. Relación geométrica entre dos unidades estratigráficas superpuestas en las que existe paralelismo entre los materiales infra y suprayacentes.

Construcción y desarrollo. Comprende el conjunto de actividades que permiten el acceso al yacimiento y el establecimiento de la infraestructura para el proyecto. Incluye la adquisición de permisos para iniciar la explotación, el diseño y el planeamiento detallado de la explotación, además de trabajos previos que se realizan para llegar a la mina: vías de acceso, instalaciones, servicios sanitarios, instalaciones eléctricas y de agua, campamentos, montajes mineros y de beneficio.

Construcción y montaje. Consiste en la preparación de los frentes mineros y en la instalación de obras, servicios, equipos y maquinaria fija necesarios para iniciar y adelantar la extracción o la captación de los minerales, su acopio, su transporte interno y su beneficio.

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, hacen que el medio receptor adquiera características diferentes de las originales, perjudiciales o nocivas para la naturaleza, la salud y 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 este, los estudios, trabajos y obras de exploración de minerales de propiedad estatal que puedan encontrarse en una zona determinada, y para explotarlos en los términos y condiciones establecidos en la legislación vigente en el momento de su celebración. Comprende como parte de su objeto las fases de exploración técnica, explotación económica, beneficio de los minerales y cierre o abandono de los trabajos, y obras correspondientes.

Control de aguas o desagüe (industria minera). En minería, acciones y obras para la evacuación de aguas de desecho, como sistemas técnicos para la evacuación de aguas en forma de cunetas y estaciones de bombeo, entre otros.

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 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 ambiental. Son los gastos necesarios para la protección, la conservación, el mejoramiento y la rehabilitación del medio ambiente. Es el valor económico que se les asigna a los efectos negativos de una actividad productiva para la sociedad.

Costo de conversión. Equivale a los recursos invertidos en procesar el mineral de una etapa a otra del beneficio.

Costo de inversión. Costo equivalente a los intereses correspondientes al capital invertido en una maquinaria, equipo o en cualquier actividad que conduzca a una mejora en la producción.

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.

Costo por depreciación. Es el que resulta de la disminución del valor original de la maquinaria.

Costo por mantenimiento. Costos originados por todas las erogaciones necesarias para conservar la maquinaria en buenas condiciones, a efectos de que trabaje con rendimiento normal durante su vida económica. Se divide 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 requieran 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.

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. Quien 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 un metal líquido se solidifica, los átomos asumen una posición definitiva en la red cristalina. La fatiga o falla de los metales debido a esfuerzos repetitivos, algunas veces es erradamente atribuida a la cristalización.

Cruzada. Son labores horizontales, perpendiculares al rumbo del cuerpo mineralizado.

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. 1. Precio en dinero al que el mercado está dispuesto a comprar. 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, que bajo circunstancias favorables puede ser extraída con beneficio económico.

Derecho a explotar. Es el derecho que tiene el beneficiario de un título minero para realizar un conjunto de operaciones que tienen por objeto la extracción o la captación de los minerales yacientes en el suelo o el subsuelo dentro de un área determinada.

Derrumbe. 1. Hundimiento de un tajo o un corte (cámara). 2. Colapso de labores mineras.

Desabombar. Actividad que consiste en detectar y forzar la caída, controlada, de fragmentos de roca relativamente grandes, o “planchones” o “petacas” (fragmentos de roca) que se encuentren fracturados y ligeramente desprendidos del techo o los costados de una galería o labor minera subterránea, y que podrían caer de improviso. Esta actividad es obligatoria y periódica en las zonas agrietadas.

Desanche. Método de retirar mineral para formar una cavidad o una cámara subterránea en un depósito de filones estrechos. Primero es volada la roca de respaldo a un lado del filón, y después, el mineral.

Desarrollo (minería subterránea). El desarrollo es una etapa intermedia entre la exploración y la extracción propiamente dicha, y comprende las labores mineras encaminadas a crear los accesos y vías internas dentro del depósito, con el fin de preparar la extracción y el transporte del mineral. El desarrollo puede ser productivo o improductivo. Este último, en minería subterránea, ocurre cuando el avance se realiza en estéril (cruzadas). En cambio, es productivo cuando el avance horizontal se realiza con extracción de mineral (construcción de guías). (MME, 2015).

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 ajustada a la capacidad de carga de los

ecosistemas; implica la satisfacción de las necesidades actuales sin comprometer la satisfacción de las necesidades de las futuras generaciones.

Detonador eléctrico. Fulminantes elaborados de tal manera que pueden hacerse detonar cuando una corriente eléctrica pasa por los hilos de conexión.

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.

Dilución. Material de bajo o nulo tenor de mineral valioso (estéril) que se extrae durante las operaciones mineras y por lo tanto forma parte de las reservas.

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 (corta la estratificación de las capas). Pueden aparecer varios diques dispuestos paralelamente entre sí, y cuando son afectados por erosión pueden dar lugar a relieves descalzados, por 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, que representa un hiato o espacio significativo en la sucesión estratigráfica.

Distrito minero. Porción o área de terreno de un país, generalmente designada con un nombre, cuyos límites han sido descritos y dentro de la cual existen minerales que son extraídos según las reglas y regulaciones establecidas por los mineros locales. No existe límite de extensión territorial para definir un distrito minero, y sus linderos se pueden cambiar, siempre y cuando no se afecten otros derechos.

Dorsales. Conocidas también como dorsales meso-oceánicas, son elevaciones submarinas o sistemas montañosos de las cuencas oceánicas, a lo largo de las cuales se producen episodios de rifting, que implican 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. En Colombia, corresponde a la persona jurídica.

Endógeno. Todos aquellos procesos geológicos que se generan en el interior de la Tierra, como, 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, el 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 tanto, un buen paso del agua y el aire. En la minería, la erosión hídrica es la más grave, 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 o viento) transforman las formas creadas por los procesos endógenos.

Escala de minería. Escala de clasificación que toma como base fundamental el volumen o el tonelaje de materiales útiles y estériles extraídos de una mina durante un determinado período de tiempo. De la capacidad instalada de extracción de materiales dependen las inversiones, el valor de la producción, el empleo, el grado de mecanización de la mina y demás aspectos de orden técnico, económico y social. Los rangos de producción dependen del mineral o material que se explote.

