



AGENCIA NACIONAL DE  
**MINERÍA**

GUÍA DE BUENAS PRÁCTICAS PARA LA

EXPLORACIÓN Y ESTIMACIÓN DE RECURSOS Y RESERVAS

# DE DEPÓSITOS DE PLACER

## **Agencia Nacional de Minería**

Juan Miguel Durán Prieto

*Presidente*

Gustavo Adolfo Raad de la Ossa

*Vicepresidente de Seguimiento, Control y Seguridad Minera*

Alba Mery Bustamante Rúa

*Líder del Equipo de Recursos y Reservas Minerales -RYR-*

## **Comisión Colombiana de Recursos y Reservas Minerales – CCRR®**

Wilfredo López Piedrahita

*Presidente*

## **Autores**

Edson Andrés Valencia Suaza

Wilson Ferney Vélez Giraldo

Cristina Dávila Bolívar

## **Aportes Técnicos**

Ramiro Humberto Jaramillo Betancur

César Mauricio Vega Díaz

Juan Camilo Lorduy

Equipo de Recursos y Reservas

## **Foto de Portada**

Lavado en batea de la producción de un proyecto de formalización minera. Río Nechí, Antioquia.

© Edson Andrés Valencia

Bogotá, Mayo de 2022





## **Juan Miguel Durán Prieto**

Presidente Agencia Nacional de Minería

Para la Agencia Nacional de Minería es un privilegio presentar este documento de consulta, que será de gran ayuda a nuestros mineros dedicados a las labores de exploración y estimación de recursos y reservas en los depósitos de placer.

Alineado con los principios de materialidad, transparencia e imparcialidad, que rigen el Estándar Colombiano de Recursos y Reservas – ECRR- ajustada a las características particulares de los depósitos de placer.

Una de las manifestaciones de la riqueza mineral del país, se encuentra en los depósitos de placer o aluvial, que se ubican generalmente en las llanuras de inundación de los cauces de algunos ríos del país. Las mineralizaciones más reconocidas contienen oro y platino, metales preciosos conocidos por su valor económico que representan una posibilidad de desarrollo para la sociedad.

En comparación con otros tipos de yacimientos, los depósitos de placer se encuentran en o muy cerca de la superficie, la extracción de los minerales es relativamente fácil y su beneficio requiere principalmente procesos de concentración gravimétrica y equipos de fácil instalación. Sin embargo, la ubicación en áreas sensibles ambientalmente, como lo son las llanuras de inundación y terrazas de los ríos,

requiere la implementación de buenas prácticas y mejores técnicas operativas en todas las fases de desarrollo, actividades y procesos.

Por lo anterior, la agencia Nacional de Minería, en conjunto con la Comisión Colombiana de Recursos y Reservas –CCRR-, han estructurado está “Guía de Buenas Prácticas para la Exploración y Estimación de Recursos y Reservas de Depósitos de Placer” – GBPDP, con el propósito de orientar a los profesionales titulares mineros de este sector, para que lleven a cabo operaciones más organizadas, encaminadas a minimizar la incertidumbre y los impactos negativos que puedan causar las labores al ambiente y en especial a las fuentes hídricas. Además, estamos seguros que la aplicación de estos lineamientos les ayudará y agregará valor a sus proyectos productivos.

Como autoridad minera ratificamos nuestro compromiso de seguir trabajando para transformar la minería en oportunidades, enfocándonos en el desarrollo de una actividad minera responsable, moderna, eficiente y sostenible con el medio ambiente



**Ing. Wilfredo Lopez Piedrahita**

Presidente CCRR

La Comisión Colombiana de Recursos y Reservas Minerales (CCRR®) tiene entre sus propósitos fundamentales, establecer una línea de acción hacia una regulación y gobernanza estricta en el sector minero nacional, exigiendo la aplicación de buenas prácticas en la gestión de Recursos y Reservas Minerales. De igual manera, La CCRR® exige la aplicación de altos estándares de información privada y pública por parte de profesionales responsables y experimentados, que generen confianza en sus proyectos geológico-mineros. Es de esta forma que las Guías de Buenas Prácticas entran a jugar un papel muy importante en esta intención y, además, se convierten en una prioridad para la CCRR®, para el sector minero del país, para los gremios, para la academia, para los profesionales del sector y para el Ministerio de Minas y Energía en cabeza de la Agencia Nacional de Minería (ANM) de Colombia.

Mientras el Estándar Colombiano de Recursos y Reservas Minerales (ECRR®) dice qué hacer para reducir la incertidumbre en los estudios geológico-mineros, las Guías de Buenas Prácticas (GBP) dicen cómo hacerlo. Ese es el gran aporte de estas guías.

La CCRR® en conjunto con la ANM y su equipo de Recursos y Reservas han venido trabajando en este propósito y este es el motivo que nos

concentra alrededor de la presentación de esta Guía de Buenas Prácticas para la Exploración y Estimación de Recursos y Reservas de depósitos de Placer (GBPDP).

De acuerdo con las metas y los objetivos planteados por las organizaciones fundadoras de la CCRR®, la idea es proporcionar un marco de referencia a nivel nacional e internacional que permite al gremio minero del país, garantizar la coherencia de sus estándares en la presentación de informes tales como PTO, Reportes Públicos o reportes internos, con el propósito de contribuir al desarrollo de las mejores prácticas y mejorar la confianza en los reportes geológico-mineros, que se generan en Colombia.

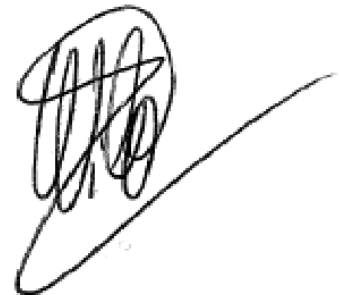
Es importante destacar que esta GBPDP se enfoca en los minerales encontrados en placeres aluviales tales como oro y platino, tanto para la gran minería, como para la mediana y la pequeña minería del país. En cuanto a la minería de subsistencia, cuyo impacto ambiental es básicamente imperceptible, pero su impacto social es muy importante, consideramos que no es aplicable). Este tipo de minería juega un papel muy importante en nuestra economía, y si podemos minimizar ser el centro de controversia por sus grandes impactos ambientales, pero contradictoriamente generar grandes beneficios

sociales, sería un gran aporte al país.

Además, debemos tener en cuenta que la producción de la minería de placeres dentro de títulos concedidos por la Agencia Nacional de Minería (ANM) es de solo el 10-15%, mientras las que están fuera de control representan el 85%, esto genera una situación preocupante, en la cual hay un gran campo de acción. La CCRR® considera que, si todas estas operaciones en títulos no solicitados o pendientes por legalizar, ilegales de una forma u otra, que están generando considerables impactos negativos socio-ambientales y económicos, aplicaran los conceptos planteados en la GBPDP, con toda seguridad dichos impactos serían mucho menores. El propósito fundamental de esta Guía de Buenas Prácticas en las operaciones mineras de depósitos aluviales consiste en enseñar cómo hacer las diversas actividades bien hechas y con responsabilidad; además, es una guía incluyente a todos los tipos de minería aluvial.

Basado en todo lo anteriormente expuesto, es un motivo de gran complacencia y orgullo poner a disposición de la comunidad minera del país, la Guía de Buenas Prácticas para la Exploración y Estimación de Recursos y Reservas de Depósitos de Placer (GBPDP).

Este proyecto contó con el apoyo del Presidente de la Agencia Nacional de Minería (ANM), Dr. Juan Miguel Duran Prieto y de la Vicepresidencia de Seguimiento, Control y Seguridad Minera de la ANM, en cabeza del Dr. Gustavo Raad. Además, es importante reconocer el liderazgo en representación de la ANM, de la directora del Grupo de Recursos y Reservas, la Ingeniera Geóloga Alba Mery Bustamante y de su equipo de trabajo liderado por la Ingeniera Geóloga Cristina Dávila y el Ingeniero de Minas César Mauricio Vega y por parte de la CCRR® el Ingeniero Ramiro Jaramillo. Contó además con el apoyo del Ingeniero Geólogo Wilson Ferney Vélez, el Ingeniero de Minas Edson Andrés Valencia, y el especialista en medio ambiente Juan Camilo Lorduy; a todos ellos, CRIRSCO y la CCRR® les agradece este enorme y valioso esfuerzo en pro de la Industria Minera Colombiana.

A handwritten signature in black ink, consisting of a circular scribble at the top and a long, sweeping horizontal line extending to the right.

# Contenido

<b>LISTA DE TABLAS</b>	<b>8</b>	3.5	Prospección geofísica	<b>44</b>
<b>LISTA DE FIGURAS</b>	<b>9</b>	3.6	Muestreo	<b>46</b>
<b>1 CONTEXTO DE LOS DEPÓSITOS DE PLACER EN COLOMBIA</b>	<b>16</b>	3.6.1	Localización de la información	<b>46</b>
1.1 PRINCIPALES TIPOS Y ZONAS DE DEPÓSITOS DE PLACER	<b>17</b>	3.6.2	Aseguramiento y Control de la calidad -QA/QC-	<b>47</b>
1.2 TÍTULOS Y PRODUCCIÓN	<b>20</b>	3.6.3	Diseño de muestreo	<b>50</b>
		3.6.4	Métodos de muestreo	<b>52</b>
<b>2 PLANEACIÓN DE PROYECTOS MINEROS</b>	<b>22</b>	3.7	Cadena de custodia	<b>57</b>
2.1 Identificación de interesados	<b>26</b>	3.7.1	Preservación de muestras	<b>58</b>
2.2 Titularidad y acceso	<b>26</b>	3.8	Técnicas de perforación	<b>58</b>
2.3 Permisos	<b>27</b>	3.8.1	Tipos de taladros	<b>60</b>
2.3.1 Permisos ICANH	<b>27</b>	3.8.2	Registro de información o logueo	<b>63</b>
2.3.2 Permisos de las comunidades y autoridades locales	<b>27</b>	3.9	Métodos analíticos	<b>64</b>
2.4 Guías minero ambientales	<b>28</b>	3.9.1	Granulometría	<b>64</b>
2.5 Aspectos legales y tenencia de la propiedad minera	<b>29</b>	3.9.2	Determinación del peso con balanza de precisión	<b>64</b>
2.6 Recopilación de información	<b>29</b>	3.9.3	Determinación visual con base en la Tabla de Colores	<b>64</b>
2.6.1 Antecedentes históricos	<b>30</b>	3.9.4	Microscopía electrónica	<b>65</b>
2.6.2 Propiedades adyacentes	<b>30</b>	3.9.5	Ensayo al fuego	<b>66</b>
2.7 Sistema de proyección	<b>31</b>	3.10	Auditorías	<b>67</b>
2.8 Base topográfica	<b>32</b>	<b>4 ESTIMACIÓN DE RECURSOS MINERALES</b>		<b>69</b>
2.9 Protocolos de trabajo	<b>33</b>	4.1	Calidad de los datos y pruebas de laboratorio	<b>71</b>
2.10 Verificación y validación de información	<b>35</b>	4.1.1	Base de datos	<b>71</b>
2.11 Almacenamiento y preservación de información	<b>36</b>	4.1.2	Control de la calidad	<b>71</b>
2.12 Base de datos	<b>38</b>	4.1.3	Densidad de la información	<b>71</b>
<b>3 EXPLORACIÓN</b>	<b>41</b>	4.2	Modelo geológico	<b>72</b>
3.1 Planeación de la exploración	<b>42</b>			
3.2 Revisión bibliográfica	<b>42</b>			
3.3 Análisis de imágenes de sensores remotos	<b>42</b>			
3.4 Cartografía geológica	<b>43</b>			

4.3	Factor volumétrico o hinchamiento	74
4.4	Análisis Exploratorio de Datos	74
4.5	Técnicas de estimación	75
4.5.1	Métodos clásicos	75
4.5.2	Métodos geoestadísticos	76
4.6	Validación del modelo	77
4.7	Categorización de recursos	77
4.8	Declaración de recursos	78
4.9	Revisión por pares	78
4.10	Evaluación de riesgo	79

## **5 FACTORES MODIFICADORES**

5.1.	Factores técnicos	82
5.1.1	Geológicos	83
5.1.2	Mineros	86
5.1.3	Beneficio	95
5.2	Factores ambientales	99
5.2.1	Trámites y permisos ambientales	100
5.2.2	Autoridades, competencias y jurisdicción	100
5.2.3	Alcance de los factores ambientales	101
5.2.4	Prohibición del mercurio	101
5.3	Factores sociales	101
5.3.1	Servidumbre	101
5.3.2	Minería informal	103
5.3.3	Beneficios a comunidades	103
5.4	Factores de infraestructura	103
5.4.1	Accesibilidad al sitio	103
5.4.2	Energía, comunicación, saneamiento y acueducto	104
5.4.3	Seguridad	104

5.4.4	Mano de obra disponible	105
5.4.5	Restricciones por infraestructura	105
5.4.6	Infraestructura de soporte	105
5.5	Factores económicos	105
5.5.1	Estudio de mercado	108
5.5.2	Modelo económico	108
5.5.3	Análisis de sensibilidad	110
5.6	Factores jurídicos	111
5.7	Otros factores	111

## **6 ESTIMACION DE RESERVAS**

6.1.	Tenor de corte (Cut off)	113
6.2	Preparación	113
6.3	Categorización	114
6.4	Validación	114
6.5	Practicidad de la minería	114
6.6	Evaluación de riesgos del proyecto	114
6.7	Revisiones hechas por pares	114
6.8	Auditorias	115
6.9	Documentación	115
6.10	Declaraciones de Reserva Minera	115
6.11	Discusión de la confianza relativa	115
6.12	Reconciliación	116

## **7 REPORTES**

7.1.	Objetivo del reporte	118
7.2	Descripción del proyecto	118
7.3	Localización	119
7.4	Salidas gráficas	119

## **8 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

121

# Lista de Tablas

<b>Tabla 1. Fases de un proyecto minero para depósitos de placer</b>	<b>25</b>
<b>Tabla 2. Resumen de métodos geofísicos que pueden usarse en exploración de depósitos de placer</b>	<b>45</b>
<b>Tabla 3. Factores y subidas teóricas de los taladros de percusión más comunes</b>	<b>61</b>
<b>Tabla 4. Análisis del método por transferencia con depresión del nivel freático</b>	<b>90</b>
<b>Tabla 5. Análisis del método de volqueteo</b>	<b>92</b>
<b>Tabla 6. Análisis del método de dársenas o piscinas transversales</b>	<b>93</b>
<b>Tabla 7. Evaluación del proceso de beneficio según la fase del proyecto y de los estudios</b>	<b>96</b>
<b>Tabla 8. Evaluación de componentes económicos según la fase del proyecto</b>	<b>107</b>



# Lista de Figuras

Figura 1. Tipos de depósitos de placer	17	Figura 20. Ejemplo de Tabla de Colores	65
Figura 2. Ubicación de los depósitos de placer más conocidos en Colombia	18	Figura 21. Estimación visual de partículas de oro	65
Figura 3 Llanura aluvial con depósitos de placer aurífero en el municipio de Norosí, Sur de Bolívar	19	Figura 22. Resumen del proceso de estimación de recursos	71
Figura 4. Localización de los títulos en producción de depósitos de placer en Colombia	21	Figura 23. Ejemplo de visualización de un depósito de placer a partir de perfiles en 2D	73
Figura 5. Fases de trabajo comunes en los proyectos mineros y estudios relacionados con cada fase	24	Figura 24. Categorías de Recursos Minerales y Reservas Mineras	77
Figura 6. Síntesis de los pasos que siguen los protocolos para tener calidad en un proceso	34	Figura 25. Factores Modificadores comunes en proyectos de depósitos de placer	82
Figura 7. Ejemplo de estructura de almacenamiento documental	37	Figura 26. Parámetros más relevantes del factor técnico-minero en depósitos de placer	83
Figura 8. Contraste geomorfológico entre llanura aluvial y cerros	43	Figura 27. Modelo estratigráfico de un depósito de placer	84
Figura 9. Toma de duplicados en depósitos de placer	48	Figura 28. Análisis geotécnico	85
Figura 10. Representación gráfica de los conceptos precisión y exactitud	49	Figura 29. Operación en la que se realiza minería por transferencia	88
Figura 11.. Amplia variación en el tamaño de grano en un depósito de placer	50	Figura 30. Esquema de método de explotación por transferencia con depresión del nivel freático	89
Figura 12. Consideraciones importantes para la toma de muestras	51	Figura 31. Esquema de método de explotación	89
Figura 13. Obtención de concentrados para análisis de laboratorio	53	Figura 32. Operación en depósito de placer con el método de volqueteo	91
Figura 14. Resultado de cateo para evaluación de un depósito aluvial. (Sur de Bolívar)	53	Figura 33. Esquema de método de explotación de terrazas parcialmente bajo lámina de agua por dársenas	93
Figura 15. Esquema de muestreo en canal de aluvión	55	Figura 34. Dragas de cucharas y detalle de las cucharas (A) y draga de succión (B)	94
Figura 16. Esquema de muestreo en apique con presencia de agua	56	Figura 35. Rangos de operación de las unidades de concentración gravimétrica	99
Figura 17. Esquema del proceso para definir zonas de perforación	59	Figura 36. Componentes más destacados del factor modificador infraestructura	104
Figura 18. Localización de líneas de perforación respecto al cauce principal	59		
Figura 19. Núcleo de perforación con taladro Roto Sónico	62		

# Guía de Uso

Los capítulos de la presente guía están estructurados de acuerdo con la secuencia de trabajo que normalmente se lleva a cabo en un proyecto minero, independientemente de su escala, pues las buenas prácticas son aplicables a la pequeña, mediana y gran minería. En cada capítulo se describen y desarrollan los insumos, procesos y actividades que tienen mayor relevancia en la exploración y estimación de recursos y reservas de los depósitos de placer, principalmente de oro y platino.

Para algunos temas, procesos y actividades, se incluye un listado de Recomendaciones que el usuario podrá consultar para evaluar si las mismas son pertinentes para su proyecto en particular.

Para quienes están interesados en profundizar en algún tema en específico, al final del numeral se presenta una lista de referencias aplicables en el ítem de Más información.

# Siglas Unidades y Símbolos

**ANM:** Agencia Nacional de Minería

**ANT:** Agencia Nacional de Tierras

**BCM:** Bank Cubic Meter o metro cúbico de banco

**BLM:** Bureau of Land Management, Oficina de Gestión de Tierras, del Departamento del Interior de Estados Unidos

**CAR:** Corporación Autónoma Regional

**CCRR®:** Comisión Colombiana de Recursos y Reservas

**CIM:** Canadian Institute of Mining, Metallurgy and Petroleum

**CRIRSCO:** Committee for Mineral Reserves International Reporting Standards

**CRM:** Certified Reference Material, estándares o Materiales de Referencia Certificados

**DCF:** Discount Cash Flow, Descuento de Flujo de Caja

**ECRR®:** Estándar Colombiano para el Reporte Público de Resultados de Exploración, Recursos y Reservas Minerales

**EDA:** Exploratory Data Analysis) o Análisis Exploratorio de Datos (AED) en inglés

**FBM:** Formato Básico Minero

**FC:** Factor de Corazón

**GBDP:** Guía de Buenas Prácticas en Exploración y Estimación de Recursos y Reservas de Depósitos de Placer

**GBPEC:** Guía de Buenas Prácticas de la Esme-

ralda Colombiana

**GPR:** Ground Penetration Radar

**GPS:** Global Position System o sistemas de posicionamiento global

**ICANH:** Instituto Colombiano de Antropología e Historia

**IGAC:** Instituto Geográfico Agustín Codazzi

**LCM:** Loose Cubic Meter o metro cúbico de banco suelto

**LOM:** Life of Mine o vida de la mina

**PGE:** Platinum Group Element o Elementos del Grupo de los Platinoides

**PEA:** Preliminary Economic Assessment o Evaluación Económica Preliminar

**POMCA:** Plan de Ordenamiento y Manejo de Cuencas

**POMIA:** Plan de Ordenamiento Minero Ambiental

**PMAA:** Plan de Manejo Ambiental de Acuífero

**QA/QC:** Quality Assurance/Quality Control o Aseguramiento y Control de Calidad

**SINA:** Sistema Nacional Ambiental

**SGC:** Servicio Geológico Colombiano

**SPT:** Standard Penetration Test o Prueba de Penetración Estándar

**TR:** Tasa Retributiva

**TUA:** Tasa de Uso de Agua

**TIR:** Tasa Interna de Retorno

**USGS:** United States Geological Survey

**VPN:** Valor Presente Neto

Unidades

´ = pulgada

g = gramo

**ha** = hectárea

**kN** = kilo Newton

**mg** = miligramos

**m** = metro

**km** = kilómetro

**m<sup>3</sup>** = metro cúbico

**mm** = milímetro

**µm** = micra

**oz troy** = onza troy

**t** = tonelada

Símbolos

**∅** = phi, en el documento se refiere a diámetro

**%** = porcentaje o por ciento

**<** = menor que

**>** = mayor que

# Glosario

A continuación, se presentan algunas definiciones de uso frecuente en esta guía y que facilitan la comprensión de su contenido.

**Carguero (tailings):** geoformas de origen antrópico, generalmente en forma de montículos y depresiones, conformados por el material estéril producto del procesamiento de los sedimentos extraídos de estratos y terrazas.

**Cateo:** término para referirse al método manual de prospección que consiste en la concentración de arenas negras en batea para realizar una inspección visual de los minerales de interés contenidos en las mismas.

**Commodity/commodities:** término inglés que se utiliza para agrupar los bienes básicos, sin valor agregado, que funcionan como materias primas para elaborar otros productos y que tienen valor comercial.

**Efecto pepita:** alta variabilidad de valores o variables, en cortas distancias.

**Estrato pagador (pay stratum):** este término se utiliza para identificar el estrato sedimentario donde se encuentran las mayores concentraciones del mineral de interés.

**Material anfitrión:** material que está depositado

junto con los minerales de interés, en el mismo estrato, pero que no tiene valor comercial.

**Profesional líder:** para el propósito de la presente guía, se usa esta denominación para hacer referencia al profesional responsable de coordinar las actividades de exploración, la estimación de recursos y reservas y la elaboración de reportes.

**Catangueo:** término popular que se refiere al acarreo manual de material mineralizado hacia la planta de beneficio.

**Sesgo:** peso desproporcionado en favor o en contra de un dato en comparación con otro.

**Etapas de rougher y scavenger:** etapas del proceso de beneficio que consisten en el procesamiento de todo el material vasto, sin separar (rougher) y del material de sobreflujo (scavenger).



## Más información

- Glosario técnico minero definido por el Ministerio de Minas y Energía.

# Introducción

La Guía de Buenas Prácticas para la Exploración y Estimación de Recursos y Reservas de Depósitos de Placer (GBPDP) es un compilado de recomendaciones encaminadas a garantizar la calidad de las actividades y datos obtenidos en las diferentes fases de un proyecto minero, desde la exploración, hasta la estimación de recursos y reservas en depósitos de placer. La GBPDP está alineada con documentos similares publicados por diferentes comisiones de recursos y reservas que hacen parte del Committee for Mineral Reserves International Reporting Standards (CRIRSCO).

Este documento, es un complemento al Estándar Colombiano de Recursos y Reservas (ECRR®), ya que el ECRR® indica qué debe contener un reporte de recursos y reservas para depósitos minerales en general, mientras que la GBPDP contiene, de acuerdo con las particularidades propias de los depósitos de placer, las buenas prácticas que se sugiere aplicar en cada fase de trabajo y actividad para caracterizar el depósito y estimar adecuadamente los recursos y reservas.

El concepto de “buena práctica” tenido en cuenta para la elaboración de la presente guía, se basa en la siguiente definición:

Una buena práctica no es tan sólo una práctica que se define buena en sí misma, sino que es una práctica que se ha demostrado que funciona bien y produce buenos resultados, y, por lo tanto, se recomienda como modelo. Se trata de una experiencia exitosa, que ha sido probada y validada, en un sentido amplio, que se ha repetido y que merece ser compartida con el fin de ser adoptada por el mayor número posible de personas (FAO, 2013).

El objetivo específico de la GBPDP es asistir a los profesionales y titulares del sector minero en las fases de trabajo requeridas para la exploración y estimación de recursos y reservas de depósitos de placer, con enfoque en un trabajo de alta calidad

y confianza. También pretende que, con la implementación de buenas prácticas, los titulares mineros comprendan el valor de los datos que generan durante sus operaciones y cómo estos pueden ayudar a disminuir la incertidumbre inherente a los depósitos minerales y a fomentar la minería responsable en los depósitos de placer.

Las recomendaciones y buenas prácticas incluidas en la GBPDP están diseñadas para proporcionar orientación al usuario, en ningún momento deben tomarse como procedimientos detallados u obligatorios, cada compañía es autónoma en decidir las labores y acciones más convenientes a su proyecto. La GBPDP no pretende inhibir el pensamiento creativo, ni evitar la aplicación de nuevos criterios que puedan convertirse en componentes fundamentales de programas exitosos de exploración minera (CIM, 2018). En ese sentido, más que presentar soluciones a casos específicos, se presentan recomendaciones generales para la práctica profesional.