Escala de valores del oro. Escala utilizada para medir la pureza del oro, cuya unidad es el quilate. Cubre un rango de uno a veinticuatro quilates, y el oro de mayor pureza es calificado con veinticuatro quilates. Si una pieza tiene doce quilates, quiere decir que la aleación con la que está fabricada tiene 50% de oro.

Espesor. Ancho o grosor de una veta, estrato u otra masa mineral, medido perpendicularmente o en la misma dirección del 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 $e = h \times \text{sen } \alpha$, donde h = espesor horizontal, e = espesor real, y α = ángulo de buzamiento. En esta fórmula, el ángulo “ α ” se sabe por mediciones previas, y el ancho horizontal puede medirse con un nivel. Es importante que el ancho horizontal sea medido en ángulo recto con respecto al rumbo.

Estéril. 1. Se dice de la roca o del material de vena que prácticamente no contiene minerales de valor recuperables, que acompañan a los minerales de valor y que es necesario remover durante la operación minera para extraer el mineral útil.

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 que vayan a realizarse en un proyecto minero industrial, lo mismo que sobre sus condiciones operativas y procedimientos asociados.

Estudio de factibilidad minera. Estudio en el cual se recopila la información geológico-minera obtenida desde el reconocimiento hasta la exploración detallada: se modela el yacimiento, se diseña la explotación, se determina el volumen de reservas recuperables y se evalúan 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; conduce a la toma de decisiones en materia de inversiones y constituye un documento que los bancos aceptan para las gestiones de financiación de un proyecto.

Estudio de impacto ambiental (EIA). 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 naturales circundantes.

tes 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, de 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 EIA incluye: a) resumen del EIA; 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, y 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 de 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 apoyar la decisión sobre la viabilidad o inviabilidad del proyecto, o determinar la necesidad de análisis más detallados.

Estudios geológicos. Recopilación de información geológica de un área o una región, con el objetivo primordial de desarrollar minería, exploración minera u obras civiles, entre otras acciones. Un estudio geológico provee información sobre litología, estructuras y presencia de minerales, entre otros aspectos. Estos estudios pueden ser generales o detallados; por ejemplo, en el caso de túneles para obras civiles, un estudio geológico suministra información metro a metro de la zona que se va a perforar, con detalles de la estructura, la permeabilidad, los niveles freáticos, la dureza de las distintas unidades rocosas y otros aspectos necesarios para determinar la solución a los problemas que se van a encontrar antes de que la perforación alcance las zonas donde existan estos posibles problemas, para de esta manera ahorrar tiempo y dinero e incluso salvar vidas humanas.

Evaluación del proyecto. Se basa en el estudio de factibilidad del proyecto, en la evaluación económica (costos, inversiones) y en el análisis de reservas. Además, se realizan los trámites legales, sociales, mineros y ambientales, así como el planeamiento minero.

Excavación. 1. Proceso de remoción de material de suelo o roca de un lugar para transportarlo a otro. La excavación incluye operaciones de profundización, voladura, ruptura, cargue y transporte, tanto en superficie como bajo tierra. 2. Pozo, fosa, hoyo o cualquier corte resultante de una excavación.

Exploración. Consiste en lograr un conocimiento detallado del depósito mineral descubierto en la etapa de prospección. Para ello se realiza un modelo geológico y de recursos del yacimiento y se adelanta el estudio de prefactibilidad para determinar si vale la pena continuar o no con el proyecto.

Explosiones de polvo de sulfuro. En las minas subterráneas, es el riesgo de combustión espontánea de polvo que contiene sulfuros minerales y es transportado por el aire.

Explosivo. Los explosivos son sustancias que tienen poca estabilidad química y que son capaces de transformarse violentamente en gases. Esta transformación puede realizarse a causa de una combustión o por acción de un golpe, impacto, fricción u otra causa, en cuyo caso dichas sustancias reciben el nombre de explosivos detonantes, como es el caso de las dinamitas y los nitratos de amonio.

Explotación (industria minera). 1. Proceso de extracción y procesamiento de los minerales, así como la actividad orientada a la preparación y el desarrollo de las áreas que abarca el depósito mineral. 2. Es la aplicación de un conjunto de técnicas y normas geológico-mineras y ambientales para extraer un mineral o depósito de carácter económico, para su transformación y comercialización. 3. El artículo 95 de la Ley 685 de 2001 (Código de Minas) define la explotación como “el conjunto de operaciones que tienen por objeto la extracción o captación de los minerales yacentes en el suelo o subsuelo del área de la concesión, su acopio, su beneficio y el cierre y abandono de los montajes y de la infraestructura”.

Explotaciones pequeñas. Se consideran explotaciones pequeñas y de poca profundidad las que se realizan con herramientas e implementos simples de uso manual, accionados por la fuerza humana, y cuya cantidad extraída no sobrepasa las 250 toneladas anuales de material.

Explotaciones tradicionales. Las explotaciones tradicionales son aquellas áreas en las cuales hay yacimientos de minerales explotados tradicionalmente por numerosas personas vecinas del lugar y que, por sus características y ubicación socioeconómica, son la única fuente de abastecimiento regional de los minerales extraídos.

Exógeno. Son todos los procesos geológicos superficiales, como, por ejemplo, la meteorización.

Extraíble (mineral de interés o valioso). Parte económica o subeconómica del yacimiento que puede ser extraída durante la operación normal de la mina.

Ff

Factibilidad. es un estudio técnico y económico exhaustivo de la opción de desarrollo seleccionada para un proyecto minero, que incluye evaluaciones apropiadamente detalladas de los factores modificadores aplicables, junto con cualquier otro factor operacional relevante y los análisis financieros detallados que son necesarios para demostrar, al momento de presentar el reporte que la extracción está razonable justificada (económicamente explotable). Los resultados de estudio pueden razonablemente servir como base para la decisión final para que el titular o institución bancaria, proceda al financiamientos o desarrollo del proyecto.”

Filón. Relleno de minerales que ha colmado una fisura en la corteza terrestre.

Fluidos hidrotermales. Son fluidos que pueden contener agua a alta temperatura, y son volátiles y químicamente activos. Su origen puede ser magmático o de aguas meteóricas que se calientan y ascienden. Los fluidos hidrotermales pueden transportar y depositar metales, lo cual produce alteraciones químicas en las rocas con las cuales interactúan.