Se espera que un reporte elaborado bajo los lineamientos del ECRR®, sus principios de Materialidad, Transparencia, Competencia e Imparcialidad y que incluya las buenas prácticas contenidas en la presente guía, será de más fácil entendimiento para el usuario final (inversionista, evaluador técnico u otro) y le brindará mayor confianza en la información.

Los capítulos que conforman la GBPDP se presentan de acuerdo al orden secuencial, por fases de trabajo, que normalmente se desarrolla en un proyecto minero, desde la fase de planeación hasta la estimación de recursos y reservas. En cada capítulo se abordan los temas más relevantes a considerar de acuerdo con la fase de trabajo. Cada tema está acompañado de su respectiva definición, una descripción de su relevancia para la caracterización del proyecto, un listado de Recomendaciones a tener en cuenta para su desarrollo y, finalmente, las referencias bibliográficas que pueden consultarse para ampliar cada tema.

Esta guía se enfoca en los depósitos de oro aluvial

por su abundancia en el territorio colombiano y por la información existente de los mismos; sin embargo, algunos criterios y conceptos también son aplicables a depósitos de placer de otros minerales (rutilo, magnetita, ilmenita, Elementos del Grupo de los Platinoides, PGE). Si bien la GBPDP se configura con base en las condiciones del país, es posible que muchas recomendaciones, también puedan implementarse en otros países.

Finalmente, la expectativa de las entidades y autores de la GBPDP es que los profesionales que lideran la exploración y explotación de depósitos de placer seleccionen el conjunto de buenas prácticas que más convenga a sus actividades y que puedan ser adaptadas al contexto específico en que se desarrolla su proyecto, para que a partir de ello construyan relaciones positivas con las comunidades, reduzcan los impactos ambientales mediante una planificación y protocolos adecuados, disminuyan la incertidumbre de su proyecto y logren una operación exitosa que beneficie tanto a la empresa, como a las comunidades cercanas al proyecto.

A tropical landscape featuring a bright sun in a cloudy sky, palm trees, and a grassy field. The sun is positioned in the upper right quadrant, casting a glow over the scene. The sky is filled with soft, white clouds. In the foreground, there is a lush green field with some darker, possibly harvested, areas. Several palm trees are scattered across the middle ground, with a dense line of trees and hills in the background.

1

**Contexto de los depósitos de**

placer en Colombia



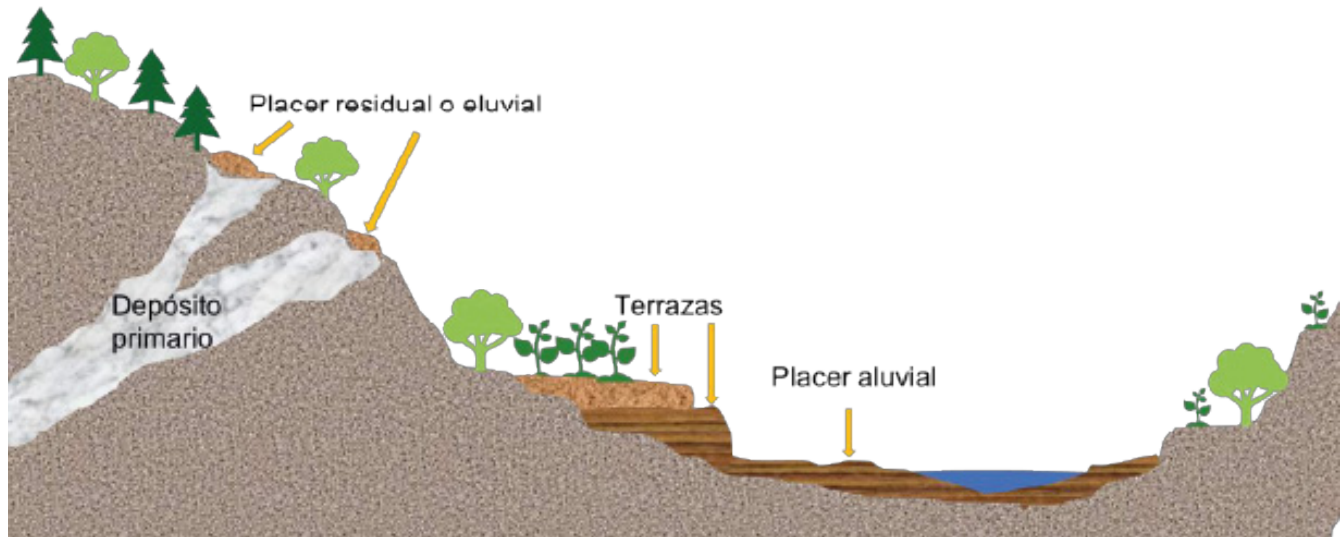
Los depósitos de placer se definen, según el Glosario Técnico Minero de Colombia, como:

1. Depósito mineral detrítico formado por la acción de agua corriente o viento.
2. Masa de grava, arena o material similar que contiene minerales valiosos; oro, plata, platino, estaño, entre otros, que han sido “liberados” de rocas y vetas.
3. Depósitos de minerales que han sido arrastrados por los ríos y se encuentran en sus lechos secos (Ministerio de Minas y Energía, 2015).

Estas definiciones ponen de manifiesto la estrecha relación entre algunos minerales de interés económico y las corrientes hídricas. Además del abundante recurso hídrico, Colombia cuenta con numerosos depósitos

polimetálicos que son fuente de minerales valiosos, con una configuración topográfica que favorece la acumulación de materiales y con diferentes ambientes geomorfológicos; estos factores generan las condiciones ideales para la ocurrencia de depósitos de placer, entre los cuales se destacan los de oro y en menor proporción los de oro-platino, arenas negras y diamantes.

Wells (1989), presenta una clasificación simplificada que incluye placeres residuales, placeres eluviales, depósitos aluviales, terrazas y paleoplaceres (Figura 1); esta guía no se enfoca en hacer una descripción detallada de éstos, el lector interesado puede remitirse a publicaciones especializadas.

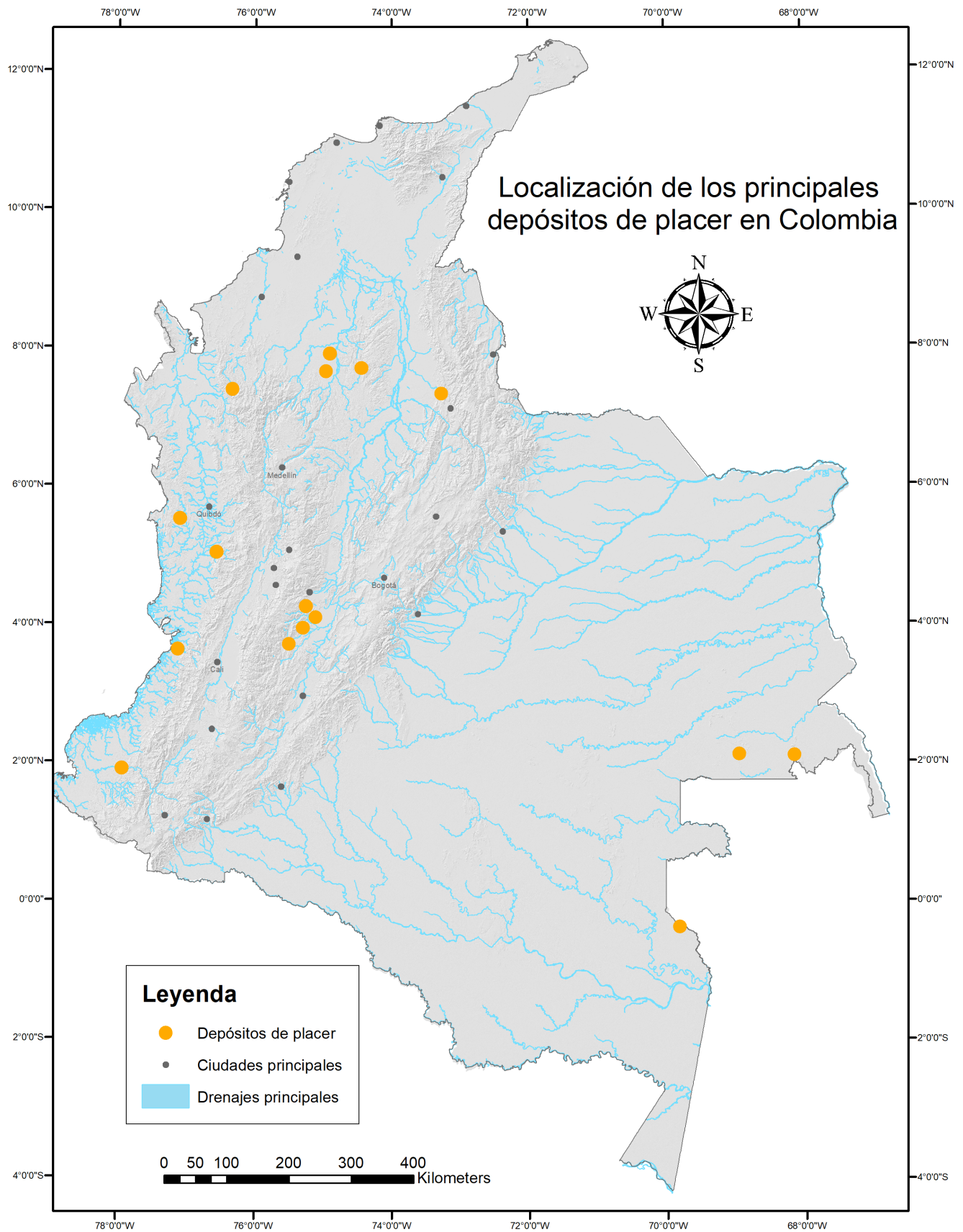


**Figura 1.** Tipos de depósitos de placer  
Fuente: Gold Placer Deposits, s.f.

## 1.1 Principales tipos y zonas de depósitos de placer

El Servicio Geológico Colombiano, en el libro Recursos Minerales de Colombia, volumen 2 (Prieto R., Guatame, Cárdenas, & (comps), 2019),

presenta un compilado de las regiones donde se ubican los yacimientos de placer aurífero y aurífero-platiníferos más conocidos en el país (**Figura 2**).



**Figura 2.** Ubicación de los depósitos de placer más conocidos en Colombia  
Fuente: (Prieto R., Guatame, Cárdenas, & (comps), 2019)

Los principales depósitos de placer de oro en Colombia se encuentran en los municipios de El Bagre y Nechí en Antioquia; también se han identificado depósitos aluviales en las regiones de Condoto, (Chocó), Saldaña (Tolima), al noroccidente del departamento de Nariño y en el Sur de Bolívar, en municipios como Norosí y Arenal **(Figura 3)**.



**Figura 3.** Llanura aluvial con depósitos de placer aurífero en el municipio de Norosí, Sur de Bolívar  
Fuente: autores

Otros yacimientos auríferos importantes están en los ríos La Miel y Samaná (Antioquia), en los ríos Patía, Iscuandé, Tapaje y Naya (zona Anchicayá-Piedrancha); en las cuencas del río San Juan en el Chocó, en Cuiari (Guainía), Taraira (Vaupés), y aluviones de corrientes que drenan las serranías de Naquén y Caranococha en Guainía, entre otras regiones (Prieto R., Guatame, Cárdenas, & (comps), 2019). También se han reportado depósitos de menor tamaño en los municipios de Rio-negro (Santander), Anserma, La Dorada y Victoria (Caldas), San Juan del Cesar y El Molino (Guajira).

Los depósitos de placeres aurífero-platiníferos están concentrados en los municipios de Acandí, Bagadó, Tadó, Condoto, Istmina, Nóvita, Sipí, Lloró y Quibdó, en el departamento del Chocó (Prieto R., Guatame, Cárdenas, & (comps), 2019).

Las zonas de prospectos para paleoplaceres se localizan en los departamentos de Guainía y Vaupés, en la frontera con Brasil, en las serranías de Naquén, Caranococha y Taraira, los cuales parecen tener características comparables con los yacimientos de Witwatersrand en Suráfrica, Blind River en Canadá y Cerro Jacobina en Brasil. (Prieto R., Guatame, Cárdenas, & (comps), 2019).

## 1.2 Títulos y producción

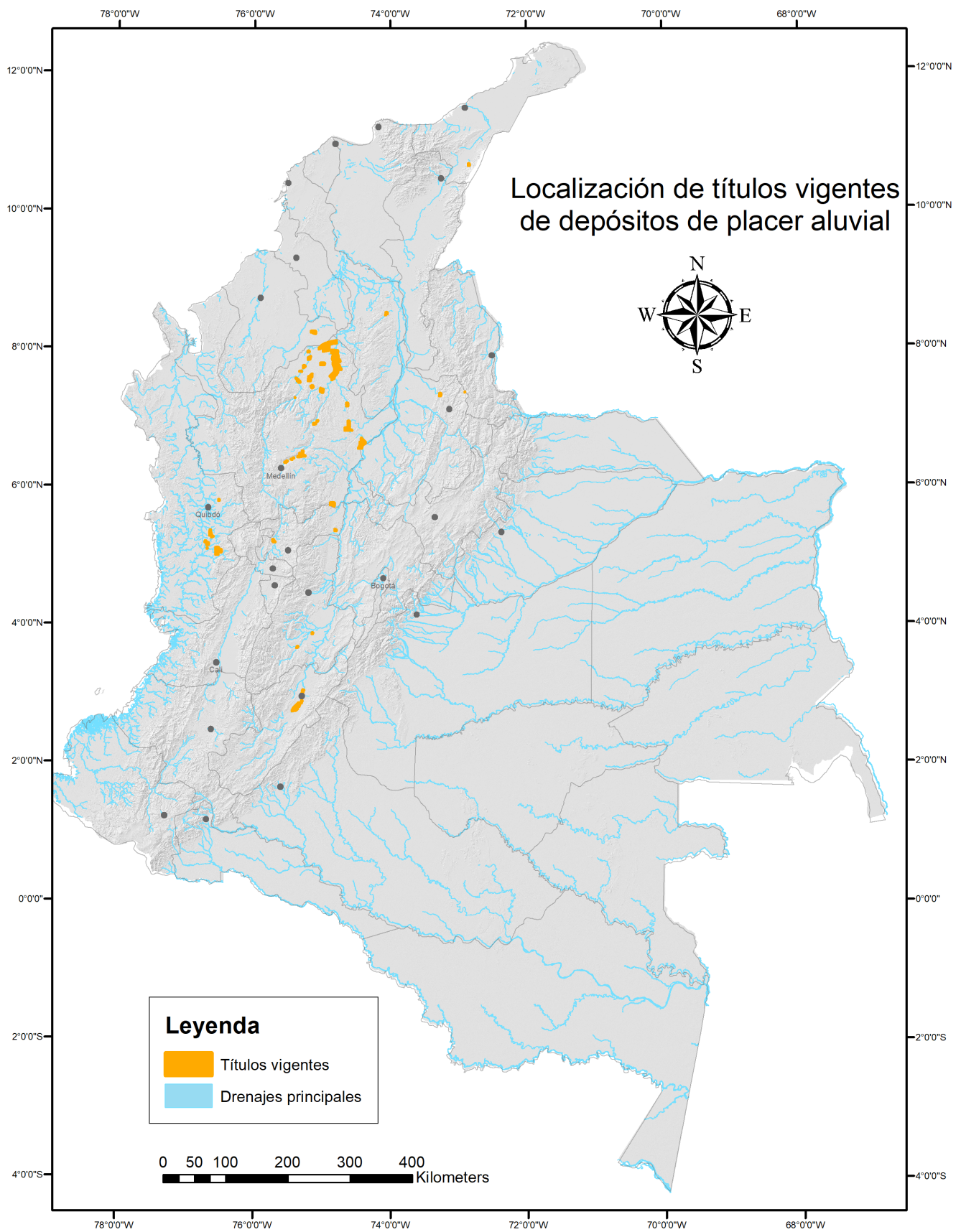
Según datos de la ANM, en Colombia se tienen 60 títulos de depósitos de placer (Figura 4) en etapa de explotación (ANM, datos a septiembre de 2021), cuya producción total entre 2018 y lo corrido de 2021 corresponde a 354.096 oz troy de oro, 33.731 oz troy de plata y 11.917 oz troy de platino.

Mineros Aluvial, filial de Mineros S.A., es el principal productor de oro aluvial en el país, sus operaciones se encuentran en el Bajo Cauca Antioqueño, en los municipios de El Bagre, Nechí y Zaragoza. La compañía lleva 46 años en operación; sin embargo, las operaciones a gran escala en la zona se llevan a cabo desde hace 113 años.

Dicha producción ha sido pilar de la economía de los municipios de El Bagre y Nechí y en general, del Bajo Cauca Antioqueño.

Por su relativa facilidad de extracción y alta rentabilidad, en comparación con otros tipos de depósitos minerales, los depósitos de placer han sido objeto de explotaciones irregulares, por esta razón, las cifras exactas de producción son desconocidas y los impactos en el medio ambiente, causados por la minería ilegal, son indeterminados.

Estos datos dan cuenta de la importancia económica de este tipo de depósitos para el país y de la necesidad de lograr que las labores de explotación se realicen de manera responsable y respetuosa con las comunidades y el medio ambiente. En este sentido, el presente documento cobra mayor relevancia, pues la expectativa es que, tanto para los yacimientos con explotación y exploración activas, como para los depósitos por descubrir y aprovechar en el futuro, la GBPDP sea un acompañante de los exploradores y productores para garantizar que sus actividades cumplan con las exigencias de calidad requeridas para estas operaciones manteniendo la productividad, rentabilidad y la responsabilidad social y medioambiental.



**Figura 4.** Localización de los títulos en producción de depósitos de placer en Colombia  
Fuente: ANM, 2021



2

**Planeación de**  
proyectos mineros

La planeación de las etapas de exploración, estimación de recursos y reservas es fundamental para el éxito del proyecto minero, de allí que se recomienda que esta actividad se realice o acompañe por un profesional líder que entienda sobre aspectos administrativos, logísticos, normativos y de gestión, y que además conozca y comprenda las particularidades inherentes a los depósitos de placer. Como parte de sus responsabilidades, este profesional debe identificar y gestionar las necesidades en áreas tales como presupuesto, planeación, ejecución, recursos humanos, gestión de contratistas, políticas de seguridad y salud en el trabajo, uso de la tierra, derechos de los pueblos indígenas y negritudes y medidas anticorrupción, entre otros (CIM, 2018).

Al inicio del proyecto, se debe establecer el objetivo y alcance que se buscan (exploración, estimación de recursos, estimación de reservas), de manera que se definan las actividades, responsables, recursos y productos a generar una vez terminada la fase de trabajo. La planeación y ejecución del

proyecto requieren de un adecuado liderazgo y del apoyo de un equipo de trabajo capacitado y comprometido para el cumplimiento de las actividades y objetivos.

La planeación de fases de trabajo facilita la organización del proyecto y la toma de decisiones en el momento indicado. Cada una de las fases requiere de inversiones para el desarrollo de las actividades y el cumplimiento de los objetivos, estos últimos deben ser evaluados, junto con los productos generados, al final de cada fase, para tener un balance que permita encaminar las actividades **(Figura 5)**.

Elaborar una lista de chequeo de todas las actividades a desarrollar, de los factores (legales, técnicos, sociales, ambientales, entre otros) que puedan afectar la ejecución del proyecto, ayuda en la definición de estrategias para resolver los posibles inconvenientes que surjan, los recursos disponibles y los que es necesario conseguir, además de las propuestas de cronogramas para el desarrollo de cada fase.

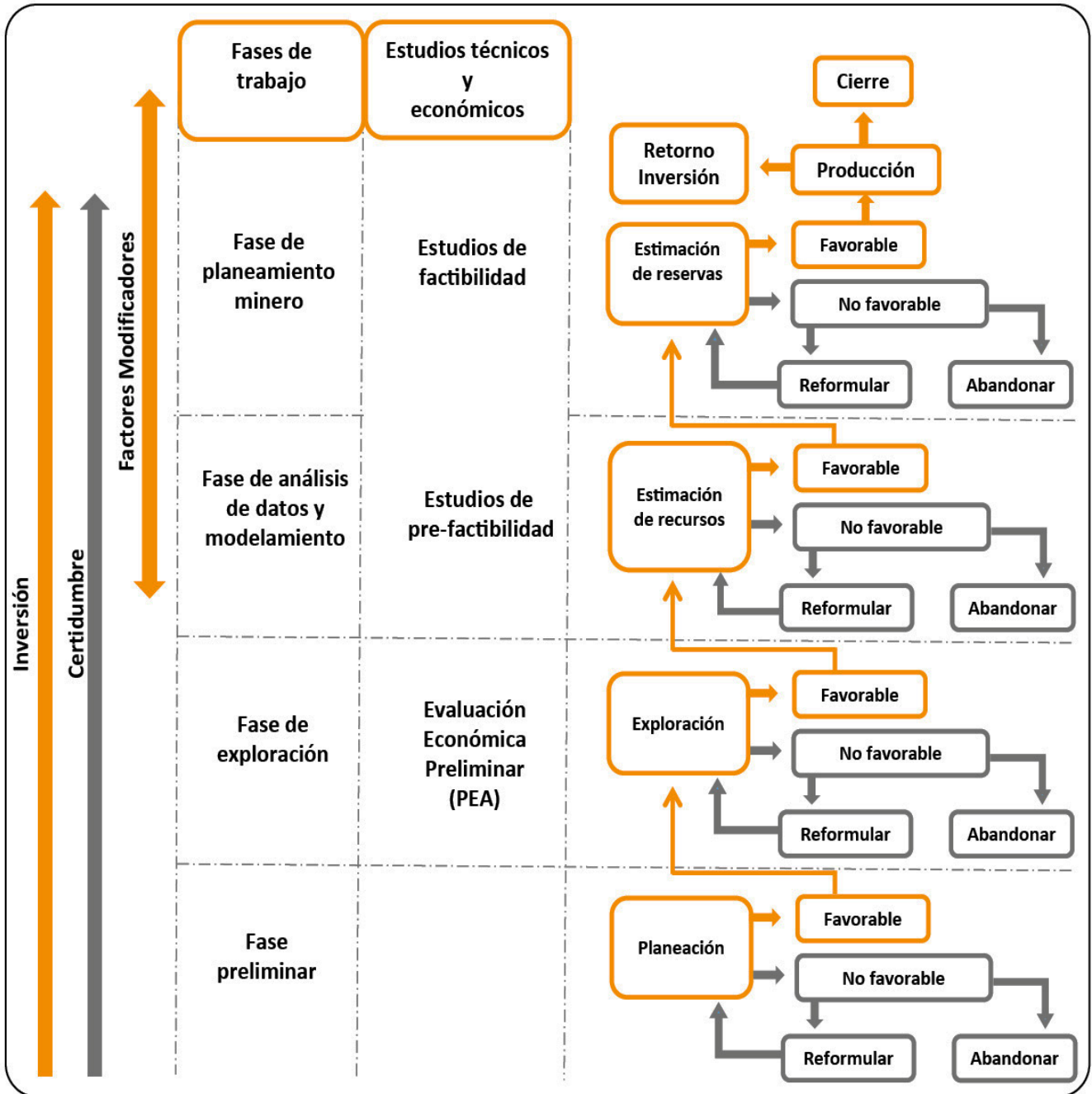


Figura 5. Fases de trabajo comunes en los proyectos mineros y estudios relacionados con cada fase

Fuente: Autores



En los depósitos de placer, generalmente se identifican cuatro fases principales de trabajo las cuáles consisten en: análisis preliminar de condiciones; exploración, a partir de la cual se genera una Evaluación Económica Preliminar (o PEA por sus siglas en inglés, Preliminary Economic

Assesment); estimación de recursos, con la cual se obtiene el Estudio de Pre-Factibilidad y, estimación de reservas de donde resulta el estudio de Factibilidad (**Tabla 1**). Estas últimas se definen luego de pasar a través del filtro de los factores modificadores, tal como se observa en **Figura 5**.

**Tabla 1.** Fases de un proyecto minero para depósitos de placer

Criterio		Estudios técnicos y económicos	
Estudio	Evaluación Económica Preliminar (PEA)	Estudio de Prefactibilidad	Estudio de Factibilidad
Concepto	Qué podría ser	Qué debería ser	Qué será
Objetivo	Primeras etapas de evaluación conceptual de la potencial viabilidad económica (criterios técnicos, económicos, ) de los recursos minerales	Evaluación económica realista y estudios de ingeniería suficientes para demostrar la viabilidad económica y establecer reservas minerales	Estudio detallado de como la mina debería ser construida, usando como base una decisión de producción
Precisión en los costos	+/- 50%	+/- 25%	+/- 15%
Ingeniería	< 1%	1-5%	5-25%
Estimación de recursos minerales	Inferidos / indicados / Medidos	Recursos medidos e indicados	
Estimación de reservas minerales		Reservas Probadas y/o Probables	

*Fuente: Modificado de The SAMREC Code, 2016*



## Más información

- PMBOK® Guide – Sixth Edition. Project Management Institute ®.