Flujo de caja (cash flow). Refleja los cobros y pagos del negocio o empresa en un periodo 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 en el 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. 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 pueden llegar a ser económicamente explotables (al conocerse alguna aplicación nueva para estos), en cuyo caso 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.

Gas (industria minera). 1. Término usado por los mineros para referirse a un aire impuro, especialmente con combinaciones explosivas. 2. Gases combustibles (metano), mezcla de aire y gases combustibles, u otras mezclas de gases explosivos que se encuentran en las minas.

Gases esenciales. En minería, el aire atmosférico y el oxígeno, los gases indispensables para la vida del hombre.

Gases explosivos. En minería, gases que en altas concentraciones forman mezclas explosivas con el aire: metano (CH_4); monóxido de carbono (CO , explosivo en concentraciones entre 13 y 75%) y C_2H_2 y H_2S .

Gases nitrosos (NO y NO_2). Son derivados de diferentes óxidos de nitrógeno. Se encuentran como mezcla en diferentes concentraciones como productos habituales en las voladuras practicadas en los frentes. Estos dos gases no se separan nunca en esta situación, por lo que hay que reconocerlos juntos, aunque los porcentajes varíen constantemente. Producen la muerte por edema pulmonar, por lo que es preciso tener cuidado en los momentos inmediatos a la pega, y conviene regar la carga de tierra para disolverlos. Se detectan mediante tubos colorimétricos. Su característica más destacada es su olor acre.

Gases sofocantes. En minería, gases que producen ahogo, y en altas concentraciones pueden producir la muerte: nitrógeno (N_2); dióxido de carbono (CO_2), que cuando es mayor que 15% en volumen, es mortal; metano (CH_4) y el gas de carburo (C_2H_2), producido por la acción del agua sobre el carburo de calcio, que produce un característico olor a ajo.

Gases tóxicos. En minería, gases nocivos al organismo por su acción venenosa: monóxido de carbono (CO); humos nitrosos (de olor y sabor ácidos); sulfuro de hidrógeno (ácido sulfhídrico) (H_2S) (su límite permisible es de 8 pm), que tiene olor a huevos podridos, y anhídrido sulfuroso (SO_2), que en concentraciones mayores del 15% en volumen, es mortal (su límite permisible es de 1,6 pm).

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, requisito para asentar edificios, puentes y carreteras sin riesgo para la vida humana.

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 físico-químicos 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, en el 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 diámetro es superior a 2 mm.

Grisú. Mezcla de metano con aire en proporciones variables, que puede contener algún que otro gas (como etano y anhídrido carbónico, entre otros), si bien es el metano, que puede alcanzar porcentajes muy altos, el que determina sus características. Estas características son: altamente combustible y arde con llama azulada; es incoloro, insípido, asfixiante y pesa menos que el aire. Puede desplazar al oxígeno en la mezcla

de aire hasta niveles en los que el porcentaje de oxígeno (O₂) sea lo suficientemente bajo para no permitir la supervivencia humana, y tiende a acumularse en los lugares altos de las labores, donde la velocidad de ventilación es insuficiente.

Guía (industria minera). Es una galería subterránea que sigue el rumbo del cuerpo mineralizado (vena, veta, filón, manto o capa). Las guías no tienen salida directa a la superficie y están destinadas al transporte de cargas, circulación de personal, ventilación, desagüe, y conducen a los frentes de trabajo.

Hh

Horizonte de evaluación del proyecto. Tiempo definido para medir la bondad financiera del proyecto.

li

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 conduce 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 ambiente.

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. Solo 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, entre 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 rubros.

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 utilizarlos 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. Se encuentran 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: a) Primarias, que se forman durante el crecimiento del cristal y pueden presentarse aisladas, en pequeños grupos de inclusiones fluidas sin orientación particular, o alineadas paralelamente a las zonas de crecimiento del cristal. b) Secundarias, que se forman en fracturas en cristales, que han sido penetradas por fluidos para luego sellarse mediante la autorreparación del cristal; se presentan como lineamientos de inclusiones que llegan a tocar la superficie del cristal, e incluso, a veces, pueden continuar en cristales adyacentes. c) Seudosecundarias: se trata de inclusiones que por sus lineamientos parecen secundarias, aunque en realidad son primarias; se las considera un subgrupo de las inclusiones primarias. De las inclusiones fluidas se puede obtener información como la temperatura y la presión a la cual se formó el mineral, qué contenedor, además del tipo 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 que adelante 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 puede 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 extraíble 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

se presentan naturalmente para acelerar la oxidación de minerales sulfídicos que contienen algunas formas de oro y, a la 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 contienen sustancias solubles (por ejemplo, en un relleno sanitario).

Mm

Manejo de aguas (industria minera). Proceso en el que, en un área minera, se produce un descenso de la tabla de agua subterránea mediante bombeo de pozos para luego ser transportada y utilizada o recargada en el 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 aprovechar mejor la mena suele ser necesario su tratamiento, que por lo regular comprende dos etapas: el tratamiento en el sitio de mina para aumentar la concentración del mineral en cuestión (procesos hidrometalúrgicos y flotación, entre otros), y el tratamiento metalúrgico final, que permite extraer el elemento químico en cuestión (tostación y electrólisis, entre otros).

Metalogénesis. Proceso que permite definir y, dado el caso, mostrar en un mapa, las áreas que pueden contener concentraciones minerales.

Metalogenia. 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.

Metalografía. Descripción y clasificación de metales mediante el estudio de la estructura de un metal-aleación y la relación con la composición química, y 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 en rocas o minerales, 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 un proceso isoquímico que conduce 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, sea ígnea, sedimentaria o metamórfica, puede ser afectada por el metamorfismo. Hay varios esquemas para distinguir diferentes tipos de metamorfismo: a) según la extensión sobre la cual tuvo lugar el metamorfismo: metamorfismo regional y local; b) según las condiciones (ambiente) geológicas: orogénico, de enterramiento, de fondo oceánico, dinámico, de contacto y dinamotérmico; c) según el principal factor controlante durante el metamorfismo (temperatura [T], presión [P], presión de agua [PH₂O], esfuerzos, deformaciones): térmico; d) 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; e) 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), y f) 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, debido a un grupo de reacciones que permiten la introducción de material de fuentes externas. 3. Proceso de solución y deposición simultánea que ocurre a través de pequeñas aperturas, generalmente submicroscópicas, y principalmente por acción de soluciones acuosas hipogénicas, que da como resultado un nuevo mineral de composición total o parcialmente diferente, y que puede desarrollarse en el cuerpo de un antiguo mineral o agregado de minerales.

Metilmercurio. El metilmercurio (a veces escrito como metil-mercurio) es un catión organometálico de fórmula química [CH₃Hg]⁺. Se trata de un compuesto neurotóxico capaz de concentrarse en el organismo (bioacumulación) y concentrarse, asimismo, en las cadenas alimentarias (biomagnificación), que ocupa un lugar especial debido a que cierto porcentaje de la población mundial está expuesta a él de una u otra forma, y su toxicidad está mejor caracterizada por la investigación médica que la de otros compuestos orgánicos del mercurio.

Mineral. 1. Sustancia homogénea originada por un proceso genético natural, con composición química, estructura cristalina y propiedades físicas constantes dentro de ciertos límites. 2. Minerales que se caracterizan por una estructura cristalina y por una composición química determinadas, 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 asociado. Categoría en la que se incluyen los minerales que hacen parte integral del cuerpo mineralizado objeto del contrato de concesión. Véase ganga.

Mineral de alteración. Mineral que se forma como producto de reacciones físico-químicas 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, fílica, propílica, argílica, subpropílica, albitización, piritización, carbonatización, ceolización, alunitización, caolinización, silicificación, dolomitización, turmalinización, epidotización, argílica avanzada, sericítica, cloritización.

Mineral de mena. Véase mena.

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, y 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. Ciencia, técnicas y actividades que tienen que ver con el descubrimiento, la exploración y la explotación de yacimientos minerales. Estrictamente hablando, el término se relaciona con los trabajos subterráneos y a cielo abierto (en superficie) encaminados al arranque y al tratamiento de una mena o la roca asociada. La minería es una de las actividades más antiguas de la humanidad, y consiste en la obtención selectiva de minerales y otros materiales que se encuentran en la corteza terrestre.

Minería de subsistencia. Es la actividad minera desarrollada por personas naturales o grupo de personas que se dedican a la extracción y recolección a cielo abierto de arenas y gravas de río destinadas a la industria de la construcción, arcillas, metales preciosos, piedras preciosas y semipreciosas por medios y con herramientas manuales, sin la utilización de ningún tipo de equipo mecanizado o maquinaria para su arranque. Incluye las técnicas de barequeo (véase) y de recolección de minerales. No comprende las actividades que se desarrollan en espacios subterráneos sin título minero (Ministerio de Minas y Energía, Decreto 1666 de 2016).

Minería formal. Actividad cuyas unidades productivas desarrollan las labores mineras con título minero vigente o bajo el amparo de este, y con 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 ilegal. Es la minería que se desarrolla sin estar inscrita en el Registro Minero Nacional y, por lo tanto, sin título minero. Es la minería desarrollada de manera artesanal e informal, al margen de la ley. También incluye trabajos y obras de exploración sin título minero. Incluye minería amparada por un título minero, pero en la que la extracción, o parte de ella, se realiza por fuera del área amparada por la licencia.

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.

Minería tradicional. La minería tradicional es aquella que se ha ejercido desde antes de la vigencia de la Ley 685 de 2001, en un área específica, en forma continua o discontinua, por personas naturales o grupos de personas naturales o asociaciones sin título minero inscrito en el Registro Minero Nacional, en yacimientos minerales de propiedad del Estado y que, por las características socioeconómicas de éstas y la ubicación del yacimiento, constituyen para dichas comunidades la principal fuente de manutención y generación de ingresos, además de considerarse una fuente de abastecimiento regional de los minerales extraídos. Esta minería es también informal y puede ser objeto de procesos de formalización a los que hacen referencia los artículos 31 y 257 de la Ley 685 de 2001, así como los programas de que trata el capítulo XXIV de la Ley 685 de 2001 (Código de Minas). Por lo anterior, se entiende que la minería tradicional es una subespecie de la minería informal.

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 después de 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 moledor 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 moledor 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. Molino para minerales que consiste en una o más piedras grandes arrastradas por un lecho circular.

Molino de barras. Molino para molienda fina (última etapa de la molienda, en la que el material que se entrega pasa por un tamiz de malla de 1 mm² de sección), similar a los molinos de bolas. Es un equipo cilíndrico que tiene 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 con 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 lleva a cabo por efecto de las 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 solo un compartimiento y una carga de partículas de mineral cribadas como medio de molienda. Son muy usados en las 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 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 metales preciosos como el oro y el platino. Una onza troy equivale a 31,103 g.

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 semiindustrial 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, que utiliza algún tipo de energía (eléctrica, mecánica, hidráulica o térmica) para la operación de los equipos o máquinas.

Pre-factibilidad. es un estudio exhaustivo de un rango de opciones para la viabilidad técnica y económica de un proyecto minero que ha avanzado hasta una etapa en la que se ha establecido un método preferido de extracción y procesamiento de mineral, ya sea en minería subterránea o a cielo abierto, incluye un análisis financiero basado en suposiciones razonables de los factores modificadores.

Preparación (desarrollo minero). Labores mineras llevadas a cabo para facilitar la explotación apropiada del yacimiento o depósito, una vez se ha completado la exploración minera y se ha logrado el acceso y el desarrollo tanto en el rumbo como en el buzamiento. Las labores de preparación se realizan, en su mayoría, dentro del yacimiento mismo, e incluyen: a) inclinados y tambores, b) subniveles y sobreguías y c) algunas cruzadas, “chutes” de descargue, algunas clavadas y verticales, y otros trabajos.

Preparación de minerales. Es una parte de la metalurgia extractiva que comprende la secuencia de operaciones físicas y mecánicas (trituración, molienda, clasificación, aglomeración, concentración) mediante las cuales se adecúa el mineral para procesos posteriores de extracción sin producir alteración química del alimento.

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 (véase) 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 diez y treinta años, y depende del nivel de reservas, el tipo de explotación y las condiciones de la contratación.

Productividad. Relación entre lo producido y los medios empleados, tales como mano de obra, materiales, energía y maquinaria, entre otros.

Producto (industria minera). Cantidad de mineral obtenido en un proceso o una operación, 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, como, por ejemplo, el color, olor, la 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. Por ejemplo, oxidación.

Prospección. Consiste en localizar anomalías geológicas donde pueda existir un depósito mineral.