## 2.1 Identificación de interesados

Los interesados del proyecto son individuos, grupos u organizaciones que pueden afectar, verse afectados o percibirse a sí mismos como afectados por una decisión, actividad o resultado de un proyecto (PMI®, 2017). Los interesados pueden ser internos o externos a la empresa.

Entre los grupos de interesados más relevantes en cualquier proyecto, se encuentran las comunidades del área de influencia, con las cuales se recomienda realizar reuniones informativas con el fin de darles a conocer las expectativas del proyecto y generar un espacio de confianza que permita el desarrollo normal de las labores, contando con la favorabilidad de las comunidades.

### Recomendaciones

- Identificar los diferentes grupos de interesados que deban tenerse en cuenta a lo largo de la vida del proyecto y actualizarlos periódicamente.
- Agrupar los interesados según su interés, influencia y participación en el proyecto.
- Elaborar un plan de seguimiento y comunicaciones con los interesados principales.



### Más información

- PMBoK®. Project Management Institute ®
- Diseño de una metodología para la gestión de proyectos según los estándares del Project Management Institute, PMI® para la empresa de GEMI S.A.S. Vélez. Giraldo. 2017.

## 2.2 Titularidad y acceso

La comprobación de los aspectos de la titularidad (propiedad) de títulos mineros y predios en el área y accesibilidad a la misma, debe considerarse dentro de las actividades de planificación de exploración o explotación del proyecto minero.

El profesional líder debe conocer la modalidad contractual del o los títulos o solicitudes de contrato de concesión, así como su extensión, etapa contractual, estado del cumplimiento de las obligaciones, minerales autorizados, restricciones sobre el área (áreas protegidas, reservas forestales, zonas mineras étnicas, entre otras), negociaciones o acuerdos de cooperación, contratos o subcontratos de operación. La información general de la infraestructura y logística requeridas para acceder al área debe tenerse en cuenta desde esta etapa de planeación.

La identificación de áreas dentro de la propiedad con restricciones legales o de acceso permite priorizar las labores de exploración o explotación en los sectores donde pueden adelantarse dichos trabajos e identificar cuáles son los factores pendientes por resolver para tener acceso a las áreas restringidas. De esta manera se le puede dar una destinación más práctica y directa a los recursos disponibles, igualmente disminuye riesgos asociados a retrasos en la obtención de permisos para desarrollar zonas en el área del proyecto.

Para el caso de predios, el profesional líder debe conocer cuáles cuentan con acceso libre, cuáles tienen restricciones y cuáles servidumbres deben adquirirse para obtener el acceso.

La infraestructura para acceso a las áreas es un punto crítico en cualquier proyecto de exploración o explotación; por lo tanto, como parte de la planeación debe identificarse si es necesario construir caminos o carreteras, el costo de los mismos y los permisos necesarios para su ejecución.

## Recomendaciones

- Verificar que se cuente con acceso a las áreas clave para la exploración y explotación del proyecto.
- Concentrar los esfuerzos y recursos en las áreas donde es posible adelantar trabajos.
- Buscar el acceso a las áreas con restricciones pero que pueden ser significativas para el proyecto.
- Documentar los acuerdos obtenidos para los diferentes predios.



### Más información

- [www.anm.gov.co](http://www.anm.gov.co)
- [www.igac.gov.co](http://www.igac.gov.co)

## 2.3 Permisos

Los permisos requeridos para realizar trabajos de exploración y explotación son otorgados por entidades estatales o las comunidades; es importante tener identificados, desde las etapas iniciales del proyecto, los permisos necesarios para adelantar las diferentes actividades, con el fin de gestionarlos a tiempo y evitar retrasos o suspensión de actividades.

En la mayoría de los proyectos mineros, los permisos más sensibles son de carácter ambiental, social y jurídico; por lo cual, la recomendación es tener claro desde el principio del proyecto ante qué autoridades u organizaciones sociales deben tramitarse los permisos, cuál es el tiempo promedio de respuesta y, de ser posible, cuáles son las razones más frecuentes de negación de permisos para establecer una estrategia que evite dicha negación. La identificación temprana de todos los permisos necesarios y la atención correspondiente a cada uno de ellos, facilita el flujo de las operaciones y evita incurrir en posibles

costos adicionales que se presentan cuando no hubo previsión de las autorizaciones requeridas para las diferentes operaciones.

El profesional líder debe conocer el listado de los permisos que requiere el proyecto y el estado de cada uno de ellos; en caso de que haya algunos pendientes por obtener, debe establecer las prioridades respecto a este tema. Este profesional también tiene la responsabilidad de conocer las restricciones que por normatividad puedan regir en el área e investigar cuáles son susceptibles de permisos especiales y cuáles son de restricción minera definitiva.

Las entidades estatales cuentan con guías y manuales que facilitan el cumplimiento de los requisitos para la obtención de los correspondientes permisos, entre las cuales se encuentran:

### 2.3.1 Permisos ICANH

Teniendo en cuenta que históricamente las zonas aluviales han sido proclives a los asentamientos humanos, la identificación y preservación, en caso de existir, de los vestigios de dichos asentamientos cobra relevancia, por lo que deben realizarse los trámites ante el Instituto Colombiano de Antropología e Historia -ICANH-, previo a la realización de actividades, teniendo en cuenta que las zonas definidas como de especial interés arqueológico, histórico o cultural son consideradas zonas de minería restringida (Ley 685 de 2001, Art. 35) y podrán efectuarse trabajos y obras de exploración y de explotación de minas en estas zonas, siempre y cuando se cuente con la autorización de la autoridad competente (ANM, 2021).

### 2.3.2 Permisos de las comunidades y autoridades locales

El acercamiento con las autoridades locales y comunidades desde el comienzo, permite que se construyan relaciones de confianza y

se identifiquen las posibles oportunidades/dificultades para el desarrollo del proyecto. Algunas de las ventajas de realizar acercamientos con las comunidades desde el inicio del proyecto son: Facilitan la comunicación y construyen confianza.

Clarifican las expectativas, dudas y temores de la comunidad respecto al impacto positivo o negativo que puede tener el proyecto.

Ayudan a entender temas relacionados con la localización, naturaleza y extensión del proyecto.

Crean oportunidades para identificar valores comunes e intereses compartidos que pueden involucrarse en el diseño y planeamiento del proyecto, así como discutir estrategias de mitigación para los impactos potenciales.

Validan la inclusión del proyecto en los planes de ordenamiento territorial y de desarrollo de las comunidades.

Identifican oportunidades de asociación y otras estrategias. Permiten perfilar los posibles recursos humanos con los que contaría el proyecto en la zona.

## 2.4 Guías minero ambientales

La guía minero-ambiental es el instrumento de referencia para el manejo ambiental en las diferentes etapas de un proyecto minero, por lo que éstas deben ajustarse a las características y condiciones específicas del área (art. 272 Código de Minas). Antes de iniciar los trabajos de exploración se debe diligenciar el formato de inscripción de las medidas de manejo ambiental, de acuerdo con las guías y con la reglamentación expedida por el Ministerio del Medio Ambiente, en el numeral 5.2.1 se presentan algunos de los permisos más comunes a los que debe dárseles trámite con la Autoridad Ambiental.

### Recomendaciones

- Contar con un equipo de profesionales

bien preparados que inicien los primeros acercamientos con las comunidades presentes en el área, los cuales deben comunicar asertivamente las características del proyecto.

- Realizar un listado de los permisos requeridos en las diferentes fases del proyecto, hacerles seguimiento y darles trámite a tiempo.
- Revisar uno a uno los permisos necesarios y su estado actual para determinar cuáles son los que requieren mayor atención y recursos o cuáles ya se tienen disponibles para proceder con la siguiente fase.
- Consultar los tiempos promedio de respuesta de cada entidad para establecer un horizonte temporal realista y las correspondientes estrategias de atención.
- Hacer un sondeo de las razones más frecuentes de negación de permisos para así prevenir posibles rechazos.
- Consultar las plataformas de entidades estatales con información pública de zonas especiales o restringidas para minería (Anna Minería, SINA).
- Revisar los planes de ordenamiento territorial o departamental y los POMCAS.
- Documentar los acercamientos con la comunidad y autoridades locales, así como los compromisos adquiridos por las diferentes partes.

### Más información

- Ley 685 de 2001, Código de Minas.
- [www.icanh.gov.co](http://www.icanh.gov.co)

## 2.5 Aspectos legales y tenencia de la propiedad minera

La revisión de los aspectos legales de la propiedad minera permite comprender si, en lo referente a la propiedad del suelo y del subsuelo, se dan las condiciones necesarias para el desarrollo del proyecto, o si, por el contrario, existen factores pendientes por resolver que limitan las labores requeridas para continuar con el trabajo.

A partir de esta revisión, se determinan las obligaciones contractuales del proyecto, tales como pago de cánones, pólizas, regalías, compromisos adquiridos con interesados y socios del proyecto, minerales autorizados para explotación y derechos sobre los mismos, litigios, entre otros.

Para el caso de predios, se debe verificar si la compañía posee terrenos y su ubicación con respecto al proyecto; si los predios pertenecen a terceros, es recomendable revisar las negociaciones con los propietarios de dichos predios y los compromisos de pago de servidumbres (ver numeral 5.3.1).

Otros aspectos que deben revisarse, cuando apliquen, son la existencia de áreas de reserva minera del Estado en la zona y los temas de restitución de tierras.

### Recomendaciones

- Validar el estado de compromisos ante las autoridades (FBM, Informes de cumplimiento ambiental, pólizas minero-ambientales, pago de canon superficiario)
- Identificar las áreas críticas para el desarrollo del proyecto y verificar si hay aspectos legales o de servidumbres pendientes por resolver.
- Reportar cualquier litigio, demanda u otra situación que eventualmente pueda comprometer el desarrollo del proyecto.



### Más información

- AnnA Minería, <https://www.anm.gov.co/?-q=anna-mineria>
- Consulta Catastral. Instituto Geográfico Agustín Codazzi. <https://geoportal.igac.gov.co/contenido/consulta-catastral>

## 2.6 Recopilación de información

La recopilación de información de trabajos anteriores consiste en la consulta de los diferentes documentos públicos o privados tales como investigaciones, tesis, artículos, reportes públicos, entre otros; que estén disponibles y que contribuyan a la caracterización del área. Esta actividad ofrece un punto de partida para la planeación de las diferentes fases del proyecto y facilita el diagnóstico de la información que es necesario capturar; por lo tanto, la recopilación de información de trabajos anteriores, ayuda en la programación de actividades prioritarias para la toma de datos.

Cuando se trata de la recopilación de trabajos exploratorios anteriores, se debe establecer un proceso organizado para el uso de la información. Dicho proceso consiste en: i) recopilar los documentos referentes a los diversos temas que deben abordarse en la exploración (geología, muestreos, estudios anteriores de mineralizaciones en la zona, entre otros); ii) realizar un filtro de la información idónea y realmente útil para el proyecto, así como diferenciar entre los datos que serán usados solo como referencia y los que serán incorporados a las bases de datos del proyecto; iii) estructurar los datos seleccionados de acuerdo a los protocolos determinados para ello (ver numeral 2.9) y verificar y validar los datos que se incorporarán a las bases de datos (ver numeral 2.10).

### 2.6.1 Antecedentes históricos

Frecuentemente, los proyectos mineros se desarrollan en áreas en las cuales se ha llevado a cabo minería con anterioridad. Cuando este es el caso, conviene revisar los antecedentes históricos de la propiedad, ya que éstos ofrecen un marco de referencia para entender el camino que ha recorrido el proyecto y permiten comprender los factores económicos, sociales, de infraestructura, entre otros, que lo rigen.

Los antecedentes históricos incluyen, pero no se limitan a, información relevante de los cambios de titularidad del área, trabajos desarrollados en el área, prospecciones geológicas previas, cartografía geológica, programas de muestreo, resultados de laboratorio, prospecciones geofísicas, programas de perforación, tenores, granulometría del oro y sedimentos, bases de datos, datos de producción, porcentajes de recuperación, uso de mercurio, reportes de recursos y reservas y delimitación de zonas explotadas en la propiedad y sus alrededores, por minería formal e informal.

Los datos acerca de cómo se descubrió el depósito, pueden ser relevantes para la interpretación de la información y para comprender el potencial de nuevos descubrimientos. Así mismo, el resumen de exploraciones fallidas y sus causas pueden ofrecer información valiosa para la caracterización del proyecto y para anticipar posibles dificultades.

### 2.6.2 Propiedades adyacentes

Propiedades adyacentes son todas aquellas áreas circundantes del título o títulos objeto del estudio que puedan tener relación con la mineralización de interés. El objetivo de identificar las propiedades vecinas es diagnosticar el potencial geológico del área y evaluar la posibilidad de la presencia

de depósitos aluviales en áreas aledañas que puedan continuar hacia la propiedad minera (CCRR®, 2018).

Si las propiedades adyacentes o cercanas tienen una importancia relevante para el proyecto, entonces su ubicación y la relación con los depósitos de placer del proyecto deberán incluirse en los mapas y en las descripciones (CCRR®, 2018).

El conocimiento de las propiedades vecinas también da un marco del desarrollo de infraestructura asociado a la minería e indirectamente de la aceptación de la actividad minera en un área determinada, cuando existe o ha existido actividad extractiva en la zona. En los casos en los que no hay evidencia de minería en la región, el análisis de las propiedades adyacentes puede evidenciar el potencial de la zona, en términos de yacimientos por descubrir.

### Recomendaciones

- Construir una base de registro de la información relevante de cada documento revisado.
- Tomar información de fuentes confiables.
- Dar los créditos a la información obtenida de terceros.
- Resumir la historia minera del área ya que ésta ofrece una idea de la favorabilidad geográfica y económica de la zona para proyectos mineros.
- Identificar los trabajos de minería tradicional en la zona.
- En caso de que las hubiere, ubicar las zonas con pasivos ambientales para determinar su impacto en el proyecto.

- Revisar las plataformas de información pública y gubernamental (por ejemplo, AnnA Minería) para identificar los títulos y solicitudes adyacentes al área.
- En los casos en los que sea posible, identificar los problemas o dificultades que hayan tenido los propietarios de áreas adyacentes para desarrollar sus proyectos, esto con el fin de anticiparse a posibles dificultades similares que puedan darse en el título.
- Documentar adecuadamente las fuentes de información consultadas para análisis de propiedades adyacentes y citar debidamente la información.



## Más información

- Procedimiento para acceder al AnnA Minería. Agencia Nacional de Minería. <https://www.anm.gov.co/?q=informacion-anna-mineria>
- Estimation of Mineral Resources & Mineral Reserves Best Practice Guidelines Canadian Institute of Mining, Metallurgy and Petroleum, CIM (2019). [https://mrmr.cim.org/media/1129/cim-mrmr-bp-guidelines\\_2019.pdf](https://mrmr.cim.org/media/1129/cim-mrmr-bp-guidelines_2019.pdf)
- Estándar Colombiano para el reporte público de resultados de exploración, recursos y reservas minerales (ECRR®). Comisión Colombiana de Recursos y Reservas (2018).

## 2.7 Sistema de proyección

Un proyecto minero para depósitos de placer requiere un sistema de proyección de coordenadas consistente desde el inicio, que permita ubicar toda la información producida durante las diferentes etapas en la propiedad (CIM, 2018). La empresa tiene autonomía para determinar el

sistema de proyección que más convenga a sus intereses, pero en el caso de documentos técnicos presentados a las autoridades estatales, debe consultarse el sistema que exige la normatividad de cada entidad.

Cuando existen estudios previos con un sistema de coordenadas diferente del sistema a emplear en el proyecto, la información relacionada con la localización debe ser proyectada al sistema de coordenadas definido antes de iniciar el trabajo de campo (CIM, 2018).

### Recomendaciones

- Establecer procedimientos claros para la migración de información cartográfica entre diferentes sistemas de coordenadas.
- Verificar el sistema requerido por las diferentes entidades gubernamentales a las cuales la empresa está en la obligación de suministrar información.
- Evaluar si el sistema de coordenadas exigido por las autoridades es conveniente también para el proyecto, de ser así, la mejor práctica es tener toda la información amarrada a dicho sistema, de esta manera, se evitan re-proyecciones o reprocesamiento de la información.
- Determinar las coordenadas de puntos en común o mojones de cada sistema de proyección que estén presentes físicamente en la propiedad: ejemplos de dichos puntos en común pueden incluir mojones de pozos de perforación, mojones del IGAC o características geográficas específicas.
- Para propiedades en la etapa de prospección, deben establecerse marcas permanentes como un punto de referencia para el sistema de coordenadas de la propiedad. Deben hacerse descripciones detalladas de los métodos y procedimientos

para su marcación y localización (CIM, 2018).

- En caso de contar con información en diferentes sistemas de coordenadas, definir el procedimiento de transformación de coordenadas antes de iniciar con las transformaciones.

## Más información

- Sistema de Proyección Cartográfico para Colombia, Origen Único, Colombia (IGAC, s/f)
- Norma ISO 19157:2013/Amd 1:2018. Describing data quality using coverages.
- Norma ISO/TS 19157-2:2016. Geographic information. Data quality, Part 2: XML schema implementation.
- Norma ISO 19157:2013. Geographic information. Data quality
- Norma ISO 19160-3:2020. Addressing Part 3: Address data quality
- ISO/TS 19158:2012 Geographic information. Quality assurance of data supply

## 2.8 Base topográfica

La base topográfica es la representación del relieve del terreno y es la capa de información sobre la cual se ubicarán la mayoría de los datos geográficos adquiridos para el proyecto; por esta razón debe garantizarse su precisión y calidad. La información de exploración de un yacimiento mineral debe estar plasmada sobre bases topográficas confiables, que reflejen las características fisiográficas del área, de manera que permitan un correcto ajuste de la información de campo.

En la planeación de las diferentes fases de exploración y explotación, es indispensable levantar la topografía a escala adecuada con su respectivo amarre a las redes de referencia (Red Geodésica Nacional, para el caso de Colombia) y determinar el método más conveniente (con sensores remotos o convencional), en términos técnicos y económicos, para el levantamiento topográfico.

En Colombia, el IGAC ofrece las bases cartográficas de la mayor parte del territorio Nacional en escala hasta 1:25000. Teniendo en cuenta que, en un título minero, no todo el terreno alberga depósitos de placer, el profesional encargado de exploración debe determinar, de acuerdo con las necesidades del proyecto, qué áreas del título deben ser levantadas con mayor detalle y qué áreas pueden quedar con la cartografía básica del IGAC o la que haya sido seleccionada en su lugar.

Las áreas donde existen o se planifica hacer perforaciones, requieren de un amarre vertical (Z) muy preciso, ya que el espesor de los estratos y la profundidad del basamento son poco profundos en comparación con otro tipo de depósitos; por lo tanto, un error en la elevación genera un efecto cascada que puede derivar en una incorrecta estimación de los recursos y reservas.

La base topográfica debe incluir todos los objetos de infraestructura, drenajes, relieve, límites geográficos, entre otros, que permitan la comprensión de las características del relieve del área y la infraestructura disponible.

Aunque en esta guía se aborda el levantamiento topográfico como parte de la planeación del proyecto, esta actividad debe estar presente en todas las etapas de desarrollo de la mina, pues el control del relieve del terreno debe llevarse desde la exploración y la producción y es insumo básico para la etapa de cierre de la mina para la reconformación geomorfológica y paisajística.



## Recomendaciones

- Levantar la topografía del área de interés de acuerdo con las necesidades del proyecto y con el debido amarre a las redes de referencia.
- Incluir mojones en el levantamiento topográfico para materializar en terreno los puntos de control que facilitan el amarre de los sistemas.
- Verificar la precisión del método de levantamiento.
- Revisar la fuente de información cartográfica oficial (IGAC) previo al inicio de los trabajos.
- Documentar la metodología del levantamiento topográfico, especificando los instrumentos utilizados, el procesamiento de la información y la precisión vertical y horizontal alcanzada con el método.
- Verificar la calibración de los equipos topográficos.



### Más información

- Especificaciones técnicas para la generación de cartografía básica. IGAC (2016)
- Geographic Information. Data Quality. Norma ISO 19157.

## 2.9 Protocolos de trabajo

El establecimiento de procesos y protocolos para las diferentes actividades requeridas en un proyecto minero facilita la distribución de recursos, la planificación de secuencias de trabajo, la anticipación de posibles problemas y su atención temprana y permite una mejora constante de la calidad de los datos y productos generados en las diferentes etapas del proyecto.

En la etapa de planeación, previo al inicio de los trabajos, bien sea de exploración, estimación de recursos y/o reservas y explotación, es importante realizar un listado de los procesos y las actividades necesarios para adquirir toda la información para caracterizar el proyecto. Dichos procesos y actividades pueden estar relacionados con los diferentes tipos de muestreo, levantamiento de información cartográfica, geológica, almacenamiento de los datos adquiridos, respaldo de la información, entre otras actividades. En lo posible, todas las actividades y procesos deben estar acompañadas de sus correspondientes protocolos.

Los protocolos permiten estandarizar las actividades y procesos, de manera que su ejecución se realice bajo las mismas condiciones garantizando así la toma de datos consistentes, completos y ordenados. Los protocolos, cuando son establecidos y ejecutados adecuadamente, ayudan a disminuir errores durante el trabajo y a evitar reprocesamientos.

- Es indispensable que los protocolos sean difundidos a todos los integrantes del equipo de trabajo, de manera que se garantice su conocimiento entre las personas responsables de cada tarea. También se recomienda establecer un canal de retroalimentación entre los responsables de ejecutar los procesos y los de elaborar los protocolos para realizar las correcciones y ajustes que sean necesarios.

- En la Figura 6 se resumen los pasos que se recomienda seguir para generar los protocolos de trabajo.
- Algunos de los protocolos que se sugiere construir, previo al inicio de actividades son los siguientes:
- Levantamiento de información geológica: escala de trabajo, registro de datos estratigráficos, litológicos, estructurales, entre otros.
- Toma de muestras: tipo de muestra, etiquetado, precauciones para evitar contaminación, registro de datos de muestras, análisis a realizar, cadena de custodia (ver numeral 3.7), almacenamiento de testigos.
- Almacenamiento y registro de información: responsable del registro, revisión de la información, almacenamiento de los datos, respaldos periódicos, procedimientos para información análoga y digital.
- Base de datos: administración de base de datos, validación y verificación de la información, generación de reportes.



**Figura 6.** Síntesis de los pasos que siguen los protocolos para tener calidad en un proceso  
Fuente: autores

## Recomendaciones

- Identificar, desde las fases tempranas del proyecto, los procesos y actividades que requieren la elaboración de protocolos.
- Elaborar los protocolos de trabajo de acuerdo con las necesidades del proyecto, procurando manejar un lenguaje claro y comprensible.
- Divulgar los protocolos entre todo el personal involucrado en las diferentes actividades.
- Establecer una revisión y corrección periódica de los protocolos para realizar los ajustes que se requieran.
- Tener procedimientos sistemáticos para la recolección de información geológica.
- En caso de generar cambios en los protocolos, dejar registro de éstos, las razones del cambio y el impacto que puede tener en la base de datos.

## 2.10 Verificación y validación de información

La verificación y validación de la información utilizada en el proyecto es una actividad que brinda confianza a los datos y a los análisis de resultados, por lo tanto, contribuye a la solidez del proyecto y a la disminución de la incertidumbre de las estimaciones. El profesional líder debe validar la exactitud y verificar la idoneidad de la información recopilada de trabajos anteriores antes de utilizarla. La verificación de los datos es un concepto clave y es diferente de la validación de los datos (CIM, 2018).

La verificación de los datos está relacionada a la integridad y exactitud de los datos para presentar resultados que sean razonables. Todos los datos que están incluidos en la

base de datos del proyecto deben ser verificados. Esto incluye datos “heredados” de cualquier tipo: geoquímicos, geofísicos, de perforación, de muestreo, metalúrgicos, producción etc. de anteriores operadores o de agencias del gobierno. Esta información puede ser valiosa para el proyecto y debe verificarse por su integridad para confirmar su nivel de calidad antes de ser incluida en la base de datos del proyecto (CIM, 2018).

La validación de la información de la base de datos en formato analógico o digital incluye todas las comprobaciones efectuadas para asegurarse de que no haya errores o discrepancias en los datos (por ejemplo, superposición de muestras, etiquetado incorrecto de los datos, mezcla de unidades, etc.). Esta es una tarea importante, pero no incluye la verificación de los datos en los cuales se basa (CIM, 2018).

La información por validar puede incluir, pero no se limita a, mapas geológicos y estructurales, levantamientos geofísicos y geoquímicos, datos de perforación y logueo, bases de datos, reportes de recursos y reservas anteriores, entre otros. (Bonilla et al., 2020).

Para el profesional líder encargado de la estimación de recursos y reservas minerales el historial y base de datos de la propiedad de interés se pueden convertir en pilar para el desarrollo y planeación del proyecto dependiendo de la etapa de evolución en la estimación de recursos y reservas en que se encuentre la propiedad.

La verificación de la información debe realizarse por parte de un profesional idóneo, quien garantiza que hubo un proceso de revisión de los datos y de aclaración de las dudas que pudieran surgir durante dicho proceso.

## Recomendaciones

- Garantizar el manejo responsable de la información de trabajos anteriores.

- Describir claramente el alcance de la información de trabajos anteriores que se usará en el proyecto y advertir si su uso es solo como referencia o si algunos datos fueron incorporados en los análisis internos.
- Dar claridad respecto a las limitaciones de los datos tomados de fuentes secundarias.
- Incorporar en las bases de datos únicamente la información que cumpla con los estándares de calidad definidos para el proyecto y que haya sido verificada y validada.
- Documentar el proceso de verificación a través de actas, reportes u otros documentos similares.
- Determinar si para la verificación de datos debe realizarse un muestreo independiente de sedimentos, el re-muestreo de trincheras o taladros, perforación de pozos gemelos, etc.
- Una vez se haya tomado la decisión de incorporar información de trabajos anteriores a las bases de datos, debe dejarse por escrito todo el proceso de selección de los datos, de tal manera que se tenga un registro de los criterios para aceptar o rechazar los datos, de la cantidad de datos que se utilizan y, en caso de que hayan ocurrido, las transformaciones o procesamiento de los datos, por ejemplo, cambio de unidades de medida originales, cambios en sistemas de coordenadas, filtrado de elementos, entre otros.
- Establecer las limitaciones encontradas en el proceso de verificación de la información (acceso a datos, plazos, entre otros).

## 2.11 Almacenamiento y preservación de información

El almacenamiento y preservación de la información hace referencia a la conservación ordenada y sistemática de todos los datos y productos generados en las diferentes fases del proyecto, ya sean físicos o digitales, de manera que estén disponibles como parte de la materialidad que respalda el proyecto.

Una de las mayores dificultades en las empresas con el cambio de personal, corresponde a la pérdida en la trazabilidad de la información, debido a la ausencia de procedimientos claros y documentados acerca del almacenamiento y preservación de información. Los datos tomados en las diferentes actividades y procesos del proyecto son propiedad de la empresa y como tal debe protegerse. Un sistema de archivo de información organizado y documentado permite que, independientemente de la rotación de personal, la información esté inalterada y disponible para realizar análisis y verificaciones.

La información física comprende principalmente las muestras originales, testigos, pulpas y rechazos de los análisis de laboratorio. El proyecto debe destinar un lugar dentro de sus instalaciones para el almacenamiento de estos materiales, y debe considerar como parte de planeamiento, toda la infraestructura y logística requeridas para su adecuada administración. Se recomienda proyectar el tiempo durante el cual deberán preservarse estos materiales y planificar cómo debe ser su disposición final, de acuerdo con las necesidades del proyecto y con la normatividad vigente.

La información análoga consiste de libretas de campo, fichas de muestreo, mapas de campo y en general, toda la información que inicialmente se captura en papel. Después de transferir los datos de estos documentos a las bases de datos, la recomendación es escanear en PDF para conservar un respaldo tanto físico como digital. El proyecto debe destinar un lugar para el ade-

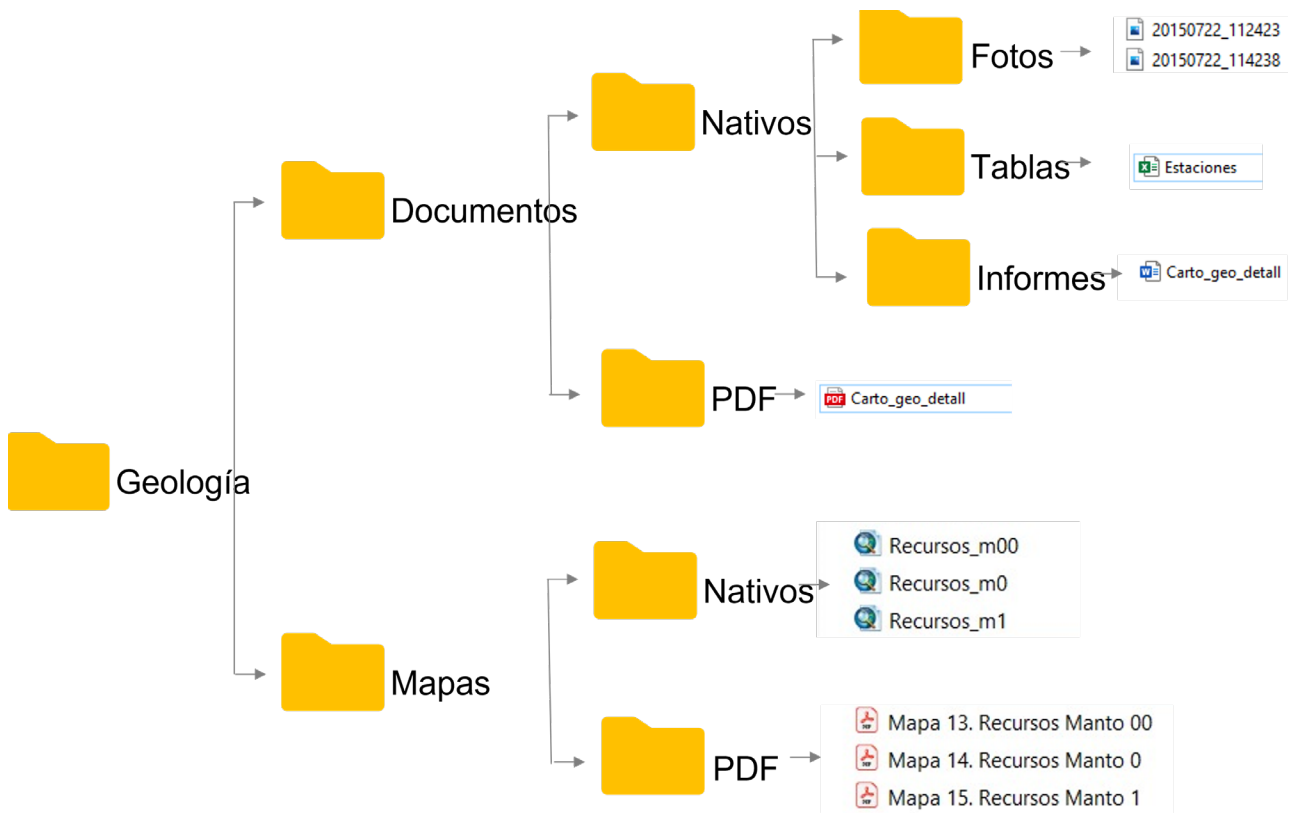
cuando almacenamiento de los archivos análogos y establecer los protocolos para su manejo y preservación.

La información digital es uno de los insumos que debe guardarse con más cuidado ya que generalmente compila todos los demás datos. Para almacenamiento de la información digital deben considerarse aspectos como: sistema y estándares de almacenamiento, administración de los datos, custodia de los datos, respaldos periódicos, accesibilidad, entre otros (ver numeral 2.12).

La información a ser almacenada incluye, pero no se limita a, informes técnicos, bases topográficas, datos crudos y procesados de los diferentes estudios ejecutados para el proyecto (levantamiento cartográfico, estudios geofísicos), resultados

de análisis de laboratorio, documentación propiedad minera, informes de control de calidad y todos aquellos supuestos o información relevante que pueda llegar a ser necesaria para soportar la estimación de recursos y reservas.

El almacenamiento de la información categorizada por temáticas, facilita la localización de los datos de cada tema específico, en la Figura 7 se muestra un ejemplo de almacenamiento de información, basado en el sistema del Servicio Geológico Colombiano (SGC).



**Figura 7.** Ejemplo de estructura de almacenamiento documental  
Fuente: autores

## Recomendaciones

- Conservar los archivos de soporte como son: libretas de campo, formatos, reportes escritos, mapas de campo, fotografías, certificados analíticos, entre otros.
- Definir una estructura de almacenamiento de la información que sea de fácil uso.
- Realizar auditorías al almacenamiento de la información.
- Determinar el periodo más conveniente para almacenamiento de la información, de acuerdo con las necesidades del proyecto.

### Más información

- Servicio Geológico Colombiano, SGC.  
[www.sgc.gov.co](http://www.sgc.gov.co)
- Geoscience Working Group, GWG.  
Government Geoscience Information Committee.

## 2.12 Base de datos

La base de datos es una herramienta tanto de almacenamiento como de análisis de información que permite compilar en un solo lugar, la mayoría de datos considerados para el análisis de resultados de exploración y para las estimaciones de recursos y reservas, así como en la reconciliación de resultados durante la operación. La información puede ser de dos tipos: datos observados y medidos o datos interpretados (CIM, 2018).

Las bases de datos deben estar diseñadas de manera que la información se presente en una secuencia lógica desde el momento de la captura de la misma en campo, para luego llevarla al registro digital, de manera que se faciliten su entendimiento y posterior manejo y administración. Se deben hacer todos los esfuerzos necesarios para obtener datos precisos y confiables desde el comienzo.

La selección de la herramienta (software) más conveniente para el almacenamiento de datos desde el inicio del proyecto facilita la administración de los datos. Para este propósito existen en el mercado programas muy sofisticados con posibilidades de diseño de perfiles de usuario, gran capacidad de almacenamiento, con opción de trabajo remoto y otras herramientas que facilitan el uso, seguridad y disponibilidad de los datos. Algunos software de uso libre también ofrecen muchas posibilidades para la administración de los datos.

La selección de la herramienta más conveniente está determinada por las necesidades y recursos del proyecto, pero independientemente de la opción escogida para la administración de los datos, debe procurarse un manejo cómodo, ágil y con la menor manipulación posible de la información; además deben establecerse protocolos para almacenamiento, revisión, actualización, validación y corrección de los datos,

así como de respaldo de la información. Dichos protocolos deben estar al día y disponibles para todos los usuarios de la base de datos.

La estandarización en el registro de la información asegura que todos los responsables de alimentar la base de datos, almacenen información con la misma estructura durante el desarrollo del proyecto. Los datos deben ser lo suficientemente detallados para lograr el nivel de comprensión deseado para cada fase operativa. La variedad y el alcance de los formularios individuales deben proporcionar colectivamente una imagen actualizada de la perspectiva en cada etapa de su desarrollo. Tenga en cuenta que, si bien es ventajoso utilizar las mismas hojas de datos sin cambios en un programa, es posible que se necesiten algunos ajustes. La etapa de muestreo también es una etapa de aprendizaje y es posible que sea necesario realizar alguna revisión para garantizar que los métodos seleccionados funcionarán y proporcionarán toda la información requerida (Macdonald, 2007).

Algunas consideraciones a tener en cuenta para el diseño de la base de datos se presentan a continuación:

- **Especificaciones técnicas:** se deben definir las herramientas (software y hardware) para gestionar la información, sistemas operativos y lenguajes de programación con los que se pueda migrar la información con facilidad a nuevos sistemas y aplicaciones a medida que avanzan los requerimientos técnicos del proyecto.
- **Sistemas de nomenclatura:** definir un sistema de nomenclatura para la toma de información que permita realizar el seguimiento y la correlación de la misma a lo largo de la exploración, estimación de recursos y reservas, estos sistemas permiten que todo el equipo de trabajo use los mismos parámetros en la recolección y almacenamiento de datos.

- **Usuarios:** se deben definir el perfil de los usuarios que tendrán acceso y los correspondientes niveles de autorización para la manipulación de la base de datos. Se recomienda generar diversos grupos de interés basados en las necesidades del proyecto.
- **Datos de almacenamiento:** la base de datos debe ser diseñada para soportar los diversos tipos de archivos que se generan en la exploración del depósito.

## Recomendaciones

- Elaborar protocolos de manejo de la base de datos y divulgarlos oportunamente.
- Tener procedimientos sistemáticos para la recolección de información.
- Incluir anotaciones acerca de los supuestos en los campos sin información.
- La información en las bases de datos debe ingresarse a tiempo, estar completa y ser transparente.
- Diseñar la base de datos acorde con las necesidades del proyecto.
- Establecer las relaciones entre los diferentes datos.
- Diferenciar datos crudos de datos interpretados.
- Definir perfiles de usuario con responsabilidades y limitaciones específicas.
- Cargar los datos con la menor manipulación posible. En este sentido, la recomendación es realizar las acciones necesarias para evitar el trabajo manual, y en caso de que este sea inevitable, seleccionar muy bien

al personal que ha de hacer dicho trabajo y establecer protocolos de chequeo para detectar posibles errores de digitación.

- Realizar chequeos periódicos de los datos y validación de los mismos.
- Realizar las debidas correcciones en caso de errores en los datos y documentar los cambios realizados.
- Respalidar periódicamente la base de datos en un lugar seguro y con accesos restringidos solo para los usuarios autorizados.
- Documentar los cambios realizados a la base de datos, estableciendo año, responsable del cambio, modificaciones aplicadas a la base de datos, y las implicaciones que tiene sobre los datos existentes.
- Verificar y dejar muy claras las unidades que se manejarán para los diferentes datos numéricos, por ejemplo, en el caso de tenores de oro, se recomienda usar mg/m<sup>3</sup> (miligramos por metro cúbico). En caso que existan datos con otras unidades, debe haber registro de la conversión utilizada.
- Ingresar dos veces y de forma independiente los datos sensibles.
- Realizar auditorías periódicas a la base de datos.

## Más información

- Geoscience Working Group, GWG. Government Geoscience Information Committee.
- Federal Geographic Data Committee, FGDC.







**3**

**Exploración**

La fase de exploración comprende las actividades y procedimientos que permiten determinar la presencia, extensión y parámetros de calidad del yacimiento. En esta fase se abordan los aspectos geológicos, de caracterización del material, geomorfológicos, hidrológicos, entre otros, que facilitan la delimitación de las áreas de mayor interés dentro del proyecto para pasar a la siguiente fase de estimación de recursos.

Los resultados obtenidos de las actividades de exploración indican si se cuenta o no con un depósito apto para explotación económica; por lo tanto, se hace relevante contar con un flujo de trabajo claro, en el que se incluyan procedimientos y protocolos que aseguren la calidad en las diferentes actividades, de manera que los datos que se obtengan, cuenten con un grado aceptable de confianza para ser empleados en la estimación de recursos y reservas.

### 3.1 Planeación de la exploración

Todo programa de exploración está conformado por una serie de etapas sucesivas, concebidas para obtener un objetivo específico; por tanto, la planeación debe estar acorde con el objetivo de cada etapa, de manera que se haga un uso adecuado de los recursos económicos, humanos y tecnológicos involucrados en el proyecto, a la vez que se reducen los riesgos. Durante la planeación de la exploración deben considerarse factores como la ubicación del proyecto, disponibilidad de mano de obra calificada y equipos, aceptación por parte de las comunidades locales de los trabajos de exploración, requerimientos logísticos, entre otros temas (ver capítulo 2).

### 3.2 Revisión bibliográfica

Los resultados de la recopilación de información (ver numeral 2.6.) son una base para orientar los programas exploratorios. La revisión bibliográfica de la información cartográfica, geológica y

minera de la zona, es fundamental para generar un diagnóstico del estado de conocimiento del área de interés; a partir de ésta se pueden determinar posibles distritos mineros, fuentes probables de los minerales de interés de los depósitos de placer, áreas sin explorar, entre otros. La información proveniente de fuentes secundarias debe revisarse cuidadosamente según los lineamientos tratados en el numeral 2.6.

### 3.3 Análisis de imágenes de sensores remotos

El análisis de imágenes como fotografías aéreas, imágenes de satélite, imágenes de radar, entre otras, permite identificar geoformas, cambios morfológicos, variaciones texturales, cambios en vegetación, sistemas de drenaje, entre otros; así como rasgos asociados a los depósitos de placer.

Esta técnica facilita la evaluación de áreas extensas de manera remota y facilita la identificación de zonas propicias para adelantar actividades de exploración en áreas específicas del proyecto, las cuáles pueden estar asociadas a llanuras de inundación, secuencias de terrazas, meandros abandonados, lagos de media luna y paleo-cauces; igualmente se pueden identificar zonas explotadas y de cargueros (botaderos).

#### Recomendaciones

- Emplear imágenes de sensores remotos del área a escala apropiada, en lo posible contar con imágenes de diferentes años.
- Realizar análisis multitemporal de imágenes del área.
- Definir unidades homogéneas (terrazas, cauces abandonados, llanura aluvial).



## Más información

- Fotogeología descriptiva e interpretativa con ejemplos de Colombia. Naranjo Henao, 2015.
- [www.igac.gov.co](http://www.igac.gov.co)

### 3.4 Cartografía geológica

En la mayoría de los proyectos mineros se evalúa la cartografía geológica desde las escalas regional y local. La cartografía geológica regional puede obtenerse a partir de información secundaria (ver numerales 2.6 y 3.2), con este insumo se establece el marco de referencia para el levantamiento de la geología local.

Por las características asociadas a los depósitos de placer, es recomendable iniciar las actividades de cartografía geológica local una vez se realice el análisis de imágenes de sensores remotos de manera que se oriente de mejor manera el trabajo de campo.

Los resultados de la cartografía geológica local se representan en mapas con la distribución de

las distintas unidades geológicas, con énfasis en los depósitos aluviales, incluyendo la interpretación de su disposición, contactos, geometría y continuidad; así como con los principales rasgos estructurales y tectónicos (fallas, lineamientos, estratificaciones) cuando estos son identificables.

La cartografía geológica de detalle permite delimitar la geometría en superficie que ocupan los depósitos de placer e identificar los sitios donde se han de llevar a cabo labores de exploración del subsuelo (geofísica, trincheras, apiques o perforaciones), que permitan definir la configuración del depósito en profundidad.

Realizar recorridos por medio de transectas distribuidas a lo largo del área del proyecto, de preferencia en sentido perpendicular a la dirección del cauce actual o paleocauces, permite identificar las características generales del área y determinar los límites superficiales del yacimiento, a partir de los contrastes geomorfológicos (Figura 8). En estos recorridos es posible tomar muestras que dan orientaciones acerca de las características del depósito granulometría y presencia de minerales de interés.



**Figura 8.** Contraste geomorfológico entre llanura aluvial y cerros  
Fuente: autores

Es recomendable, en la medida que se explora y si los resultados son prometedores, levantar la información de flora, fauna, ciénagas, arqueológica, entre otra, que facilite el manejo ambiental del proyecto y la obtención de permisos por parte de las autoridades correspondientes.

## Recomendaciones

- Definir una escala de trabajo adecuada para el levantamiento de la geología local.
- Utilizar bases topográficas actualizadas, a escala adecuada y con el sistema de coordenadas definido para el proyecto.
- Realizar transectas a lo largo del área del proyecto, de preferencia en sentido perpendicular a la dirección del cauce actual o paleocauces.
- Describir los afloramientos de los depósitos de placer y unidades litológicas en el área del proyecto empleando una leyenda y/o códigos para la descripción geológica común, que sea compatible con información que se obtenga en etapas posteriores de logueo de apiques, trincheras o perforaciones.
- Asegurar que los profesionales trabajen con los protocolos específicos para la cartografía geológica.

Obtener información hidrológica / hidrogeológica (puntos de agua, niveles freáticos, caudales).

## Más información

- Toma de datos en la libreta de campo. Caidedo Andrade, J. Ingeominas, 2003.
- Conceptos Básicos para la descripción

de depósitos recientes de origen sedimentario. Terraza. Ingeominas, 2009.

- Estimation of Mineral Resources & Mineral Reserves Best Practice Guidelines. Canadian Institute of Mining, Metallurgy and Petroleum, CIM, 2019.
- Essentials of Mineral Exploration and Evaluation. Chapter 9. Sampling and Analysis. Gandhi, S., & Sarkar, B. Elsevier, 2016.
- Manual of Field Geology. Compton, R. R. John Wiley & Sons, Inc, 1962.
- Placer Examination: Principles and Practice. Wells, J. H. 1989.
- Gems and placers. A genetic relationship par excellence. Dill, H. Minerals, 8(10), 1-44, 2018.

## 3.5 Prospección geofísica

Previo al inicio de la exploración del subsuelo con métodos directos, se puede hacer uso de métodos geofísicos, los cuales permiten evaluar áreas extensas de forma rápida, con un relativo bajo costo y con un menor impacto respecto a la exploración directa en el territorio.

Al desarrollar y diseñar una prospección geofísica, el profesional líder necesita una aproximación a las posibles características del depósito (configuración de estratos, dimensiones, profundidad), de manera que la selección del método geofísico a emplear le permita evaluar dichas características.

Métodos como resistividad eléctrica, Ground Penetration Radar (GPR) y refracción sísmica, permiten obtener información valiosa acerca de la profundidad, geometría, espesor y continuidad de los estratos sedimentarios y del basamento. Igualmente, el uso de métodos magnetométricos en aquellos depósitos en los que hay pre-

sencia de magnetita, puede ser de utilidad. Con esta información se pueden dirigir con mayor eficiencia los esfuerzos de exploración directa por medio de perforaciones, apiques y trincheras.

A modo de referencia, en la Tabla 2 se presenta un resumen de algunas características asociadas a los métodos geofísicos aplicables a la exploración de depósitos de placer.

**Tabla 2.** Resumen de métodos geofísicos que pueden usarse en exploración de depósitos de placer

<b>Método</b>	<b>Parámetro medido</b>	<b>Propiedad física</b>	<b>Principal aplicación</b>
<b>Gravimetría</b>	Variaciones espaciales en el campo gravitacional de la tierra	Variaciones locales en densidad	Depósitos de arenas y gravas, profundidad de basamento
<b>Magnetometría</b>	Variaciones espaciales en el campo geomagnético	Variaciones locales en susceptibilidad y remanencia	Identificación de estratos con concentraciones de magnetita y basamento
<b>Resistividad eléctrica</b>	Resistencia de la tierra	Resistividad eléctrica	Agua subterránea, basamento, niveles de arenas, gravas
<b>GPR</b>	Tiempos de viaje, amplitud de onda,	Conductividad eléctrica, imagen de radar	Estructuras sedimentarias poco profundas, mapeo de basamento
<b>Refracción</b>	Tiempos de viaje, amplitudes, forma de ondas elásticas refractadas	Velocidades de onda de cizalla y compresivas (S y P)	Límites estructurales, hidrogeología, basamento del depósito.
<b>Reflexión</b>	Tiempos de viaje, amplitudes, forma de ondas elásticas refractadas	Contraste de ondas compresionales y de cizalla, contraste de densidad, imagen sísmica	Identificación de basamento.

*Fuente: (Pratt, 2005)*

## Recomendaciones

- Contar con un modelo geológico conceptual del depósito, en el que se tenga planteado un espesor estimado que permita realizar un diseño adecuado de la adquisición.
- Documentar el proceso de adquisición, procesamiento e interpretación (espaciamiento, tamaño, equipos empleados, condiciones de adquisición) y cualquier otro parámetro que al variar pueda influir o cambiar los resultados.
- Conservar los datos originales (raw data) de la adquisición.
- Calibrar con información directa proveniente de afloramientos, perforaciones, apiques, entre otros de manera que permitan tener resultados con mayor precisión.
- Integrar la información geológica con los resultados de la geofísica.

### Más información

- Geophysical methods of prospecting for and exploration of metallic, non-metallic and coal deposits. Kužvart, M., & Böhmer, M. 1986.
- Near-Surface Geophysics. Butler, J. 2005.

## 3.6 Muestreo

El muestreo es uno de los procesos más delicados en la exploración de minerales, ya que muchas consideraciones económicas se hacen con base en los resultados de los análisis realizados a las muestras. Es necesario planificar cuidadosamente el muestreo de los depósitos de placer de manera que se garantice la representatividad de la muestra y se controlen los posibles errores en su toma, manipulación y análisis.

Una muestra representativa se define como aquella porción que se selecciona de tal modo que haya una gran probabilidad de que contenga todas las partículas, de diferentes tamaños, en la misma relación en que se encuentran en el total del nivel; es decir, que represente la composición cualitativa y cuantitativa de todo el conjunto.

### 3.6.1 Localización de la información

La localización de cada muestra, y del dato de tenor relacionado con la misma, es única en el espacio (a no ser que se trate de muestras duplicadas), por lo que deben tomarse todas las medidas necesarias para garantizar que sus coordenadas en las tres dimensiones tienen la precisión requerida, de manera que puedan emplearse en una posterior estimación de recursos y/o reservas.

La correcta localización de las muestras va de la mano con una topografía debidamente levantada que asegure la mayor precisión posible (numeral 2.8). La localización de las muestras incluye las coordenadas norte y este, la profundidad, intervalo y estrato o capa donde se ubica.

### Recomendaciones

- Emplear un sistema de coordenadas único para la localización de muestras en el proyecto.
- Evaluar la precisión de los sistemas de posicionamiento global (GPS) a emplear en el

proyecto, así como verificar la calibración, configuración y las condiciones operativas de los equipos utilizados.

- Preservar los archivos nativos para la localización de información, en el caso de GPS, mantener tracks y waypoints.
- Registrar el tipo de equipo con el cual se tomaron los datos de localización.
- Marcar cada sitio de toma de información e identificarlo con el código de la estación.
- Registrar los datos de localización de la estación en los formatos definidos para tal fin (análogo o digital).
- Diligenciar la información de localización completamente en campo, apoyado sobre mapas topográficos del área y en caso de realizar algún ajuste, dejarlo descrito en la libreta o formato. Localizar espacialmente las muestras en campo sobre los mapas (impresos o digitales) de manera que se valide la ubicación correcta.
- Dejar registro fotográfico del sitio en el cual se obtiene información.
- Evaluar la opción de verificar la ubicación del punto de muestreo con apoyo de imágenes de sensores remotos.