Provincia metalogénica. Región en la que una serie de depósitos minerales tienen características comunes.

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 operación unitaria. Por lo general 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. Se dividen en recursos renovables (véase) y recursos no renovables (véase).

Recursos naturales no renovables. Son los recursos que no tienen capacidad de recuperarse o regenerarse después de ser aprovechados, aunque 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 en un porcentaje acordado de los ingresos resultantes de su uso. Por ejemplo, la que recibe un fabricante por el uso de su maquinaria en la fábrica de otra persona. Regularmente, 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). Conjunto de desechos tóxicos de procesos mineros resultado de la concentración de minerales, por lo general 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 y mercurio, y metaloides como el arsénico.

Reserva mineral: es la parte económicamente explotable de un recurso mineral medido y/o indicado, esto incluye el material de dilución y pérdidas que pueden ocurrir cuando el material es explotado o extraído y está definido apropiadamente por estudios de pre factibilidad o factibilidad que incluyen la aplicación de factores modificadores. (minería, procesamientos, metalúrgicos, infraestructura, económicos, de mercado, legales, ambientales, sociales y gubernamentales). Las reservas minerales incluyen reservas probables y probadas.

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 la compactación de sedimentos, en un proceso llamado litificación. Se presentan estratificadas y pueden contener fósiles.

Rocas volcánicas, ígneas o magmáticas. Rocas ígneas que se forman a partir de la consolidación de material del magma que fluyó hacia la superficie terrestre (lava) o fue lanzado violentamente (de forma explosiva) desde un volcán (piroclastos como, por ejemplo, ceniza). Una característica importante de las rocas volcánicas es que tienen una tasa de enfriamiento alta, es decir, el paso desde magma a roca es rápido. Las formas de solidificación de las vulcanitas están estrechamente relacionadas con su contenido en SiO₂, con el contenido gaseoso de los fundidos respectivos y con la viscosidad de la lava.

Ss

Sector. Conjunto de empresas o instituciones dedicadas a una misma actividad económica.

Sedimento. Material sólido que se asienta desde el líquido cuando se encuentra en suspensión.

Silicificación. Introducción de sílice o reemplazo de componentes por sílice. La sílice formada o introducida es generalmente cuarzo de grano fino, calcedonia u ópalo, y puede rellenar poros o reemplazar 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, así como garantizar 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 del bienestar social.

Sulfuros. 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. Se puede 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 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 de 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. Esta expresión 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 coproductos y subproductos.

Tenor de colas. Tenor, ley o concentración de mineral en las colas que se desechan al final del 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 o 2.205 lb.

Transformación. Transformación minera 1). Conjunto de operaciones fisicoquímicas o metalúrgicas a que se somete un mineral después de ser beneficiado, para obtener un primer producto comercial utilizable por la industria y el consumidor. 2). De acuerdo con el Código de Minas, es la modificación mecánica o química del mineral extraído y beneficiado, a través de un proceso industrial del cual resulte un producto diferente no identificable con el mineral en su estado natural.

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, como preparación para la siguiente etapa de reducción (segunda o tercera etapa de trituración o circuito de molienda).

Trituración primaria, secundaria y terciaria. 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 de 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. Esta trituradora 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, que pasan 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 tanto, el tamaño del 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 periodo 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 periodo 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 forma de vetas junto con otros minerales asociados.

Vida útil. La vida útil de un equipo es el lapso durante el cual este 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 este, por mínimos que 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, desgaste excesivo debido a uso anormal, vibraciones y fricción de sus partes móviles, manejo de diferentes operadores e irresponsabilidad de estos y 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 constar hasta de cientos de metros a los lados del plano de falla. Alberga numerosas fallas pequeñas en las cataclasitas y milonitas asociadas.

11.

REFERENCIAS

Llegada del equipo técnico del SGC a la zona minera de Tapacundó, municipio de Condoto (Chocó). Fotografía tomada por Viviana Pérez, Servicio Geológico Colombiano



- ANH. (2008). Geología de superficie y geoquímica de rocas y crudos de la subcuenca del san juan (chocó). Consultoría para la geología de superficie y geoquímica de rocas y crudos de la subcuenca del san juan (chocó).
- Aiglsperger, T., Proenza, J., Lopez, G. y Arboleda, V. (2017). New data from platinum group minerals (PGM) in placer deposits from Rio Condoto (Colombia) and Rio Santiago (Ecuador). Departament de Mineralogia, Petrologia i Geologia Aplicada. Facultat de Ciències de la Terra. Universitat de Barcelona. C/ Martí i Franquès, s/n. 08028, Barcelona, Catalunya (Spain).
- Álvarez, J. (1971). Anotaciones para un informe sobre geología y geoquímica de la Cordillera Occidental. INGEOMINAS, Informe interno.
- ANH-EAFIT (2007) Evaluación Integral de la Información Geológica, Geofísica Y Geoquímica de la Cuenca Atrato y Cuenca San Juan.
- ANH-SERVIGEOCOL (2008). Geología de superficie y geoquímica de rocas y crudos de la subcuenca del san juan (chocó). Consultoría para la geología de superficie y geoquímica de rocas y crudos de la subcuenca del san juan (chocó) Servigeocol.
- ANM (2017). Agencia Nacional de Minería. Bullets Choco. <https://www.anm.gov.co/?q=content/bullets-choc%C3%B3-01-06-2017>.
- ANM (2020). Agencia Nacional de Minería. <https://www.anm.gov.co/?q=content/choc%C3%B3-%C3%A1reas-de-reserva-especial-declaradas-y-delimitadas>.
- Aragón, S. (2017). Centro de estudios para la justicia social-Tierra Digna. La Minería en el Choco la Clave de Derechos. Investigación para convertir la crisis socioambiental en paz y justicia territorial.
- Aristizabal, A. (2015). El platino: contribuciones socio-historicas y científicas siglo XIX y XX. Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Bogotá, Colombia.
- Auvert (2011). Case study: Platinum Creek Mine – Alaska 2008 – 2011. AuVert Limited, London. 1-8.
- AuVert (2020). Tecnología AuVert. <https://auvert.co/tech.php>.
- Baeyens, W., Leermakers, M., Papina, T., Saprykin, A., Brion, N., Noyen, J., ... Goeyens, L. (2003). Bioconcentration and Biomagnification of Mercury and Methylmercury in North Sea and Scheldt Estuary Fish. Archives of Environmental Contamination and Toxicology, 45(4), 498–508. <https://doi.org/10.1007/s00244-003-2136-4>.
- Barbosa-Espitia, A., Kamenov, G., Foster, D., Restrepo- Moreno, S. y Pardo-Trujillo, A. (2019). Contemporaneous Paleogene arc-magmatism within continental and accreted oceanic arc complexes in the northwestern Andes and Panama. Lithos 348–349 (2019) 105185. <https://doi.org/10.1016/j.lithos.2019.105185>.
- 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(1–3), 169–183. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2004.11.013>.
- Bedoya, G., Cediell, F., Restrepo-Correa, I., Cuartas, C., Montenegro, G., Marín-Cerón, M., Mojica, J. y Cerón, R. (2009). Aportes al conocimiento de la evolución geológica de las cuencas Atrato y San Juan dentro del Arco Panamá – Chocó. Boletín de Geología Vol. 31, N° 2.
- Bifani, P. (1999). Medio ambiente y desarrollo sostenible. IEPALA Editorial.

- Borselli, L. (2019). Geotecnia I, Clasificación Ingenieril de los suelos y macizos rocosos.
- Bouman, Q. (1965). General reconnaissance in the central Choco. *Ecopetrol*, Rep. 345, 27 p. Bogotá.
- Buchely, f., Parra, E., Castillo, H., González, F., Dávila, C., y Romero, O. (2009). Realización de la cartografía geológica y muestreo geoquímico en las planchas 144, 145, 128, 129, 113 y 114 (1580 km). Contrato no. 390 de 2007. INGEOMINAS-GRP LTDA. Bogotá. 172p.
- Castro Sanguinetti, G. (2011). Castro 2011, Efecto del mercurio en peces y salud pública en el Perú.pdf. San Marcos.
- CCRR (2018). Comisión Colombiana de Recursos y Reservas Minerales. Estándar Colombiano para el Reporte Público de Resultados de Exploración, Recursos y Reservas Minerales-ECRR-CRISCO.
- Chang, R. (2011). Fundamentos de química. Mexico-McGraw-Hill.
- Cossio, U. (2003). Memoria Explicativa. Geología de las planchas 202 Pilizá, 203 Istmina, 221 Pizarro y 222 Sipídel Departamento del Chocó. Ingeominas,1, 65.
- DANE (2019). Anexos PIB departamental 2014-2017, Resultados por actividad económica. <https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticaspor-tema/cuentas-nacionales/cuentas-nacionales-departamentales>.
- Duque-Caro, Hermann (1990) Estratigrafía, paleoceanografía y paleobiogeografía de la Cuenca del Atrato y la evolución del Istmo de Panamá. *Boletín geológico* vol 31 # 1. Ingeominas.
- Duque-Herrera, A.-F., Helenes, J., Pardo-Trujillo, A., Flores-Villarejo, J.-A., y Sierro-Sánchez, F.-J. (2018). Miocene biostratigraphy and paleoecology from dinoflagellates, benthic foraminifera and calcareous nannofossils on the Colombian Pacific coast. *Marine Micropaleontology*, 141, 42–54. doi:10.1016/j.marmicro.2018.05.002.
- Duque-Caro, H. (1990). The Choco Block in the northwestern corner of South America: Structural, tectonostratigraphic, and paleogeographic implications. *Journal of South American Earth Sciences*, 3(1): 71–84. [https://doi.org/10.1016/0895-9811\(90\)90019-W](https://doi.org/10.1016/0895-9811(90)90019-W).
- Echavarría, C. (2019). Manejo del agua en la minería artesanal y de pequeña escala de aluvión. Retrieved April 17, 2020, from <https://www.responsiblemines.org/2019/03/manejo-del-agua-en-la-mineria-artesanal-y-de-pequena-escala-de-aluvion/>.
- Foucher, D., Hintelmann, H., Al, T. A., y MacQuarrie, K. T. (2013). 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. <https://doi.org/10.1016/j.chemgeo.2012.04.014>.
- Gaona, X. (2004). El mercurio como contaminante global: Desarrollo de metodologías para su determinación en suelos contaminados y estrategias para la reducción de su liberación al medio ambiente. Universitat Autònoma de Barcelona. <https://doi.org/http://hdl.handle.net/10803/3174>.
- Grimm, C., Von der Handt, A., Schmidt, R., Laukert, G. y Mojica, J. (2012). Petrology of the Mafic-Ultramafic Viravira Complex, Colombia: Fragments of an Alaskan-type Intrusion. *European Mineralogical Conference Vol. 1*, EMC2012-484, 2012.
- Guarín, G. y Alvarez, E. (1977). Geología y geoquímica del proyecto de cobre porfídico del área de Murindó. Ingeominas, Informe interno. 169 p. Medellín.