## Más información

- GWG, Sourced from the Government Geoscience Information Committee, 2017.
- Manual de Suministro y Entrega de la Información Geológica Generada en el Desarrollo de Actividades Mineras. SGC, ANM, 2019.

- Geological Data Integration Techniques. IAEA-TECDOC-472. International Atomic Energy Agency, IAEA, 1988.

### 3.6.2 Aseguramiento y Control de la calidad

#### -QA/QC-

También conocido por sus siglas en inglés como QA/QC (Quality Assurance/Quality Control), corresponde a los protocolos establecidos para los procedimientos involucrados en el muestreo, análisis y almacenamiento de datos en las operaciones mineras que buscan garantizar la veracidad de la información recolectada.

El Aseguramiento de la Calidad (QA) comprende las actividades pre establecidas y sistemáticas que garantizan que un proceso alcanza un grado de calidad aceptable, se establece con el fin de prevenir posibles problemas que puedan ocurrir en un proceso. El Control de la Calidad (QC) tiene como objetivo la detección de problemas que ocurren, aún con protocolos de QA; por lo tanto, el QC permite evaluar la calidad realmente alcanzada con las actividades de aseguramiento de calidad (Simón, 2013).

Una buena práctica es tener una persona responsable del QA/QC, quien define los protocolos para los procesos y actividades que los requieran, coordina el trabajo con laboratorios (interno y/o externo), prepara reportes mensuales sobre el desempeño del QA y propone las acciones correctivas en caso de detección de problemas. Establecer los protocolos relacionados con todas las actividades del muestreo antes de ejecutar dichas actividades, contribuye a la disminución de errores a partir de la anticipación de los mismos.

Normalmente, un programa de QA/QC para muestreo en exploración incluye la utilización de muestras de control, tales como blancos, estándares y duplicados, para detectar la contaminación, exactitud y precisión,

respectivamente, del laboratorio analítico.

En el caso de los depósitos de placer, deben considerarse dos procesos de estimación de los tenores en la muestra: el método tradicional de determinación visual de las partículas de oro (en este caso se entiende como laboratorio primario) y el de ensayos de laboratorio (laboratorio secundario, ver numeral 3.9). En ambos casos deben incluirse muestras de control para garantizar la precisión de los datos, las cuales se registran en las bases de datos, pero se entregan al analista como muestras normales que conforman el lote, para evitar sesgos en los análisis.

### 3.6.2.1 Duplicados

Los duplicados se utilizan para evaluar la precisión de los resultados analíticos, ya sea que provengan de inspección visual o de otros ensayos de laboratorio. Se entiende por precisión la habilidad de repetir consistentemente los resultados de una medición en condiciones similares (Simón, 2013). Debido al alto efecto pepita de las partículas de oro en los depósitos de placer, no se recomienda el cuarteo de las muestras. Los duplicados en este tipo de depósitos, consisten en la toma de doble muestra del mismo estrato, para lo que se debe contar con pozos, trincheras o canales gemelos (Figura 9).

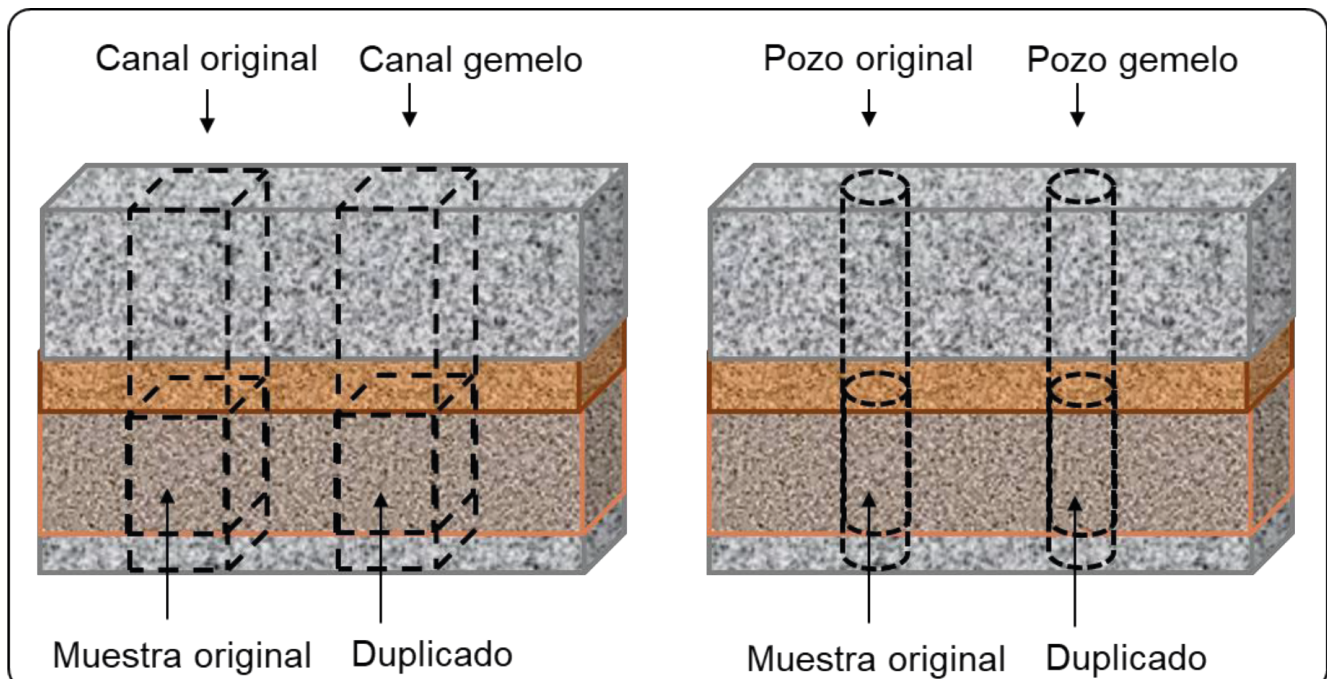


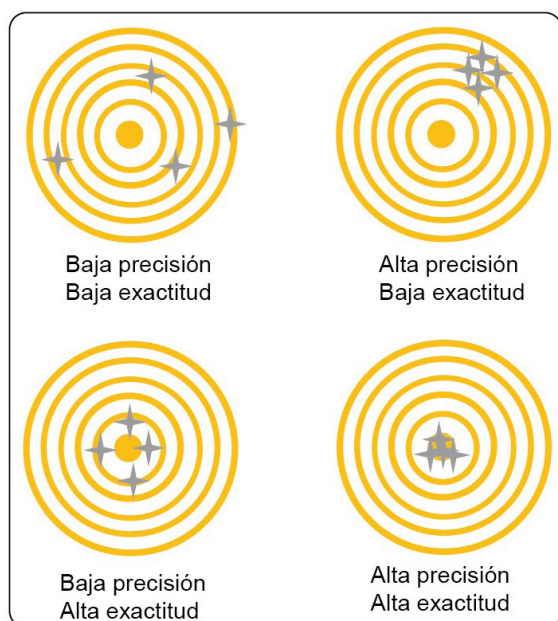
Figura 9. Toma de duplicados en depósitos de placer  
Fuente: autores



### 3.6.2.2 Estándares

Los estándares o Materiales de Referencia Certificados (CRM por sus siglas en inglés), se introducen en los lotes de muestras con el propósito de evaluar la exactitud de los resultados analíticos. Se entiende por exactitud la proximidad de un valor “real” o aceptado como apropiado (Simón, 2013). Los estándares pueden ser especialmente elaborados para depósitos de placer, a partir de materiales similares a los que conforman el depósito, pero sin valores, a los cuales se les agregan partículas de oro de tamaño y forma controlados, de manera que el valor sea conocido. Este proceso debe ser estrictamente controlado y verificado para garantizar la estandarización del material.

Los conceptos de precisión y exactitud se describen gráficamente en la Figura 10.



**Figura 10.** Representación gráfica de los conceptos precisión y exactitud  
Fuente: Simón (2013)

### 3.6.2.3 Blancos

Los blancos tienen por objetivo detectar la posible contaminación que pueda ocurrir en los diferentes pasos de preparación y análisis de la muestra. La contaminación se entiende como la transferencia involuntaria de material de una muestra o del medio circundante a otra muestra (Simón, 2013). Al igual que los estándares, los blancos pueden ser preparados con arenas negras o material similar a la granulometría fina del depósito, que no contengan concentraciones del mineral de interés.

### Recomendaciones

- Diseñar un programa adecuado de QA/QC con sus debidos protocolos.
- Establecer un porcentaje suficiente de muestras de control, en lo posible, incluir al menos una muestra de cada tipo por lote enviado a laboratorio.
- Incluir muestras de control tanto para la inspección visual, como para los análisis realizados en laboratorio.
- Mantener el anonimato de las muestras de control, es decir, el analista o laboratorio no requieren saber si la muestra es normal, estándar, blanco o duplicado.
- Garantizar procesos estandarizados para la preparación de duplicados, blancos y estándares.
- Llevar un adecuado registro de las muestras de control en la base de datos.
- Evitar análisis visuales de contenidos de oro en el mismo sitio de muestreo.
- Revisar y analizar periódicamente los resultados de las muestras de control, de manera que se puedan identificar posibles errores y

proponer ajustes al proceso.

- Generar reportes periódicos de los resultados de exactitud, precisión y contaminación analíticas, que incluyan gráficos de correlación entre resultados de muestras originales y duplicados y de exactitud de los estándares.
- Siempre que sea posible, conservar los concentrados de las muestras y mantenerlos debidamente inventariados y almacenados. Contar con laboratorio primario (para realizar el grueso de los análisis) y secundario (para validar resultados).
- Evaluar la precisión de los laboratorios.
- Documentar los resultados del programa QA/QC, una descripción de los criterios de aprobación/error y las acciones realizadas para abordar los resultados que están fuera de los límites de aprobación/error del programa QA/QC (CIM, 2019).

### 3.6.3 Diseño de muestreo

Los depósitos de placer presentan una configuración geológica relativamente simple en comparación con otro tipo de depósitos; sin embargo, el muestreo de estos materiales puede representar un reto debido a la variabilidad en la granulometría (Figura 11), al tamaño, peso, forma y distribución errática de las partículas de interés económico y a la naturaleza no compacta de las gravas y arenas. Además, las muestras deben ser equiprobables y representativas del nivel estratigráfico que se pretende caracterizar.

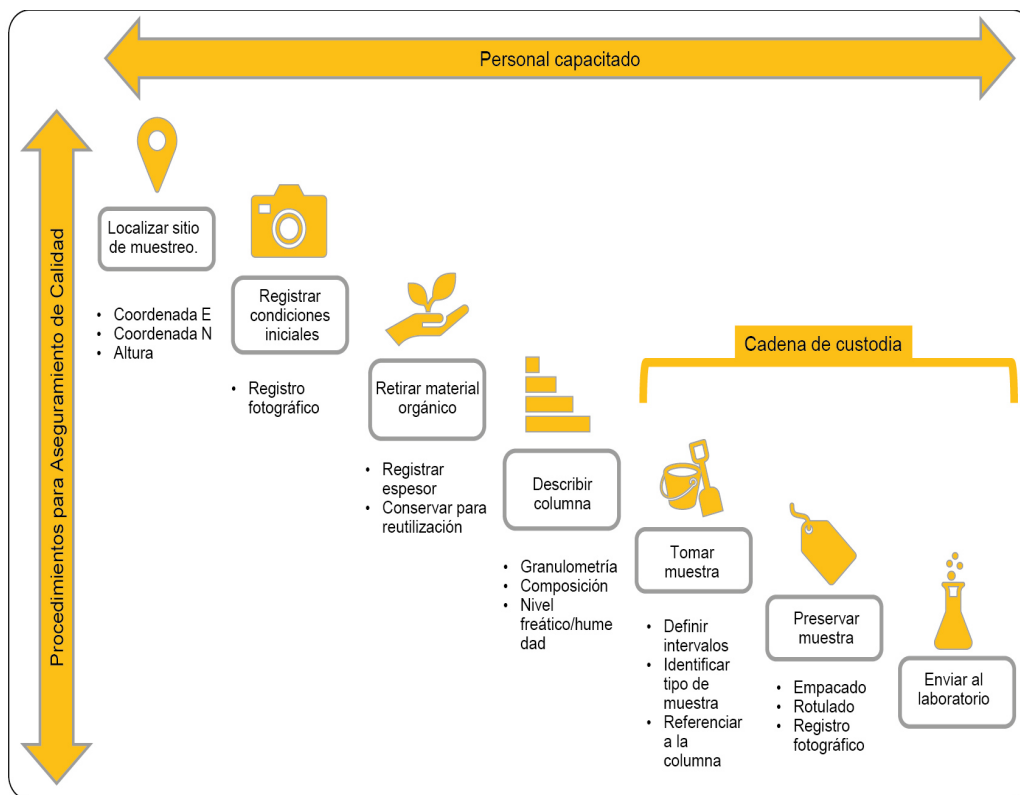
Para asumir este reto, el diseño del muestreo es una herramienta fundamental que ayuda a obtener resultados con mejor control, para dicho diseño se recomienda definir algunos puntos

clave como son:

- Objetivo del muestreo
- Tipo de muestra requerida
- Zonas / intervalos a muestrear y malla propuesta
- Datos a tomar para cada muestra
- Procedimientos de recolección de datos
- Equipos a emplear durante el muestreo
- Método de análisis



**Figura 11.** Amplia variación en el tamaño de grano en un depósito de placer  
Fuente: autores



**Figura 12.** Consideraciones importantes para la toma de muestras  
Fuente: autor

En la Figura 12 se presenta un flujograma con algunos ítems importantes que se recomienda considerar en la ejecución de un muestreo.

### Recomendaciones

- Plantear una toma de muestras que sea representativa para el área del depósito y acorde con la fase de trabajo del proyecto.
- Seleccionar una técnica de muestreo acorde con las características específicas del yacimiento.
- Rotular las muestras de manera clara, que permita identificarla sin lugar a equivocaciones. Dicho rótulo debe realizarse en material que sea perdurable, resistente al agua y que no se borre, es conveniente pegarlo al menos en dos sitios diferentes del empaque.

### 3.6.3.1 Número y tamaño de las muestras

No hay una fórmula o regla específica que indique la cantidad y tamaño de las muestras a tomar en un depósito de placer, ya que estos aspectos pueden variar de un área a otra.

La cantidad de muestras dependerá del propósito del muestreo, ya que en etapas de evaluación inicial puede bastar con un número reducido de muestras para validar el interés en el área, mientras que en una exploración detallada deberá incrementarse dicho número; además, parámetros tales como el tamaño del área, la distribución de los materiales y partículas de interés (homogénea o heterogénea, isotrópica o anisotrópica), el espesor de los estratos mineralizados, entre otros, también determinan el número y tamaño de las muestras.

## Más información

- Placer Examination: Principles and Practice. Wells, J. H. 1989.
- Placer Deposits. Spring, Leroux, Bere-zowski, & Dumouchel, Canadian Institute of Mining, 2003.
- Introducción al Muestreo Minero. Alfaro Sironvalle M. A., 2002.
- Essentials of Mineral Exploration and Evaluation. Chapter 9 - Sampling and Analysis. Gandhi & Sarkar. Elsevier, 2016.
- Técnicas mineralógicas, químicas y metalúrgicas para la caracterización de menas auríferas. Guía metodológica. Londoño Escobar, y otros. INGEOMINAS, 2010.

los minerales pesados (Figura 13), a este concentrado se le realizan los análisis seleccionados.

### 3.6.4.1 Cateos

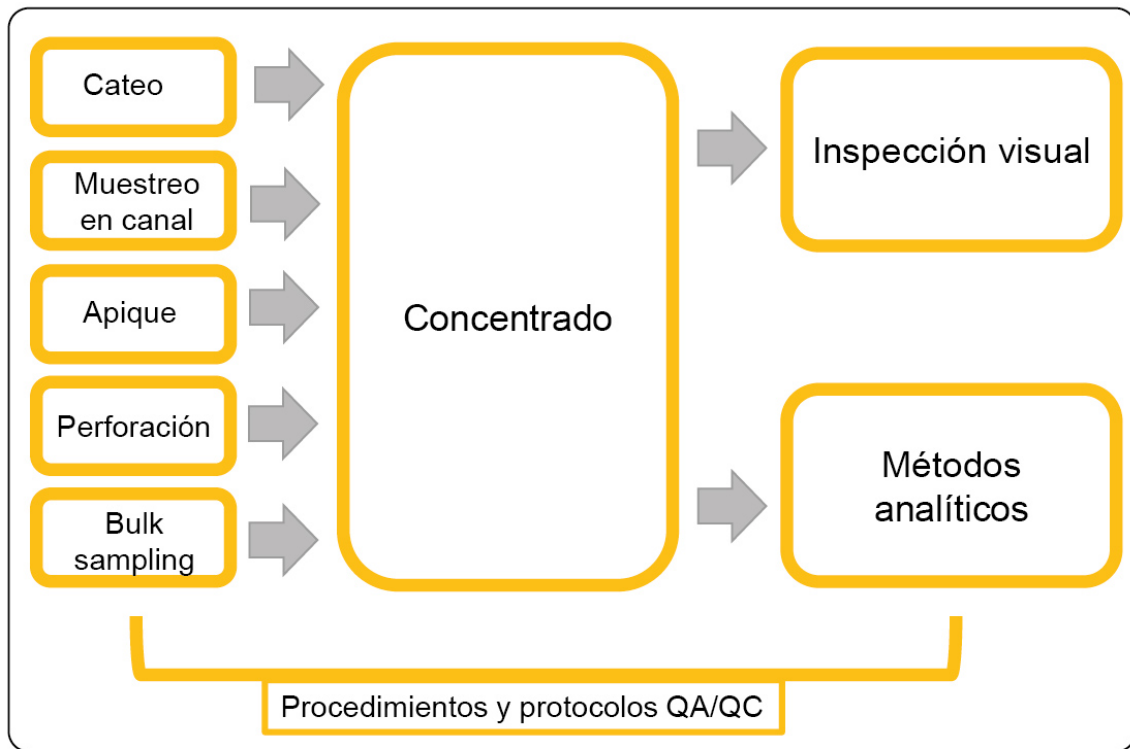
Este nombre se usa comúnmente para referirse al tipo de muestreo que se lleva a cabo en las etapas de prospección, el cual implica la selección aleatoria de sitios con posibilidad de albergar mineralización de depósitos de placer, para identificar de manera rápida la presencia de minerales de interés. Este método es manual y consiste en la toma de muestras de gravas y arenas con el uso de pala o una herramienta similar, el material extraído se lava para separar las partículas más gruesas y livianas, de las más finas y pesadas. El concentrado obtenido se inspecciona visualmente para determinar si contiene partículas de oro (Figura 14).

### 3.6.4 Métodos de muestreo

El profesional líder debe establecer si el muestreo a realizar es aleatorio o sistemático. Acorde con la etapa en que se encuentre el proyecto (prospección o exploración), puede emplearse un tipo de muestreo en particular; así, en etapas de prospección puede desarrollarse un muestreo aleatorio, y en la medida que avance el proyecto se debería migrar a un muestreo sistemático que tenga en cuenta la estratificación.

Una vez definido el tipo de muestreo, existen diferentes métodos aplicables a los depósitos de placer, tales como cateos, muestreos en canal, en apiques, de perforaciones y muestreo en masa o bulk sampling.

Los anteriores métodos tienen como finalidad recolectar un volumen de material para ser evaluado; sin embargo, independientemente del tipo de muestreo aplicado, dichos volúmenes deben pasar por un proceso de concentración de



**Figura 13.** Obtención de concentrados para análisis de laboratorio  
Fuente: autores



**Figura 14.** Resultado de cateo para evaluación de un depósito aluvial. (Sur de Bolívar)  
Fuente: autores

Los cateos son una buena guía para orientar los trabajos detallados hacia las zonas donde se haya identificado la presencia de oro o el mineral de interés; sin embargo, los datos de los cateos no se usan en la estimación de recursos y reservas.

### 3.6.4.2 Muestreo en canal

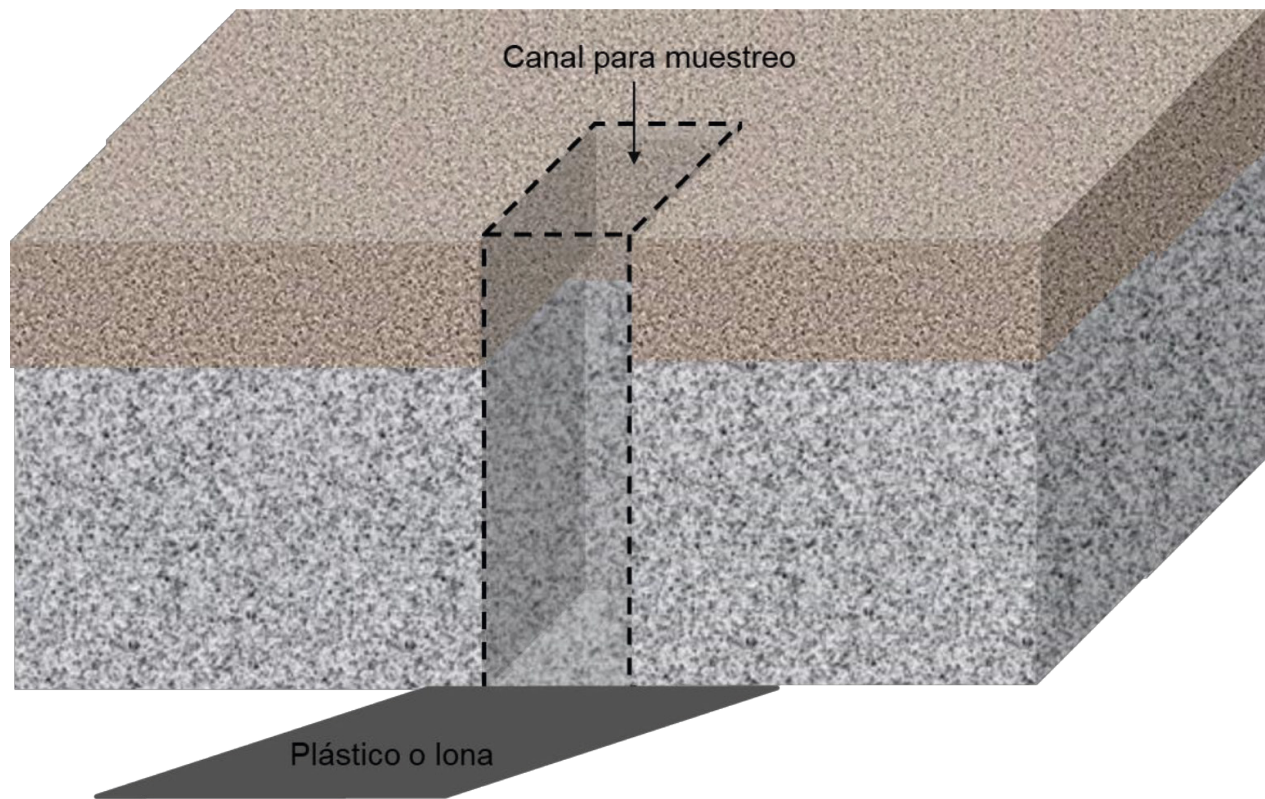
Este tipo de muestreo se realiza en frentes de terrazas o en los aluviales expuestos. Normalmente se ejecuta en las primeras etapas de exploración y consiste en el trazado de un canal de dimensiones similares a lo largo de toda la exposición. De acuerdo con la distribución de los estratos, la granulometría y las dimensiones del canal, se pueden tomar muestras de intervalos específicos o se pueden crear muestras compuestas por diferentes incrementos de distintos intervalos.

El muestreo en canal tiene la desventaja de que depende de la cantidad de exposiciones que haya en el lugar y esto puede limitar la cantidad de muestras. Adicionalmente, es posible que no se encuentre expuesto todo el depósito de placer, por lo que la interpretación de los resultados debe hacerse con sumo cuidado (Wells, 1989). Un procedimiento general de muestreo en afloramiento se describe a continuación:

- Delimitar un “canal” con líneas paralelas que unan la superficie del terreno y el piso de la zona a ser muestreada o en una dirección determinada de acuerdo con el tipo de depósito y al objetivo de la investigación, el ancho del canal es una variable que se determina con el tipo de depósito y el tipo de análisis (Figura 15).
- Registrar las dimensiones del canal y estimar el volumen esperado.
- En el canal delimitado se limpian las zonas de alteración superficial y las impurezas orgánicas retirando la primera capa, hasta encontrar el material sin contaminación orgánica (raíces, lama, oxidaciones

superficiales, materia orgánica entre otros).