- Haffer, J. (1967). On the geology of the Uraba and northern Choco regions, NW Colombia. Colombian Petroleum Company, COLPET. Internal report GR-351, 106 p. Bogotá.
- Herrera Núñez, J., Rodríguez Corrales, J., Coto Campos, J. M., Salgado Silva, V., y Borbón Alpizar, H. (2013). Evaluación de metales pesados en los sedimentos superficiales del río Pirro. *Revista Tecnología En Marcha*, 26(1), 27. <https://doi.org/10.18845/tm.v26i1.1119>.
- Hoek, E. y Brown, E. T. (2007). Consulting Engineer. Estimación de la resistencia de Macizos Rocosos en la práctica. www.u.cursos.cl/ingenieria/2007
- Hurlbut, C. S. (1976). *Manual de Mineralogía de Dana* (2da ed.). Barcelona - Buenos Aires - México: reverté.
- IDEAM. (2007). Resolución 062 de 2007. Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, (0062), 1-55.
- Ingeominas – Naciones Unidas. (1982). Mineralización de cobre – molibdeno en el Municipio de Acandí, Departamento de Chocó Informe interno Naciones Unidas Bogotá.
- Ingeominas (2003). Geología De Las Planchas 163 Nuquí, 164 Quibdó, 183 Coquí Y 184 Lloró Departamento Del Chocó. Memoria explicativa. Escala 1:100.000.
- Ingeominas, JICA, y Minminas. (2010). Técnicas mineralógicas, químicas y metalúrgicas para la caracterización de menas auríferas (1st ed.). Bogotá: Instituto Colombiano de Geología y Minería, República de Colombia.
- Kehrig, H. A., Baptista, G., Di Benedetto, A. P. M., Almeida, M. G., Rezende, C. E., Siciliano, S., ... Moreira, I. (2017). Biomagnificación de mercurio en la cadena trófica del Delfín Moteado del Atlántico (*Stenella frontalis*), usando el isótopo estable de nitrógeno como marcador ecológico. *Revista de Biología Marina y Oceanografía*, 52(2), 233-244. <https://doi.org/10.4067/s0718-19572017000200004>.
- Kerr, A.C., Marriner, G.F., Tarney, J., Nivia, Á., Saunders, A.D., Thirlwall, M.F. y Sinton, C.W. (1997). Cretaceous basaltic terranes in western Colombia: Elemental, chronological and Sr-Nd isotopic constraints on petrogenesis. *Journal of Petrology*, 38(6): 677-702. <https://doi.org/10.1093/petroj/38.6.677>.
- Lara, J. S. (2020). How institutions foster the informal side of the economy: Gold and platinum mining in Chocó, Colombia. *Resources Policy*, (October 2017), 101582. <https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2020.101582>.
- Lara-Rodríguez, S., Tosi Furtado, A., & Altimiras-Martin, A. (2020). Minería del platino y el oro en Chocó: pobreza, riqueza natural e informalidad. *Revista de Economía Institucional*, 22(42).
- Leal-Mejía, H. (2011). Phanerozoic gold metallogeny in the Colombian Andes: a tectono-magmatic approach. Departament de Cristal·lografia, Mineralogia i Dipòsits Minerals, Facultat de Geologia, Universitat de Barcelona, España.
- Leal, C. (2009). La Compañía Minera Chocó Pacífico y el auge del platino en Colombia, 1897-1930. *Historia Crítica*, 2(39E), 150-164. <https://doi.org/10.7440/histcrit39e.2009.08>.
- Leal León, C. (2009). La compañía minera Chocó Pacífico y el auge del platino en Colombia, 1897-1930. *Historia crítica*, (39E), 150-164.
- Mapa Metalogenico de Colombia (2017). Servicio geológico colombiano.
- Minambiente. (2012). Diagnostico nacional de salud ambiental. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 368.

- Minambiente. (2013). Ley 1658 / 15 de Julio de 2013. Retrieved from https://www.minambiente.gov.co/images/AsuntosAmbientalesySectorialyUrbana/pdf/mercurio/LEY_1658_DEL_15_DE_JULIO_DE_2013.pdf.
- Minambiente. (2015). Resolución 0631 de 2015. Artículo 10. Retrieved from https://www.minambiente.gov.co/images/normativa/app/resoluciones/d1-res_631_marz_2015.pdf.
- Ministerio del Ambiente-Perú-Cooperación Alemana. Manual De Buenas Prácticas En Minería Aurífera Aluvial Para Facilitar Una Adecuada Recuperación De Áreas. <https://cooperacionalemana.pe/GD/973/Manual-de-buenas-practicas-en-mineria-aurifera-aluvial-para-facilitar-una-adecuada-recuperacion-de-areas.pdf>.
- Minsalud. (1984). Decreto 1594 de 1984. Capítulo IV de los criterios de calidad para la destinación del recurso. Ministerio de Salud, 52. Retrieved from http://www.ideam.gov.co/documents/24024/36843/Dec_1594_1984.pdf/aacbcd5d-fed8-4273-9db7-221d291b657f.
- MME (1988) Ministerio de Minas y Energía. Métodos de explotación minera, Vetas y Aluvión.
- MME (1993). Reglamento de Higiene y Seguridad en las Labores Mineras a Cielo Abierto. Modificado en el Decreto 539 de 2022.
- MME (2015) Ministerio de Minas y energía, Decreto 1886. Reglamento de seguridad en labores mineras subterráneas.
- MME (2015) Ministerio de Minas y energía, Glosario Minero Colombiano.
- Ministerio de Minas y energía y Universidad de Córdoba. (2014). Estudio de la cadena del Mercurio en Colombia con énfasis en la actividad minera de Oro tomo 3.
- Montes, C., Bayona, G., Cardona, A., Buchs DM, Silva CA., Morón, S., Hoyos, N., Ramírez, D. A., Jaramillo, C. A. y Valencia V (2012a) Arc-continent collision and orocline formation: closing of the Central American seaway. *J Geophys Res* 117:B04105. <https://doi.org/10.1029/2011JB008959>.
- Nuñez-Avellaneda, M., Agudelo, E., y Gil-Manrique, B. D. (2014). Un análisis descriptivo de la presencia de mercurio en agua, sedimento y peces de interés socio-económico en la amazonia colombiana. *Revista Colombia Amazonica*, 7(12), 149–159.
- Olías, M., & Nieto, J. (2015). Background Conditions and Mining Pollution throughout History in the Río Tinto (SW Spain). *Environments*, 2(4), 295–316. <https://doi.org/10.3390/environments2030295>.
- OMS. (2013). El mercurio y La Salud. Retrieved from <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs361/es/>.
- ONU (2017) Organización de las Naciones Unidas Métodos y Herramientas-Determinación del uso de mercurio artesanal y en pequeña escala (MAPE).
- OPT-CRPC. (2018). Impactos de la minería en el pacífico colombiano. (N. Milenio, Ed.). Retrieved from <https://pacificocolombia.org/informe-impactos-de-la-mineria-en-el-pacifico-colombiano>.
- Otálora, J., Sánchez, E., Cajiao, A., Alonso, M. L., Acosta, N., & Baquero, W. (2016). LA MINERÍA SIN CONTROL Un enfoque desde la vulneración de los Derechos Humanos. *Defensoría Del Pueblo*, 246. Retrieved from <http://www.defensoria.gov.co/public/pdf/InformedeMinerla2016.pdf>.
- Palacio, J. I. (2016). Sentencia T-445. Corte Constitucional República de Colombia. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>.

- Parra, E., Salazar, G. y Cossio, U. (1999). Memoria Explicativa. Plancha 185 Bagadó del Departamento del Chocó. *Ingeominas*, 1, 49.
- Programa Nacional de Riesgos Químicos. (2007). B a N - H G. Movimiento Mundial Para El Cuidado de La Salud Libre de Mercurio, 31. Retrieved from <http://www.fmed.uba.ar/depto/toxico1/mercurio.pdf>.
- Railsback, L. B. (2012). An Earth Scientist ' s Periodic Table of the Elements and Their Ions. *Geological Society of America ' s Map and Charts*, (October), 2012. <https://doi.org/10.1130/2004AESPT>.
- Ramírez, A. V. (2008). Intoxicación ocupacional por mercurio. *Anales de La Facultad de Medicina*, 69(1), 46–51. <https://doi.org/10.15381/anales.v69i1.1184>.
- Rodríguez, G. y Zapata, G. (2006). Los conglomerados de Tatamá, una nueva unidad paleógena de la zona central de la Cordillera Occidental de Colombia. *Boletín de Ciencias de la Tierra*, Núm. 19 (2006).
- Rodríguez, G. y Zapata, G. (2012). Características del plutonismo mioceno superior en el segmento norte de la Cordillera Occidental e implicaciones tectónicas en el modelo geológico del noroccidente Colombiano. *Boletín de ciencias de la tierra - Número 31, julio de 2012, Medellín, ISSN 0120 - 3630*. pp 5-22.
- Ruíz, E., y López, M. (2015). Actividad minera en el choco biogeografico y su impacto en anfibios. Universidad Militar de Nueva Granada.
- Salazar, G., James, M. y Tistl, M. (1991). El Complejo Santa Cecilia–La Equis: Evolución y acreción de un arco magmático en el norte de la Cordillera Occidental, Colombia. *Simposio sobre Magmatismo Andino y su Marco Tectónico. Memoirs*, II, p. 142–160. Manizales.
- Schmidt, R., Von der Handt, A., Grimm, C., Laukert, G. y Mojica, J. (2012). Petrology of the Alto Condoto ultramafic-mafic complex, Colombia. *European Mineralogical Conference Vol. 1, EMC2012-480*, 2012.
- Semana (2009). Los Dragones del oro. <https://www.semana.com/nacion/articulo/los-dragones-del-oro/100811-3>.
- Sena (2001) Servicio Nacional de Aprendizaje Sena, Cartillas de sostenimiento de minas.
- Servicio Geológico Mexicano. Museo Virtual, aplicaciones de la geología, Clasificación de yacimientos minerales. Sgm.gob.mx/web/museovirtual/aplicaciones_geologicas/Clasificación-de-yacimientos-minerales.html.
- SGC-Minminas. (2018). Guía metodológica para el mejoramiento productivo del beneficio de oro sin el uso de mercurio. *La Llanada Y Andes Sotomayor (Nariño)*.
- Shaw, R., Leal-Mejía, H., Melgarejo, J. y Draper (2018). Phanerozoic Metallogeny in the Colombian Andes: A Tectono-magmatic Analysis in Space and Time. Springer Nature. Switzerland *Frontiers in Earth Sciences*, https://doi.org/10.1007/978-3-319-76132-9_6.
- Sillitoe, R.H., Jaramillo, L., Damon, P.E., Shafiqullah, M. y Escovar, R. (1982). Setting, characteristics, and age of the Andean porphyry copper belt in Colombia. *Economic Geology*, 77(8): 1837–1850. <https://doi.org/10.2113/gsecongeo.77.8.1837>.
- Skoog, D. A., Holler, F. J., & Nieman, T. A. (2001). Química electroanalítica. Principios de Análisis Instrumental. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>.
- Smirnov. 1976. Clasificación Genetica de Yacimientos Minerales. Aplicación de la Geología.
- SNGM-Minmineria. (2019). Relave.pdf. Retrieved from <http://www.minmineria.gob.cl/glosario-minero-r/relave>.

- Thermo, F. (2007). Ficha de Datos de Seguridad. Retrieved from https://www.fishersci.es/chemicalProductData_uk/wercs?itemCode=10636402&lang=ES.
- Thermo, F. (2015). X-Ray Energy Reference X-Ray Energy Reference. In F. Thermo (Ed.), X-Ray Energy Reference (pp. 1–2). Retrieved from www.thermoscientific.com/portableid.
- Tistl, M., Burgath, K., Hohndorf, B., Kreuzer, H., Mufioz, R. y Salinas, R. (1994). Origin and emplacement of Tertiary ultramafic complexes in northwest Colombia: Evidence from geochemistry and K-Ar, Sm-Nd and Rb-Sr isotopes. *Earth and Planetary Science Letters* 126 (1994) 41-59.
- UNODC. (2016). Explotación de oro de aluvión. Retrieved April 20, 2020, from https://www.unodc.org/documents/colombia/2016/junio/Explotacion_de_Oro_de_Aluvion.pdf.
- UNODC. (2019). Informe (EVOA): El 57 % de la explotación de oro de aluvión con maquinaria en tierra en Colombia se realiza por fuera de cualquier figura de ley. Retrieved from https://www.unodc.org/colombia/es/informe-evoa_-el-57--de-la-explotacion-de-oro-de-aluvion-con-maquinaria-en-tierra-en-colombia-se-realiza-por-fuera-de-cualquier-figura-de-ley.html.
- UPME. (2005). Análisis de la estructura productiva y del mercado de los metales del grupo del platino, [<http://www.simco.gov.co/Portals/0/estadisticas/Imagen/platino.pdf>].
- Vallejo, Luis Gonzáles de, (2002) Ingeniería Geológica. Editorial Pearson Educación.
- Waldichuck, M. (1980). The effects of marine pollution: Some research needs: The Marine Pollution Subcommittee of the British National Committee on Oceanic Research (HA Cole, Chairman). The Royal Society, London, 78pp. Pergamon.
- WWF – Colombia; GEF; Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo – PNUD; Universidad de Cartagena. (2019). Consideraciones sobre la minería en el departamento del Chocó y recomendaciones para mejorar la gestión https://wwflac.awsassets.panda.org/downloads/consideraciones_sobre_la_mineria_en_el_departamento_del_choco_doble_pagina.pdf.
- Yasno, F. (2014). Impacto Medioambiental por la explotación ilegal de Oro en el Departamento del Chocó. *Pediatric Physical Therapy*. Universidad Militar Nueva Granada.
- Zapata, G. (2003). Memoria explicativa. Geología de las planchas 163 Nuquí, 164 Quibdó, 183 Coquí y 184 Lloró del Departamento del Chocó. *Ingeominas*, 1, 63.