- Con pala, martillo, barras o barretones se rompe el cuerpo de material de manera continua formando el canal, la profundidad es variable y debe ser definida por el profesional encargado del muestreo.
- En el piso se ubican lonas o bolsas plásticas de tamaño suficiente en donde caen todos los componentes del depósito, evitando la contaminación.



**Figura 15.** Esquema de muestreo en canal de aluvión  
Fuente: autores

### 3.6.4.3 Muestreo en apiques/trincheras

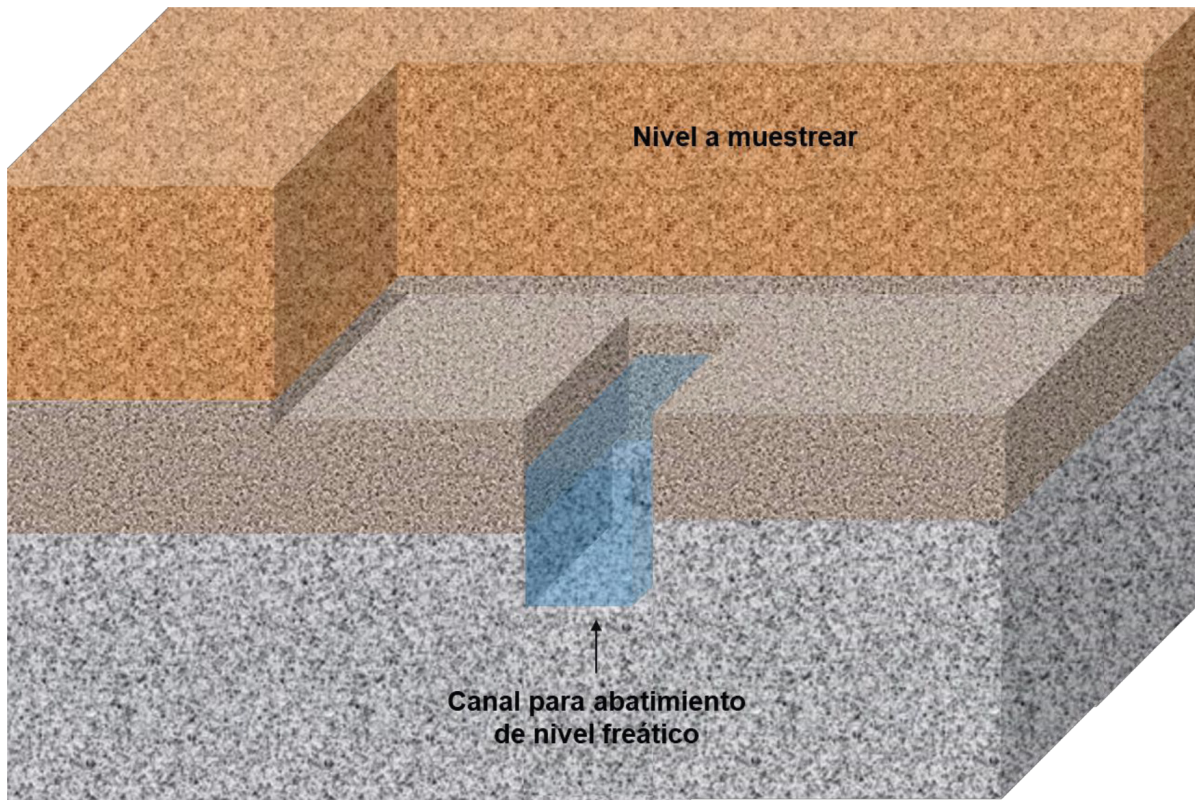
Los apiques se utilizan de forma común para acceder a zonas poco profundas. Estas obras pueden realizarse de forma manual o con retroexcavadora, en cualquier caso, debe tenerse en cuenta la seguridad de las personas involucradas en el proceso. A partir de las trincheras y apiques pueden tomarse muestras representativas de los depósitos de placer y obtener una descripción de las granulometrías en el depósito.

En los depósitos de placer con presencia de agua, es importante realizar el abatimiento de los niveles freáticos para tomar la muestra sin dificultades, en la Figura 16 se muestra un esquema de muestreo que permite realizar dicho abatimiento.

### 3.6.4.4 Muestreo de perforaciones

Las perforaciones se utilizan para acceder a zonas más profundas del depósito que no pueden ser caracterizadas con trabajos de superficie. Generalmente, se toma una muestra por cada avance de la perforación, a la cual se le asigna un volumen teórico, determinado por el diámetro de la zapata, este volumen se compara con el volumen real de la muestra para realizar las debidas correcciones (ver numeral 3.8), las cuales pueden ser positivas o negativas. Cada muestra debe ser lavada y concentrada para separar la fracción fina de la gruesa.

Debido a que el material recuperado es suelto y sufre un desconfinamiento al ser removido de su sitio original, se recomienda tomar todas las medidas necesarias para evitar contaminación y pérdidas durante el proceso de extracción del núcleo.



**Figura 16.** Esquema de muestreo en apique con presencia de agua  
Fuente: autores

### 3.6.4.5 Muestreo en Masa (Bulk sampling)

El muestreo en masa o bulk sampling se hace con el fin de tener un volumen de muestra suficientemente representativa del depósito que permita caracterizar la granulometría y composición de los sedimentos con mayor aproximación, a través de una simulación de procesamiento en planta. Este tipo de muestreo permite comparar los resultados obtenidos en el muestreo de pozos y evaluar las condiciones requeridas de la planta de beneficio.

La selección del sitio para realizar el muestreo en masa, debe hacerse sin sesgo alguno, es decir, no debe ejecutarse en las áreas donde se tiene mayor concentración de valores, ya que esto daría una idea errada de la posible recuperación.

Este muestreo es adecuado para sectores donde

hay presencia de granulometría gruesa (bloques) que dificulta el movimiento de material para la toma de muestras.

### Recomendaciones

- Adecuar el espacio para el manejo de la muestra.
- Considerar la posibilidad de realizar algunos muestreos en masa, de manera que se evite el sesgo asociado a muestras pequeñas.
- Tomar las acciones necesarias para evitar pérdida y contaminación de la muestra.
- Disponer de toda la documentación e insumos necesarios para registrar los datos e identificar las muestras (formatos, rótulos).



- Las herramientas para toma de muestras deben estar limpias, de manera que no haya riesgo de contaminación.
- Por las condiciones de los depósitos aluviales, es importante mantener la reserva de los resultados obtenidos en campo, en cuanto a estratos pagadores y contenidos de oro y restringirla solo a los miembros del equipo que deban conocer dicha información.
- Medir los volúmenes de muestra tomada y realizar las correcciones pertinentes.
- Estimar el volumen esperado de muestra.
- Describir la metodología para las correcciones por volumen.
- Capacitar al personal en toma de muestras.

## Más información

- Placer Examination: Principles and Practice. Wells, J. H. 1989.
- Placer gold sampling—The overall measurement error using gravity concentration on particle size ranges during sample treatment. Brochot & Mounié. TOS Forum, 5(1), 43-50, 2015.
- Sample size and Meaningful Gold Analysis. H. Edward (1969)

## 3.7 Cadena de custodia

La cadena de custodia corresponde al conjunto de medidas y procedimientos que deben adoptarse para garantizar la integridad de las muestras y sus resultados, desde la toma en campo hasta su transporte y entrega al laboratorio. Se considera que una muestra está bajo custodia cuando se conocen el responsable, el estado y la ubicación de la misma.

En la cadena de custodia deben establecerse de manera clara los roles y responsabilidades de los actores involucrados en las diferentes etapas, incluyendo toma, envío, transporte y entrega de muestras al laboratorio.

Una cadena de custodia cumplida de manera adecuada, permite generar confianza respecto a que los resultados que se obtengan no han sido influenciados por manejos inadecuados.

La cadena de custodia se plasma en protocolos que incluyen, entre otros, los formatos para registro de los responsables de la muestra en cada tramo, las condiciones que debe cumplir el empaque para asegurar la integridad de la muestra, el formato de requerimiento al laboratorio analítico y, en caso de que sean necesarios, los sellos de seguridad que deben llevar las muestras individuales o los lotes.

Un formato de cadena de custodia deberá incluir, como mínimo la fecha del procedimiento, el consecutivo de las muestras del lote, el sello de seguridad del lote (en caso de que lo hubiere), la cantidad de muestras que componen el lote, el nombre y firma de quien entrega y quien recibe la muestra y el lugar donde se entrega la muestra.

### Recomendaciones

- Se recomienda que cada responsable de recibir y entregar las muestras, verifique la cantidad de unidades recibidas y entregadas, la integridad de los empaques y de los sellos de seguridad (si los hay)

y la coherencia entre los datos de los formatos de transporte y requerimiento de laboratorio.

- Concientizar al personal relacionado con el manejo de las muestras, acerca de la importancia de la cadena de custodia y de su impacto en la confiabilidad de los resultados.
- Identificar los diferentes recorridos que hace la muestra, la susceptibilidad a la contaminación en cada paso y las diferentes medidas a tomar para asegurar su integridad.
- Cuando sea necesario, utilizar sellos de seguridad para el transporte de muestras en los diferentes recorridos.
- Registrar el nombre y firma de todas las personas involucradas en la manipulación y transporte de las muestras, en formatos diseñados para tal fin y almacenar debidamente dichos formatos (ver numeral 2.11) como parte del seguimiento del recorrido de la muestra.

## Más información

- Manual del Sistema de Cadena de Custodia. Versión 4. Fiscalía General de la Nación, 2018.
- Sample and Evidence Management. Environmental Protection Agency, EPA, U.S, 2016.

### 3.7.1 Preservación de muestras

Es importante conservar los concentrados para futuras verificaciones de datos, re-ensayos o auditorías, para establecer muestras tipo que

permitan identificar minerales indicadores y variaciones en la mineralogía, para el diseño, selección y ajuste de los equipos de recuperación, entre otras aplicaciones. Algunos de los parámetros que se pueden verificar en los concentrados son: los rangos de tamaños de oro, otros minerales acompañantes, gravedad específica de los diferentes minerales, entre otros.

Se recomienda la conservación de muestras representativas de los diferentes rangos de tamaño, forma y peso de las partículas de oro, para elaborar y actualizar las tablas de colores y al igual que las muestras de concentrados, para diseñar, seleccionar y ajustar los equipos de recuperación.

El profesional líder debe asegurarse que el proyecto cuente con un lugar adecuado para el almacenamiento de los diferentes tipos de muestras, que las mismas se guarden ordenadamente y que se lleve un inventario apropiado.

## 3.8 Técnicas de perforación

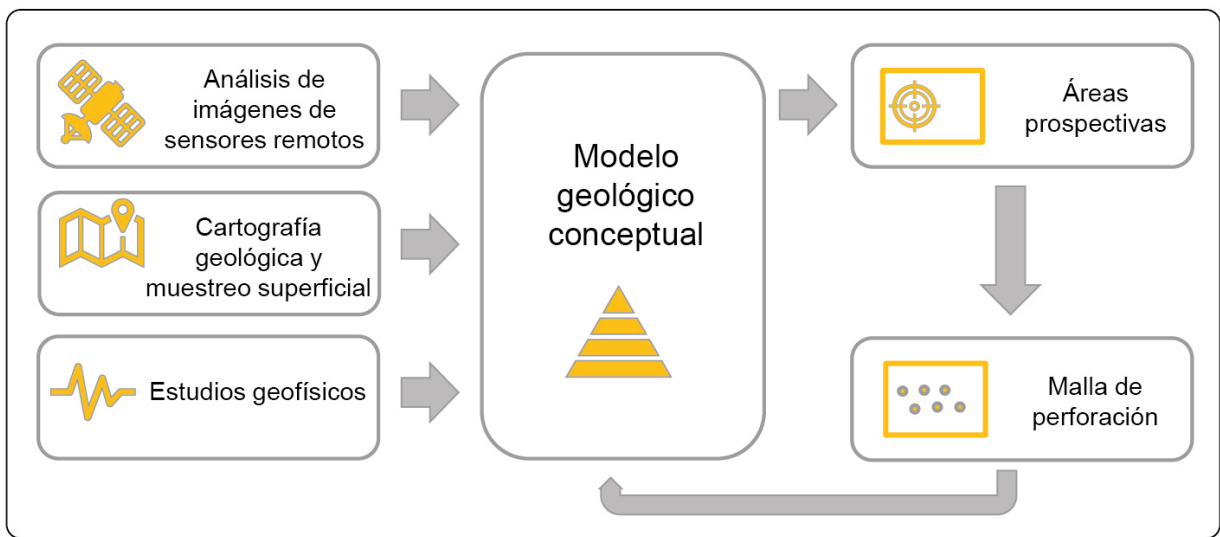
La exploración del subsuelo es necesaria para conocer la información de la profundidad de los estratos, su espesor, las variaciones granulométricas y litológicas, los contenidos del mineral de interés y la continuidad del depósito, así como la disposición de las diferentes capas de material. Para obtener estos datos, las perforaciones son uno de los métodos más adecuados ya que permiten acceder a profundidades que no sería posible alcanzar con otros métodos. Para optimizar las perforaciones, se diseña una malla que cubra el área a explorar.

Para diseñar la malla de perforación, debe tenerse en cuenta la información geológica, geofísica y de muestreos superficiales realizados en las etapas anteriores, con dicha información se establece un modelo geológico conceptual que permita delimitar las áreas de mayor interés (Figura 17), en las cuales se han de concentrar las perforaciones. Las primeras perforaciones

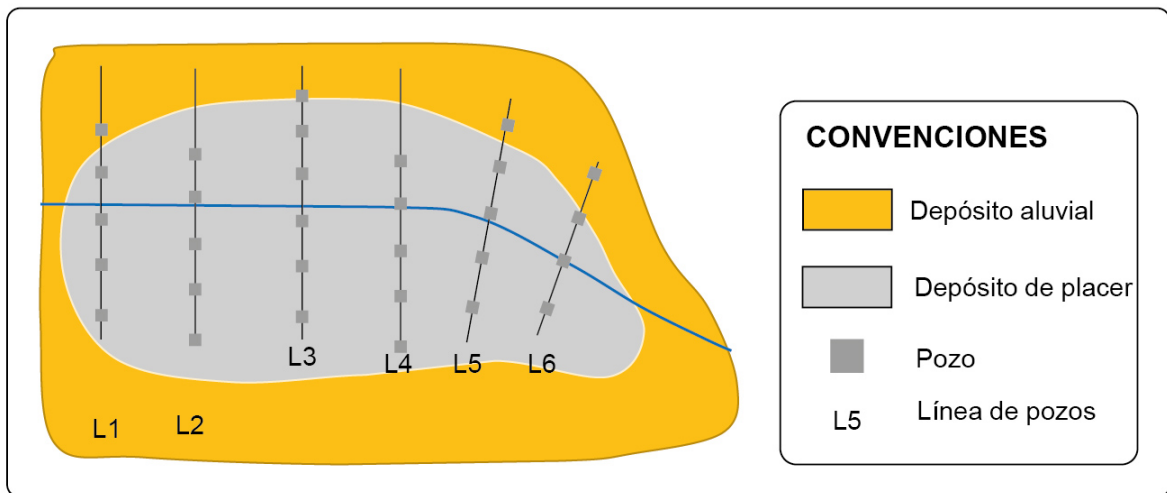
pueden iniciar con distanciamientos irregulares que permitan verificar la aproximación del modelo propuesto y posteriormente se puede regularizar la distribución y cerrar la malla, según van dando los resultados.

La ubicación espacial del sitio de perforación con sus coordenadas este, norte y profundidad debe tener la mayor precisión posible, pues los datos obtenidos de las perforaciones requieren de un correcto amarre espacial para brindar confianza en los datos y estimaciones.

En depósitos de placer se recomienda definir líneas perpendiculares al cauce principal (o paleocauce) que se está evaluando, sobre las cuales se ubican las perforaciones a la distancia determinada (Figura 18). El profesional líder debe establecer la separación entre las líneas de perforación y entre perforaciones, de manera que se optimicen los recursos económicos y se obtenga información confiable para la estimación de recursos.



**Figura 17.** Esquema del proceso para definir zonas de perforación  
Fuente: autores



**Figura 18.** Localización de líneas de perforación respecto al cauce principal  
Fuente: Modificado de Villegas & A, 2009

## Recomendaciones

- Materializar los sitios de perforación por medio de mojones
- Identificar los permisos y guías ambientales a seguir en la ubicación de plataformas de perforación.
- Gestionar permisos con comunidad y corporaciones ambientales con suficiente tiempo, de manera que no se generen dificultades o retrasos en las actividades de perforación.
- Constatar el sitio de perforación antes de proceder con la misma, para comprobar que los equipos están en la localización correcta para realizar la operación.
- Realizar un registro fotográfico del sitio de perforación, antes, durante y después de la perforación. También se recomienda tener fotografías de las muestras obtenidas de cada intervalo.
- Documentar la presencia de materiales extraños como residuos vegetales y otras sustancias orgánicas pues pueden causar problemas de detección.
- Contar con un sistema de bombeo para controlar el agua.

### Más información

- Essentials of Mineral Exploration and Evaluation. Chapter 8. Drilling. Gandhi, S., & Sarkar, B. Elsevier, 2016.
- Guía Minero-Ambiental. 1 Exploración. Ministerio de Minas y Energía - Ministerio del Medio Ambiente, 2001.

## 3.8.1 Tipos de taladros

Un aspecto muy importante en las perforaciones es el equipo seleccionado, comúnmente se utilizan taladros mecánicos o sónicos, el profesional líder debe conocer las ventajas y desventajas de cada tipo de taladro, así como las implicaciones económicas en cada caso para, con base en ello, escoger el equipo más conveniente para el proyecto.

### 3.8.1.1 Taladros de percusión

Los taladros de percusión son los más utilizados para perforación de aluviones auríferos, los más conocidos son los Ward y Missilland, este último es una modificación de los taladros tipo Fairbanks. Los datos de cada avance de las perforaciones con estos taladros deben ser sometidos a diferentes correcciones para obtener el tenor más cercano al hallado in situ; las ecuaciones de corrección se utilizan normalmente para este propósito.

Cuando la tubería con el zapato penetra en la formación, teóricamente, el extremo cortante del zapato corta una muestra cilíndrica de material, el cual es forzado dentro y hacia arriba del tubo. Como el diámetro interior de la tubería es más pequeño que el diámetro exterior del zapato, la subida o altura teórica de corazón o núcleo por unidad de avance en la tubería está en proporción directa a la relación de los cuadrados de los dos radios. Esta relación es lo que se llama Factor de Corazón (Cadavid R ,1998) y se requiere para aplicar las ecuaciones de corrección. El factor de corazón se calcula como se indica en la Ecuación 1:

#### Ecuación 1

Factor de Corazón (FC)=(Área exterior del zapato ( $\varnothing$  ext.zapato<sup>2</sup>)/(Área interior tubería ( $\varnothing$  int.tubería)<sup>2</sup>)

Al multiplicar el valor de la relación anterior por el valor de cada avance, se obtiene la longitud de subida del material dentro de la tubería, esto se

expresa así:

$$\text{Subida} = \text{Avance} \times \text{FC}$$

En la Tabla 3 se muestran los factores de subida para los taladros de percusión.

**Tabla 3.** Factores y subidas teóricas de los taladros de percusión más comunes

Tipo de taladro	Factor de corazón (m)	Subida teórica (m) para un avance de 0,5m
Ward	1,83	0,915
Missiland	1,63	0,815

Una vez se tiene el factor de corazón, se realiza la corrección del oro estimado para cada avance, la cual se calcula con la Ecuación 2 :

#### Ecuación 2

Corrección de oro (mg)=(Valor estimado de oro ×subida teórica)/(Diferencia de bombeo,antes y despúes)-valor estimado de oro

Esta corrección arroja tanto valores negativos como positivos que son descontados o sumados del tenor de cada avance. Los valores negativos indican que durante la perforación entra en la tubería mayor cantidad de muestra que la esperada (cuando los valores son muy negativos indican que ha entrado tanto material, que la muestra no es representativa del avance porque ha entrado material contaminante y por lo tanto el valor de oro es casi cero). Se debe anotar que cuando los valores resultantes de corrección de oro exceden el 100% del valor de oro estimado, éste se limitará al máximo del valor del oro estimado.

Teniendo en cuenta que en los registros de campo se toman los colores (tamaños) para cada avance de un pozo, se puede obtener el valor de oro estimado en miligramos, pero hay que resaltar que el valor reportado por el laboratorio de ensayo al fuego, es un valor total para la sección de la columna estratigráfica de cada pozo, por ello hay que encontrar una relación entre el

valor real y el estimado que permita acercar el valor estimado al valor reportado por el laboratorio, dicha relación será multiplicada por el valor de oro estimado más su corrección para obtener el tenor por avance. Lo anterior se puede expresar como:

$$\text{Corrección por avance (mg)} = ((\text{Oro laboratorio} / \text{Oro estimado}) * (\text{Oro Estimado} + \text{Corrección}))$$

Después de realizar las correspondientes correcciones a los miligramos de oro por avances, se puede calcular el tenor aplicando la Ecuación 3.

#### Ecuación 3

$$\text{Tenor (mg/m}^3\text{)} = (\text{Corrección de oro en mg}) / ((\text{Avance en m} / 95 \text{ (m/m}^3\text{))})$$

El valor de 95 (m/m<sup>3</sup>), es un factor que se aplica en la ecuación tenor para obtener la cantidad de oro en un metro cúbico y resulta del siguiente razonamiento:

Primero se debe hallar el volumen para un metro de subida en un tubo de 4¼' de diámetro, para ello se aplica la ecuación de volumen para un cilindro, como se muestra en las siguientes líneas:

$$V = \pi R^2 H$$

Donde,

V: Volumen del cilindro

R: Radio

H: Altura del cilindro

Se tiene entonces,

$$V = 0,009162m^3$$

Este volumen es para un metro de subida pero estadísticamente, la subida promedio es 1,15, por lo tanto hay que hallar el volumen para un cilindro de 1,15m de altura, que se obtiene, multiplicando el valor hallado anteriormente por la altura del nuevo cilindro, así.

$$V: 0,009162 * 1,15 = 0,01053m^3$$

Para hallar la relación ( $m/m^3$ ) es suficiente realizar una simple relación, que involucre el valor de subida que se necesita para completar un metro cúbico de muestra.

### 3.8.1.2 Taladros Roto Sónicos

Los taladros Roto Sónicos son una tecnología implementada para la perforación de aluviones auríferos, estos penetran a la formación mediante la aplicación de una onda de alta frecuencia que hace que el encamisado y la tubería entren con mayor facilidad y rapidez; a diferencia de los taladros de percusión éstos no recuperan la muestra mediante bombeo sino mediante la extracción del tubo muestreador (barrena), este sistema permite observar un núcleo (core) cuando el material está consolidado (Figura 19).

Para los datos obtenidos de las perforaciones de los taladros roto sónicos también debe hacerse la corrección del oro estimado visualmente como se muestra en la siguiente ecuación:

Corrección de oro (mg) = ((Avance en metros / Recuperación en metros) × oro estimado en gramos) - valor estimado de oro en gramos



**Figura 19.** Núcleo de perforación con taladro Roto Sónico  
Fuente: autores

La ecuación anterior muestra que para corregir el oro estimado se debe tener en cuenta la relación entre metraje perforado y la recuperación obtenida para ese avance. De la ecuación se deduce que si la recuperación es alta, la corrección para el oro estimado será un valor negativo que es descontado del tenor total.

Para la corrección de oro por avance se utiliza el mismo camino que el utilizado para los taladros de percusión siguiendo la misma lógica que se utilizó para deducir la ecuación.

Corrección por avance (mg) = (Oro real/Oro estimado)\*(Oro Estimado + Corrección)

Después de realizar las correspondientes correcciones a los miligramos de oro por avances, se puede calcular el tenor (Ecuación 4).

#### Ecuación 4

Los factores aplicados en cada ecuación se obtienen de calcular los volúmenes teóricos para un metro de sección y posteriormente de calcular el valor de subida para completar un metro cúbico.

#### Recomendaciones

- Utilizar correcciones con moderación (si es que lo hace) y repetir perforaciones/apiques para los datos que parezcan dudosos.



### Más información

- Manual de exploración y evaluación de aluviones. Cadavid R. 1998

### 3.8.2 Registro de información o logueo

Las perforaciones, apiques y demás obras requeridas para adquirir datos, son métodos que implican una inversión y un esfuerzo, por lo cual, vale la pena registrar la mayor cantidad de datos posible que pueden encontrarse en estas obras.

El registro de información, también conocido como logueo, es necesario para la estimación de recursos y reservas. Éste debe incluir una descripción cuidadosa y detallada de los estratos identificados a lo largo de la perforación. El registro de cada sitio caracterizado permite establecer correlaciones entre los diferentes estratos sedimentarios con los cuales se genera la geometría del depósito y se realizan las estimaciones subsecuentes.

Para garantizar un registro completo, se recomienda diseñar formatos de captura de datos que sean acordes con el tipo de obra (trinchera, apique, perforación), así como elaborar los protocolos necesarios (ver numeral 2.9). Los formatos diligenciados y la información capturada en los mismos deben ser almacenados correctamente (ver numeral 2.11).

La información básica que se obtiene de apiques, trincheras o perforaciones incluye el identificador de la obra, la localización (coordenadas, E, N y cota), longitud, profundidad, dimensiones de la obra (diámetro en el caso de perforaciones), espesor de estratos, granulometría, composición, presencia del mineral de interés, identificación de las muestras tomadas, entre otros.

#### Recomendaciones

- Contar con procedimientos y protocolos para la descripción de los apiques, trincheras o perforaciones.
- Contar con simbología y tablas de referencia estandarizadas para registrar las características de los estratos y los sedimentos.

- Almacenar adecuadamente la información adquirida y establecer una periodicidad de alimentación de la base de datos.



## Más información

- Essentials of Mineral Exploration and Evaluation. Chapter 9. Sampling and Analysis. Gandhi, S., & Sarkar, B. Elsevier, 2016.

## 3.9 Métodos analíticos

Como se menciona en el numeral 3.6, el muestreo es uno de los procesos más delicados en la exploración de minerales, ya que muchas consideraciones económicas se hacen con base en los resultados de los análisis realizados a las muestras; por esta razón, la selección del método analítico más conveniente debe hacerse teniendo en cuenta la confiabilidad del resultado que arroja.

Para superar la dificultad de determinar los tenores de oro (o de otros minerales pesados) en los depósitos de placer, es recomendable realizar varios análisis en conjunto con el fin de disminuir la incertidumbre que puedan tener los datos. A continuación, se presentan algunos de los métodos analíticos aplicables a las muestras de depósitos de placer.

### 3.9.1 Granulometría

El análisis granulométrico de los sedimentos encontrados en los depósitos de placer tiene dos objetivos. Por un lado, el conocimiento de los tamaños de partículas presentes en el depósito y de sus porcentajes facilita el planeamiento de la producción, ya que con estos datos pueden seleccionarse los equipos más adecuados para transporte y beneficio del material. Por otro lado, la identificación de los tamaños y formas de las partículas de oro, es determinante para el diseño

del proceso de beneficio y de las instalaciones para su procesamiento.

### 3.9.2 Determinación del peso con balanza de precisión

Las partículas de oro (o plata o platino) contenidas en el concentrado de minerales pesados o arenas negras, pueden ser separadas para determinar el peso en una balanza de precisión. Este método ofrece un dato cualitativo más confiable; sin embargo, implica la separación de las partículas de oro, lo cual puede ser complejo para los tamaños muy finos.

### 3.9.3 Determinación visual con base en la Tabla de Colores

Se conoce como Tabla de Colores a una tabla de referencia que contiene diferentes rangos de tamaño de partículas de oro a los cuales se les ha asignado un peso promedio por partícula (Figura 20) a partir de la medición del peso de una población de partículas. Ésta se utiliza para estimar visualmente el contenido de oro en miligramos, al comparar las partículas presentes en la muestra con las clasificaciones de la tabla. El tenor de la muestra se reporta en miligramos por metro cúbico ( $\text{mg}/\text{m}^3$ ) al hacer la relación del volumen extraído para obtener los miligramos de oro.

La Tabla de Colores debe ser elaborada para cada depósito en particular, pues las características de peso, forma, tamaño y ley del oro, varían de región en región. Si bien este método ofrece una aproximación al contenido de oro en el concentrado de la muestra, los datos deben tomarse con precaución ya que, por tratarse de una apreciación visual (método semi-cuantitativo, Figura 21), es posible que se cometan errores en la observación.

La Oficina de Gestión de Tierras, del Departamento del Interior de Estados Unidos (United States Department of the Interior, Bureau of Land



Management BLM, 2006) recomienda realizar una Tabla de Colores cada 10 acres (4 ha aproximadamente) con el fin de incluir los posibles cambios en la granulometría y características de las partículas de oro.

Como se menciona en el numeral 3.6.2, siempre es recomendable implementar un método de confirmación del dato, el cual puede ser cualquiera o varios de los análisis de laboratorio o el uso de microscopio como complemento a la caracterización de la fracción más fina de la muestra. Además, se deben insertar muestras de control en los lotes evaluados mediante inspección visual con Tabla de Colores.

### Recomendaciones

- Elaborar una Tabla de Colores propia para el proyecto que incluya todos los rangos de tamaño representativos del depósito.
- Implementar las medidas necesarias para disminuir el sesgo del método, ya que éste es semi-cuantitativo y es propenso a errores humanos.
- Actualizar la Tabla de Colores según el avance a lo largo del depósito o de acuerdo con la producción.
- Insertar muestras de control en los lotes evaluados por observación visual.

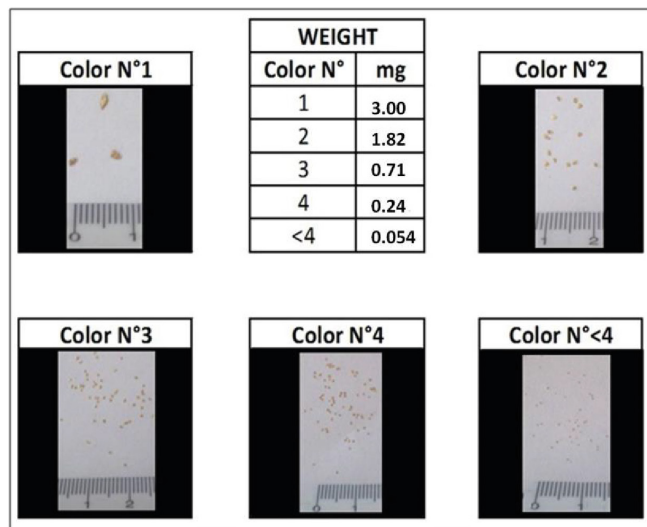


Figura 20. Ejemplo de Tabla de Colores  
Fuente: autores

### 3.9.4 Microscopía electrónica

El conteo de granos con microscopio electrónico es un método que no requiere de un observador ya que los granos se cuantifican de manera automática. Este método incluye un proceso de concentración, tamizado, conteo y caracterización de partículas. El concentrado se tamiza para separar dos fracciones,  $>50 \mu\text{m}$  y  $<50 \mu\text{m}$ . Los granos  $>50 \mu\text{m}$  se llevan a un chequeo óptico con estereomicroscopio y son fotografiados y caracterizados.



Figura 21. Estimación visual de partículas de oro  
Fuente: autores

Los granos  $<50 \mu\text{m}$  se analizan en un microscopio electrónico con un detector de electrones esparcido, el cual identifica espectralmente los granos para clasificar los minerales, de los granos de oro se obtiene una imagen magnificada para caracterización y determinación de la forma (resumido y traducido de [www.iosgeo.com](http://www.iosgeo.com)).

### 3.9.5 Ensayo al fuego

El ensayo al fuego es una técnica ampliamente utilizada para la determinación de contenidos de oro y plata. La técnica consta de tres etapas, en la primera se funde la muestra en presencia de varios químicos como el óxido de plomo II ( $\text{PbO}$ ), carbón y otros, para formar una fase metálica con plomo, en la segunda se recupera el oro del plomo y en la tercera se realiza la cuantificación del oro (Ghosh et al., 2019).

Las muestras de concentrado de depósitos de placer sometidas a ensayo al fuego, no deben ser cuarteadas en el laboratorio, la muestra debe ser fundida en su totalidad.

Es importante tener claro que los resultados de ensayo al fuego para muestras de depósitos de placer no deben interpretarse como el tenor de la muestra, principalmente por dos razones. En primer lugar, las unidades del ensayo, generalmente en gramos por tonelada ( $\text{g/t}$ ), no son directamente correlacionables con las unidades de tenor de los depósitos de placer, que son comúnmente miligramos o gramos por metro cúbico ( $\text{mg/m}^3$  o  $\text{g/m}^3$ ) por lo tanto, el dato que se toma del ensayo al fuego es el peso del oro, el cual se debe relacionar con el volumen de material de donde se obtuvo la muestra. En segundo lugar, la fusión de la muestra permite la obtención del oro asociado a otros minerales, el cual no es recuperable por procesos gravimétricos y además el botón final puede contener otros metales (plata, cobre, etc..) que causan variaciones en el peso.

En los depósitos de placer, esta técnica debe realizarse con cuidado, puesto que el contenido

de oro obtenido en ensayo al fuego, no necesariamente se corresponde con el contenido de oro que puede recuperarse durante el proceso de beneficio. La recomendación es utilizar el ensayo al fuego como una medida de verificación de la estimación visual del tenor de la muestra, teniendo en cuenta las causas de la diferencia que puede haber entre datos.

### Recomendaciones

- Conocer los sesgos y alcances de los métodos analíticos para establecer las medidas de ajuste necesarias y la certidumbre de los datos.
- Establecer un porcentaje de muestras de concentrado para analizar por varios métodos, de manera que se tengan datos de confirmación de los tenores.
- Realizar un análisis de las diferencias entre los datos de diferentes métodos y establecer ajustes en los procesos de acuerdo a ello.
- Indicar claramente al laboratorio que el concentrado debe fundirse en su totalidad, sin realizar cuarteo.
- Realizar el análisis de contenidos de oro en un espacio adecuado para tal fin, donde se puedan documentar las diferentes variables del proceso.
- Solicitar y almacenar los certificados analíticos, de ser posible, en archivos PDF protegidos para evitar manipulaciones.
- Procurar que la persona que realiza el análisis visual en laboratorio (concentración gravimétrica) no sea la misma que tomó la muestra.



## Más información

- Essentials of Mineral Exploration and Evaluation. Chapter 9. Sampling and Analysis. Gandhi, S., & Sarkar, B. Elsevier, 2016.
- Comparación entre el ensayo al fuego y conteo de partículas en la determinación del tenor de oro aluvial. Zapata Gallego, Copete López, López Gómez, & Chanci. Revista Colombiana de Materiales(6), 69-78, 2015.
- The Gold Pan as a Quantitative Geologic Tool. Theobald Jr. Geological Survey Bulletin 1071, 1957.
- [www.iosgeo.com](http://www.iosgeo.com)

### 3.10 Auditorías

Las auditorías permiten validar que las diferentes actividades y procesos realizados cumplen los procedimientos y protocolos establecidos para el aseguramiento y control de la calidad y establecer planes de acción en caso de hallar desviaciones en éstos. Estas auditorías pueden ser internas (realizadas por la misma organización) o externas (por terceros). En el primer caso, es importante que la persona encargada de auditar un proceso no haga parte del mismo, por ejemplo: el profesional líder que haga parte del equipo de exploración no puede realizar la auditoría de este proceso, podría participar como observador, pero no intervenir.

Entre los beneficios de las auditorías se encuentran:

- Evaluar la eficacia de los controles establecidos en los procesos.
- Facilita la mejora continua de los procesos.

- Validar el cumplimiento de las normas y la estructura documental de la organización.
- Ayuda a identificar nuevos riesgos y sus posibles causas.

En el caso de los resultados de exploración, la auditoría al muestreo es uno de los puntos críticos y esto se debe a la importancia que representan las muestras recolectadas y la información que aportan en un proyecto de depósitos de placer. Algunos aspectos relevantes al momento de realizar la auditoría de las muestras son:

- Protocolos de muestreo.
- Procedimientos de concentración de las muestras.
- Protocolos de Aseguramiento y Control de Calidad.
- Registros de información del muestreo (fichas, coordenadas, etc.)
- Cadena de custodia.
- Certificados de resultados de laboratorio.
- Resultados de Control de Calidad implementados en el laboratorio (QA/QC).
- Estado de contramuestras.
- Integridad de la base de datos.
- Guidelines for Peer Review of a Geologic Map Product National Cooperative Geologic Mapping Program 2. Sue Beard, 2010.
- The Resource Database Audit. Gilfillan J.F. Mineral Resource and Ore Reserve Estimation - The AusIMM Guide to Good Practice. Monograph 23. The Australasian Institute of Mining and Metallurgy, 2001.





**4**

**Estimación de**  
recursos minerales

De acuerdo con el ECRR® (2018), un recurso mineral se define como:

Concentración u ocurrencia de un material sólido con interés económico, en o sobre la corteza terrestre, de tal forma, cantidad, tenor o calidad, que hay perspectivas razonables para una eventual extracción económica. La ubicación, cantidad, calidad, continuidad y otras características geológicas de un Recurso Mineral son conocidas, estimadas o interpretadas a partir de evidencias y conocimientos específicos, incluyendo el muestreo.

Un factor determinante en la estimación de recursos, es el entendimiento de la geología del depósito, esto incluye la geometría, extensión y calidad del mismo; con esta comprensión se puede proponer el método de explotación que se considere más eficiente. Para verificar que el recurso tiene una perspectiva razonable para extracción económica, la fase de estimación de recursos, debe considerar, de manera preliminar, factores económicos, legales, ambientales, sociales, de mercado y demás que puedan afectar la posible explotación del yacimiento.

En la estimación de recursos, el profesional líder debe realizar una evaluación consciente de la cantidad y calidad de los datos a partir de los cuáles se hacen las interpretaciones, así como establecer claramente los supuestos y limitaciones considerados en dicha estimación. Algunos factores críticos a tener en cuenta en la estimación de recursos de depósitos de placer, son la geología (incluyendo geomorfología, estratigrafía y sedimentología), los análisis de laboratorio y los métodos de estimación del tenor; el profesional líder debe demostrar que esos factores han sido tratados apropiadamente. (Spring, Leroux, Berezowski, & Dumouchel, 2003).

En la fase de estimación de recursos se utiliza toda la información adquirida en las actividades de las fases previas (Figura 22) y se generan nuevos insumos para las fases subsecuentes.

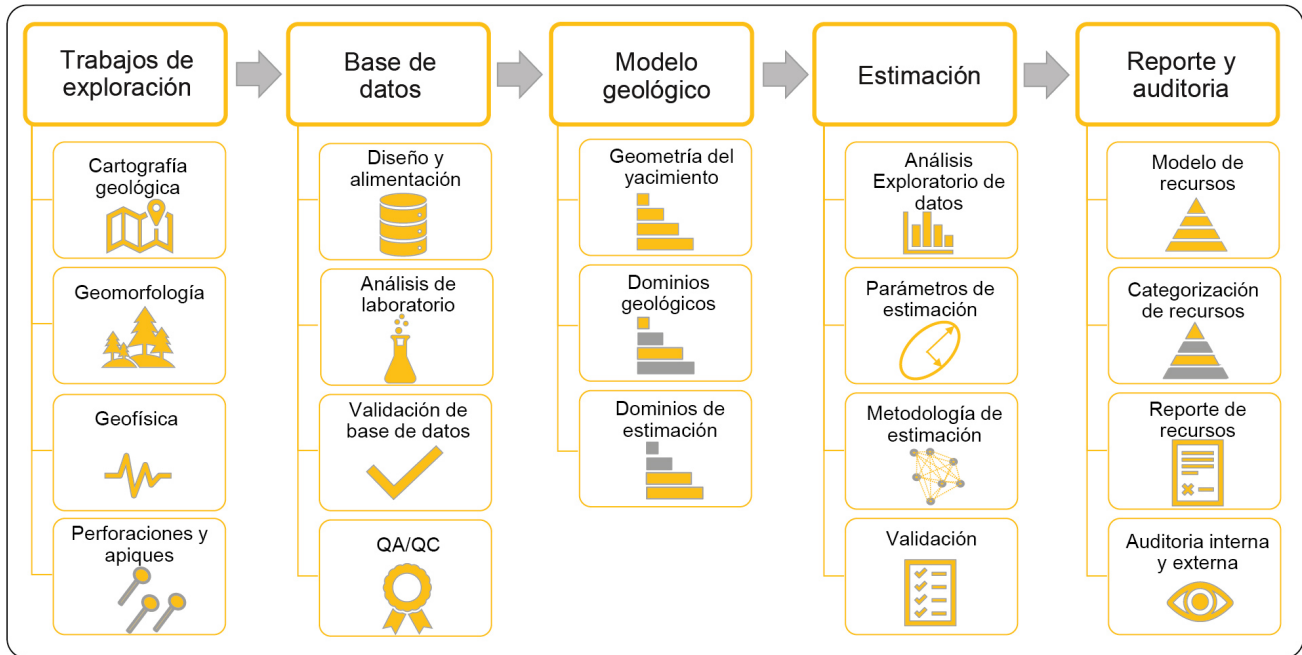
## Recomendaciones

- Definir claramente la zona o zonas a las cuáles se les realizará la estimación de recursos en el área de la concesión minera.
- Declarar todos los supuestos y limitaciones tenidos en cuenta en la estimación de recursos.
- Establecer una fecha efectiva para la estimación y declaración de recursos.



## Más información

- Estimación de Recursos Mineros. Alfaro Sironvalle M., 2007.
- Ore Reserve Estimates in the Real World (Fourth ed.). J. Stone, & P. Dunn. Society of Economic Geologists, 2012.



**Figura 22.** Resumen del proceso de estimación de recursos  
Fuente: Modificado de Vargas, n.d.

## 4.1 Calidad de los datos y pruebas de laboratorio

Un modelo geológico y posterior estimación de recursos y reservas será tan bueno como los datos que lo soportan, puesto que el modelo más elaborado o el software más costoso solamente producen resultados confiables si la información de entrada lo es. El profesional líder debe estar seguro de la calidad de los datos obtenidos.

Un paso clave previo al reporte de los resultados de exploración o estimación de recursos y reservas, corresponde a la revisión de los datos y resultados de laboratorio, así como su representatividad del yacimiento a modelar (CIM, 2019). Esta revisión debe tener en cuenta, como mínimo, los siguientes aspectos:

### 4.1.1 Base de datos

Al momento de iniciar la estimación de recursos, debe contarse con una base de datos robusta,

confiable y que contenga la información suficiente y necesaria para soportar las estimaciones posteriores.

En el numeral 2.12 se plantearon algunas recomendaciones y buenas prácticas para la estructuración y manejo de la base de datos del proyecto.

### 4.1.2 Control de la calidad

En el numeral 3.6.2 de esta guía, se hizo referencia a la importancia de establecer procedimientos de Aseguramiento y Control de la Calidad. El profesional líder debe asegurarse que el Control de Calidad haya sido realizado correctamente y que los resultados de las medidas de Aseguramiento de Calidad cumplieron con su propósito.

### 4.1.3 Densidad de la información

La densidad de información hace referencia a la cantidad de información disponible para la estimación de recursos en un área determinada.

La densidad de información tiene una relación directa con la complejidad geológica del yacimiento, es decir, a mayor complejidad, mayor densidad de información debe tenerse. Factores como el efecto pepita del oro (alta variabilidad de tenores en distancias cortas), el tamaño de las partículas y la distribución de la mineralización en diferentes paleo-cauces y estratos, aportan mayor complejidad a los depósitos de placer; por lo tanto, la densidad de la información debe ser revisada con mayor rigurosidad para estos depósitos. Es importante tener en cuenta que la densidad de información está asociada con el riesgo del proyecto, a menor información, mayor riesgo.

En el desarrollo de los trabajos de las diferentes etapas del proyecto minero, debe hacerse una discusión acerca de la suficiencia en la información para reportar unos resultados que sean confiables.

## Recomendaciones

- Revisar la base de datos, previo al inicio de la estimación, de manera que se corrobore que cuenta con la información necesaria y suficiente para la estimación
- Revisar la integridad y coherencia de los datos.
- Chequear si existen datos faltantes en la base de datos antes de proceder con la estimación.
- Revisar los soportes o certificados para los resultados de laboratorio.
- Definir si se hace necesario adquirir datos adicionales para la estimación, realizar re-muestras o reanálisis de muestras.
- Emplear la mayor cantidad de información disponible en la elaboración del modelo geológico, estimación de recursos y estimación de reservas.

- Aseguramiento y Control de la Calidad en la Exploración Geológica. Simón A. Santiago, 2006.
- A Discussion on Current Quality-Control Practices in Mineral Exploration. Simón A, 2011.
- Assay Quality Assurance-Quality Control Program for Drilling Projects at the Pre-factibility to Feasibility Report Level. Long, 2000.
- Considerations on quality assurance/ quality control and sample security. Simón & Gosson, 2008.
- The Resource Database. Stoker, P. T., & Gilfillan, J. F. En A. C. Edwards (Ed.), Mineral Resource and Ore Reserve Estimation - The AusIMM Guide to Good Practice. Monograph 23. The Australasian Institute of Mining and Metallurgy.

## 4.2 Modelo geológico

Para la estimación de recursos debe contarse con un modelo geológico que permita establecer la forma, ubicación, tamaño y distribución de tenores del depósito de placer, lo cual se obtiene de la integración de todos los datos relevantes obtenidos en las fases previas del proyecto.

Algunos de los errores comunes en la estimación de los recursos están asociados a un entendimiento erróneo de la geometría del yacimiento; es por esto que el profesional líder debe estar tranquilo en cuanto a la interpretación de la geometría, el control geológico y la continuidad del depósito determinados para elaborar el modelo geológico.

Generalmente, el modelo geológico se representa en tres dimensiones a través de bloque diagramas, grillas o wireframes y/o sólidos; también, dependiendo del tipo de método seleccio-



nado para elaborar el modelo, pueden emplearse representaciones en dos dimensiones, tales como perfiles, que luego son unidos para generar un esquema en tres dimensiones (Figura 23).

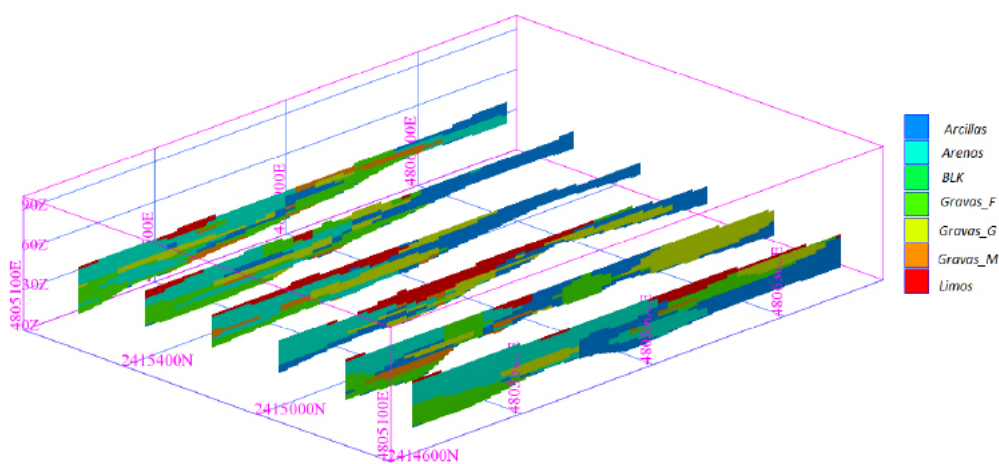
El modelo geológico debe considerar los posibles dominios geológicos que conforman el depósito, éstos se definen como zonas de características geométricas y/o de calidad similares.

Los dominios de estimación deben definirse en función de las características geológicas y estadísticas, lo que permite subdividir un depósito en volúmenes discretos con controles de mineralización y características estadísticas que resultan en una distribución consistente del atributo que se está estimando (por ejemplo, granulometría, tenor) (CIM, 2019).

Para el caso de los depósitos de placer, los dominios de estimación pueden estar asociados a niveles estratigráficos con granulometría y tenor similar (por ejemplo: estrato pagador, zona de estéril, basamento, paleocauces, entre otros). Una definición sólida de los dominios de estimación es un aspecto crítico de la estimación de recursos minerales. (CIM, 2019).

## Recomendaciones

- Establecer la relación entre la granulometría del yacimiento, la granulometría del oro y el contenido de oro.
- Emplear toda la información relevante para elaborar el modelo geológico (geofísica, imágenes de sensores remotos, trabajo de campo, trincheras, perforaciones, base de datos).
- Identificar dominios geológicos en el yacimiento.
- Dejar trazabilidad de los cambios que se generen en el modelo geológico, debido a nueva información, o interpretaciones actualizadas.
- Validar la información topográfica del modelo, de manera que se encuentre a una escala adecuada, que represente de manera aproximada las características del área y que garantice un amarre preciso en las tres dimensiones.
- Revisar la consistencia entre la información



**Figura 23.** Ejemplo de visualización de un depósito de placer a partir de perfiles en 2D

Fuente: autores

de localización de las muestras y la topografía.

- Declarar los supuestos y restricciones que se tuvieron en cuenta en la elaboración del modelo.
- Definir métodos para la delimitación de los contactos (sólidos, superficies de triangulación, entre otros).
- Presentar mapas, perfiles o modelos en 3D que permitan visualizar los datos que soportan el modelo geológico, como ubicación de apiques, perforaciones, relaciones estratigráficas, niveles con mayores contenidos del mineral de interés, entre otros.
- El profesional líder debe asegurarse que los datos que soportan el modelo geológico se representen de manera clara en las tres dimensiones, teniendo cuidado de que el sistema de coordenadas sea suficientemente confiable (ver numeral 2.8).



### Más información

- Duke, J. K., & Hanna, J. P. Geological Interpretation for Resource Modelling and Estimation. En A. C. Edwards (Ed.), Mineral Resource and Ore Reserve Estimation – The AusIMM Guide to Good Practice. Monograph 23. The Australasian Institute of Mining and Metallurgy, 2001.
- Ore Reserve Estimates in the Real World (Fourth ed.). J. Stone, & P. Dunn, Edits. Society of Economic Geologists, 2012.
- Applied geostatistics (Vol. 28). Isaaks, E., 1990.

## 4.3 Factor volumétrico o hinchamiento

Es la relación entre el metro cúbico de banco (Bank Cubic Meter BCM) y el metro cúbico de banco suelto (Loose Cubic Meter LCM) y se refiere al incremento fraccional del volumen del material que ocurre cuando ha sido sacado de su estado natural (volumen in situ) y depositado en un sitio no confinado (volumen no confinado). Puede expresarse como una fracción decimal o como un porcentaje.

## 4.4 Análisis Exploratorio de Datos

El Análisis Exploratorio de Datos (AED) ó EDA por sus siglas en inglés (Exploratory Data Analysis) es un paso que facilita el tratamiento y la interpretación de los datos de tenor, calidad y granulometría del depósito. El AED corresponde a un conjunto de técnicas estadísticas que permiten examinar los datos para comprender su posible distribución, las relaciones existentes entre las variables analizadas (p.e. contenido de oro vs granulometría), identificar errores y evaluar datos faltantes y/o valores atípicos. El análisis de datos puede incluir una gama de procedimientos estadísticos univariantes, bivariados y/o multivariantes aplicados a los datos para cada dominio de mineralización (o desecho).

Con este análisis se establecen criterios para el tratamiento de datos anómalos, delimitación de poblaciones de datos con características similares, tendencias de la población de datos y selección del estimador más adecuado.

### Recomendaciones

- Realizar AED para cada nivel o dominio de estimación identificado.
- Presentar los resultados mediante resúmenes estadísticos (media, mediana, des-

viación estándar, etc.) y resúmenes gráficos (histogramas, diagramas de caja, gráficas de probabilidad). Las gráficas deben tener un título y/o leyenda con la información adecuada para interpretar los diagramas sin ambigüedades.

- Analizar los resultados empleando la visualización de resultados en perfiles o mapas con distribuciones de contenidos del mineral de interés.

## Más información

- Applied geostatistics (Vol. 28). Isaaks, E., 1990.

## 4.5 Técnicas de estimación

La estimación del recurso implica la determinación más aproximada posible de la cantidad, calidad, ubicación, continuidad y otras características del material de interés. Dado que la estimación se realiza a partir de datos puntuales que se consideran representativos de zonas más amplias, la interpolación y extrapolación de datos siempre hacen parte de la estimación; sin embargo, éstas deben hacerse con base en criterios sólidos que garanticen la menor incertidumbre posible.

Las técnicas más conocidas para asignar el valor o valores de tenores al volumen mineralizado, son los métodos clásicos y los métodos geoestadísticos. En los últimos años, la Inteligencia Artificial (AI por sus siglas en inglés), a través de la técnica denominada Machine Learning, ha sido evaluada como otra posible técnica de estimación. La explicación profunda de estas técnicas está por fuera del alcance de esta guía, se invita al usuario a consultar los documentos especializados que se incluyen en la sección Más Información del presente numeral.

La selección de un método de estimación u otro, depende de varios factores como disponibilidad de datos, tipo de mineral, forma, dimensión y complejidad del depósito; cuanto más complejo el depósito, más refinado debe ser el método de estimación.

### 4.5.1 Métodos clásicos

Los métodos clásicos consisten en la construcción de bloques, áreas, polígonos, triángulos o secciones geométricas, a los que se le asignan las variables de calidad medias para la estimación de recursos; los parámetros de calidad se estiman a partir de la media aritmética o ponderada y se realiza una interpolación de las variables entre dos puntos contiguos de muestreo. Las áreas de influencia asumen continuidad en la mineralización entre intervalos de muestreo, por lo cual debe analizarse críticamente la conveniencia de estos métodos en los depósitos de placer, para minimizar el error en la estimación del volumen y tenor del depósito

Estos métodos generalmente son manuales y empíricos y no son adecuados para depósitos con alta variabilidad de los parámetros de calidad o con complejidad estructural; además, no tienen en cuenta el efecto pepita que se presenta en los depósitos de placer auríferos.

Entre los métodos clásicos más conocidos se encuentran: media aritmética, método de los perfiles, método de bloques geológicos, método de los polígonos, método de bloques de explotación, método de los triángulos y método de isóneas. El profesional líder tiene la responsabilidad de seleccionar el método más conveniente según las características del depósito

En los métodos clásicos se puede aplicar estadística clásica para analizar posibles fuentes de error en el muestreo e identificar problemas en la estimación, incluyendo efecto pepita, espaciamiento de muestreo y representatividad de las muestras.

## 4.5.2 Métodos geoestadísticos

Los métodos geoestadísticos requieren del uso de programas o software de modelamiento, los cuales permiten procesar gran cantidad de información en poco tiempo y tienen incorporados módulos para la aplicación de estadística o geoestadística para estimar las variables; los interpoladores más frecuentes que se encuentran en dichos programas son el kriging, inverso de la distancia y vecino más cercano, entre otros. En comparación con los métodos clásicos, las estimaciones hechas con software ofrecen menor posibilidad de errores en los cálculos, también permiten realizar la estimación en bloques pequeños, posibilitando un análisis más detallado del depósito.

Como se ha mencionado anteriormente, los depósitos de placer tienen un alto efecto pepita y la continuidad de las zonas mineralizadas puede tener una alta variabilidad; por lo tanto, es importante seleccionar un interpolador que considere estos factores de la manera más aproximada posible. La recomendación es analizar cómo funcionan los interpoladores y cuál es su alcance, antes de decidirse por uno. Si los datos y las características del depósito lo permiten, se pueden hacer diferentes estimaciones con diferentes interpoladores para luego comparar los resultados.

La estimación geoestadística de los recursos minerales requiere investigar y modelar la estructura física y estadística del yacimiento. Los conceptos de continuidad y estructura en el yacimiento se plasman en semi-variogramas que se construyen durante este primer paso. El semi-variograma es una forma sencilla de verificar la aplicabilidad de la geoestadística, el análisis de la superficie de tendencia o incluso la estadística clásica al depósito en cuestión. En resumen, la construcción de un semi-variograma experimental debe ser un paso tan automático en la estimación de recursos como la construcción de un histograma (Clark, 1979). La segunda etapa del

procedimiento es el propio proceso de estimación, que depende totalmente de los semivariogramas construidos durante la primera etapa.

Es necesario comprender que el uso de un software para la estimación no garantiza la calidad del resultado; el programa facilita los cálculos, visualización y manejo de los datos, pero los parámetros de estimación, la calidad de los datos y las restricciones de la estimación son determinadas por el profesional líder y el equipo responsable del modelamiento.

### Recomendaciones

- Emplear una técnica de estimación que permita integrar la información de las diferentes muestras tomadas en el proyecto y que sea adecuada a las características propias del yacimiento.
- Revisar que la estimación sea coherente con los datos existentes.
- Presentar de forma clara los supuestos empleados en la estimación.
- Soportar la técnica de estimación seleccionada.
- Presentar los supuestos en cuanto a la continuidad del yacimiento.
- Tener en cuenta los factores que impactan en el modelo.



### Más información

- Ore Reserve Estimates in the Real World (Fourth ed.). J. Stone, & P. Dunn, Edits. Society of Economic Geologists, 2012.
- Geostatistical Ore-reserve Estimation. Annels, A, 1991.

- Computing Reserves of Mineral Deposits : Principles and Conventional Methods. Popoff, C. Washington: U.S. Department of the Interior, Bureau of Mines, 1966.
- Mineral Resource Estimation (Vol. 53). Rossi, M., & Deutsch, C., 2014.

## 4.6 Validación del modelo

La validación del modelo geológico y de las estimaciones del tenor, permite tener mayor confianza en los resultados y facilita la detección de posibles inconsistencias en los procesos de modelamiento y estimación. El profesional líder debe asegurarse de que el modelo de recursos final sea consistente con los datos, que represente adecuadamente el depósito y que se ajuste a las superficies topográficas.

El muestreo en masa es una forma de corroborar las estimaciones realizadas, ya que simula un bloque de producción a partir del cual se pueden comparar los valores estimados versus los realmente obtenidos en dicho muestreo.

### Recomendaciones

- Utilizar varios métodos de validación que permitan hacer una comparación de los

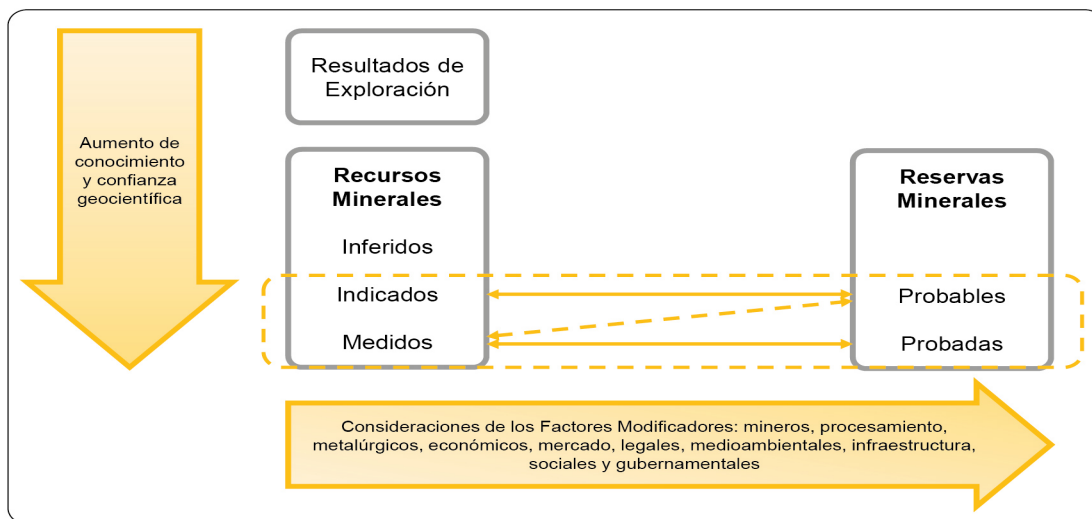
diferentes resultados y que guíen en los ajustes que deban hacerse en caso de que haya inconsistencias.

- Comparar la geometría estimada del yacimiento con la geometría identificada durante la explotación.

## 4.7 Categorización de recursos

Una vez realizada la estimación de los recursos en un depósito de placer, se procede con la categorización de acuerdo con el grado de confiabilidad de la información.

Los recursos minerales se clasifican, de acuerdo con el incremento de la confianza geológica del depósito, en inferidos, indicados y medidos, términos que han sido establecidos por CRIRSCO y adoptados por la CCRR® en el ECRR® (Figura 24). Los recursos minerales inferidos tienen un menor nivel de confianza que los recursos indicados y éstos, a su vez, tienen un menor nivel de confianza que los recursos minerales medidos (CCRR®, 2018).



**Figura 24.** Categorías de Recursos Minerales y Reservas Mineras  
Fuente: CCRR®, 2018

La categorización de los recursos minerales debe seguir unos criterios claros y bien definidos por el profesional líder. En la literatura especializada del tema se encuentran varios criterios, entre los cuales se destacan los presentados por el profesor Juan Morals Escalante (www.nubeminera.cl):

1. Distancia entre muestras y bloques
2. Número de muestras a considerar y su distribución
3. Por la varianza de estimación del kriging

### Recomendaciones

- El profesional líder debe considerar la confianza en la estimación respecto a la geometría, continuidad, control geológico (densidad de información) y tenores para cada área establecida en una categoría específica. Siendo así, es de esperar, que los recursos medidos tengan un grado de incertidumbre bajo respecto a estos aspectos.
- La selección de la categoría de confianza debe considerar la incertidumbre y el riesgo existente en la estimación de recursos minerales.
- Considerar criterios técnicos, económicos, ambientales para establecer los recursos.



### Más información

- Mineral Resource Estimation (Vol. 53). Rossi, M., & Deutsch, C., 2014.
- Computing Reserves of Mineral Deposits : Principles and Conventional Methods. Popoff, C. Washington: U.S. Department of the Interior, Bureau of Mines, 1966.

- Ore Reserve Estimates in the Real World (Fourth ed.). J. Stone, & P. Dunn, Edits. Society of Economic Geologists, 2012.
- Comisión Colombiana de Recursos y Reservas, CCRR®, 2018.

## 4.8 Declaración de recursos

Independientemente del enfoque específico utilizado o los procedimientos seguidos para la estimación, los profesionales deben asegurarse de que todas las declaraciones de recursos minerales satisfagan el requisito de tener “perspectivas razonables para una eventual extracción económica” (CIM, 2019).

Es importante que los factores relevantes para definir la viabilidad técnica y económica estén actualizados, razonablemente desarrollados, basados en la práctica y la experiencia generalmente aceptadas de la industria, deben estar claramente definidos y reflejar el nivel de información, conocimiento y etapa de desarrollo de la propiedad minera en ese momento. Las cifras de volumen y tenor deben citarse únicamente al nivel de exactitud y precisión de la estimación.

Entre los factores más relevantes para la viabilidad técnica y económica se encuentran el tamaño y las condiciones legales de la tenencia de la tierra, la selectividad de extracción para los métodos de minería considerados en relación con el tamaño y las geometrías de las interpretaciones de mineralización, la recuperación prevista del material extraído y el volumen de producción propuesto, el precio/valor del producto y el mercado a ese precio y los tenores de corte utilizados para la notificación de las estimaciones de los recursos minerales.

## 4.9 Revisión por pares

La mejor práctica incluye el uso de revisiones internas o, si es necesario, externas de la estimación de recursos minerales antes de la publica-

ción de la declaración de recursos minerales al dominio público. De acuerdo con la CIM (2019), las consideraciones de la revisión deben incluir:

- idoneidad de las perforaciones y de la base de datos de muestras,
- idoneidad de los métodos analíticos y la representatividad de la muestra,
- idoneidad de los dominios geológicos, los volúmenes de mineralización y los dominios de estimación,
- adecuación del volumen/tonelaje de las zonas mineralizadas
- tratamiento de los valores atípicos,
- suficiencia y fiabilidad de los insumos, y supuestos subyacentes, incluida la unidad de minería selectiva,
- metodología de estimación,
- validación y selectividad del modelo de recursos,
- criterios de categoría de confianza de recursos minerales,
- criterios de notificación de recursos minerales, y
- declaración de recursos minerales y notas a pie de página adjuntas.

La metodología aplicada, la clasificación y el análisis deben estar bien documentados. Un posible enfoque consiste en utilizar una medida cuantitativa de la incertidumbre relacionada con un volumen de producción durante un período de tiempo determinado, acompañada de una declaración de confianza probabilística. El objetivo es ayudar a los profesionales a establecer los criterios de la categoría de confianza de recursos minerales, proporcionando así una comprensión de los diversos riesgos técnicos asociados con la estimación de recursos minerales.



## Más información

- Assessing Uncertainty with Drill Hole Spacing Studies – Applications to Mineral Resources. Verly, Postolski y Parker. The Australasian Institute of Mining and Metallurgy, 2014.

## 4.10 Evaluación de riesgo

Si bien la clasificación de los recursos minerales en las categorías medidos, indicados o inferidos permite a los profesionales identificar el riesgo técnico en términos generales, la mejor práctica incluye la identificación y clasificación de los riesgos asociados con cada entrada de la estimación de recursos minerales.



5

**Factores modificadores**



El análisis de los factores modificadores que inciden en el proyecto, es necesario para determinar qué parte de los recursos indicados y medidos puede convertirse en reservas probables y/o probadas. Dicho análisis exige altos niveles de confianza en las evidencias y los datos sobre los cuales se basan los estudios.

La definición de los factores modificadores está ampliamente divulgada en la literatura, en esta guía se destacan las siguientes:

Los factores modificadores son consideraciones usadas para convertir Recursos Minerales a Reservas Minerales. Estos incluyen, pero no se limitan a, factores de minería, procesamiento, metalúrgicos, infraestructura, económicos, de mercado, legales, ambientales, sociales y gubernamentales (CCRR®, 2018).

Los factores modificadores corresponden a los componentes que permiten la extracción o no, de los recursos minerales y los permite convertir en reservas mineras. Para lograr ese proceso, se deben pasar por las fases de prefactibilidad y factibilidad que hagan tangible el proyecto minero y poderlo transformar en un proyecto económicamente viable (CIM, 2019).

Cuando se evalúan correctamente los factores modificadores se disminuye la incertidumbre en el proyecto; por lo tanto, las reservas estimadas son más aproximadas a la realidad y se basan en un estudio a nivel de factibilidad.

Como se observa en la Figura 24, los recursos indicados pueden convertirse en reservas probables debido a que aún requieren de mayor confianza en la información geocientífica para llegar a la categoría de medidos. Los recursos medidos pueden pasar a reservas probables cuando uno o varios factores modificadores están pendientes por resolver; cuando todos los factores modificadores han sido considerados de manera satisfactoria y no se presentan obstáculos para iniciar la explotación, parte de los recursos medidos pueden pasar a reservas probadas.

En la Figura 25 se resumen los factores modificadores más comunes en proyectos de depósitos de placer; si bien en este capítulo se abordan según el tema, es necesario entender que hay una relación estrecha entre algunos de ellos y que la mayoría conlleva un impacto económico para el proyecto.

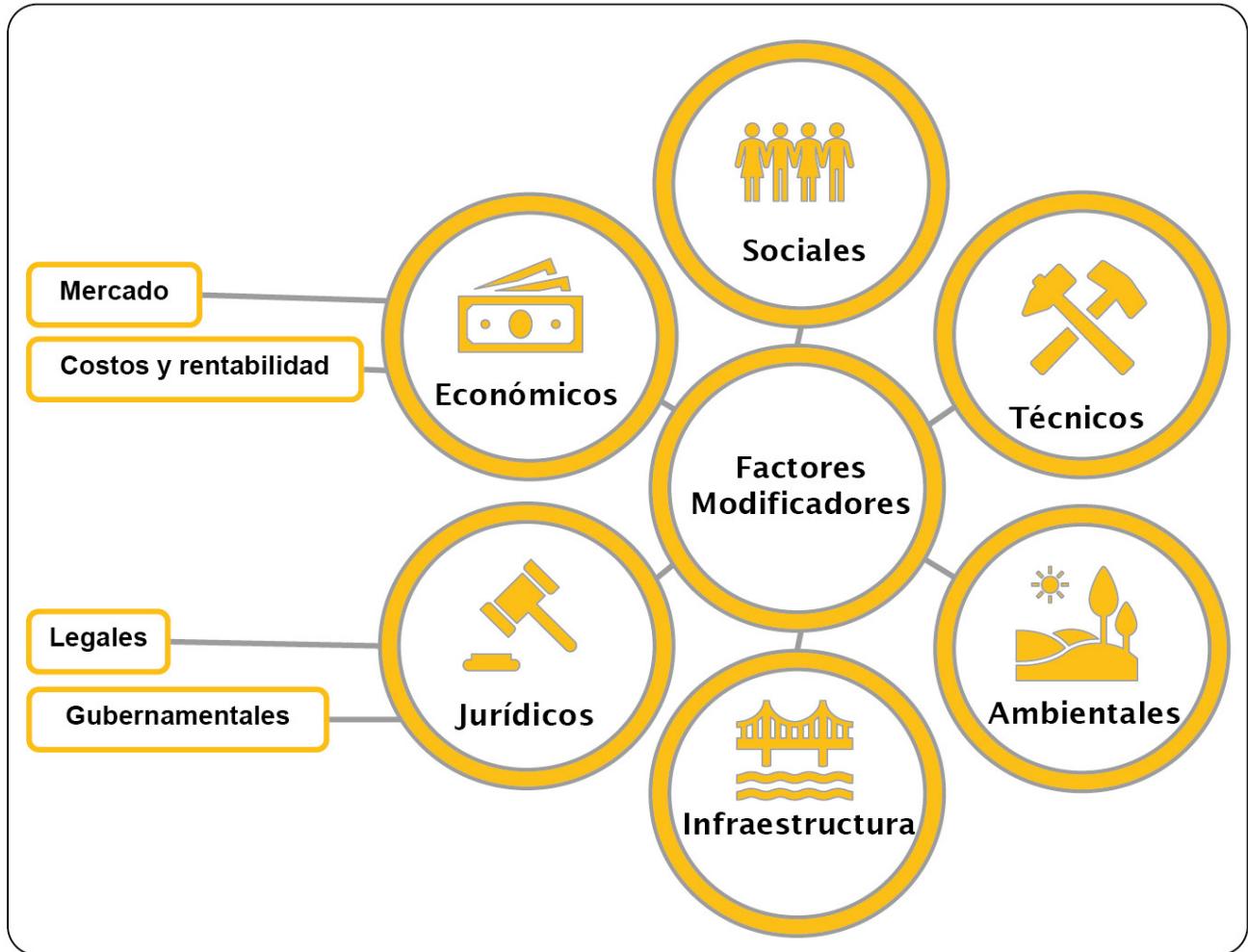


Figura 25. Factores Modificadores comunes en proyectos de depósitos de placer  
Fuente: autores

## Recomendaciones

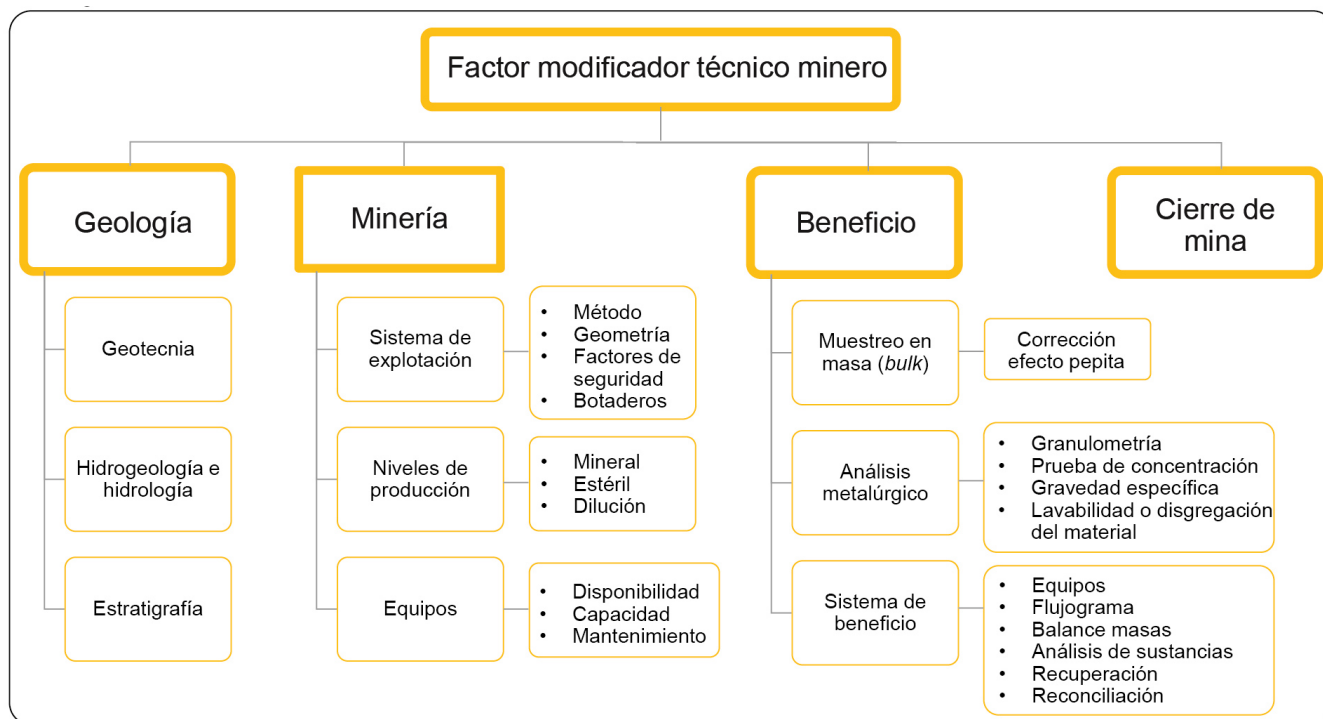
- Identificar aquellos factores modificadores que por su naturaleza sean específicos del proyecto.
- Contar con la participación de un equipo interdisciplinario en la identificación y evaluación de los principales factores modificadores del proyecto.

## 5.1 Factores técnicos

Los factores técnico-mineros tienen un gran impacto en la conversión de recursos a reservas, ya que incluyen todas aquellas variables de carácter técnico que permiten garantizar altos estándares de seguridad en las labores, rendimiento en el proceso de extracción a través del método de explotación más adecuado, recuperación eficiente en el proceso de beneficio y trata-

miento adecuado de la dilución.

Algunos de los parámetros más relevantes que se consideran como parte de los factores técnico-mineros en los proyectos de depósitos de placer, son los de tipo geológico, minero, de beneficio y cierre de mina (Figura 26).



**Figura 26.** Parámetros más relevantes del factor técnico-minero en depósitos de placer  
Fuente: autores

## 5.1.1 Geológicos

Las características geológicas del terreno deben considerarse como un elemento determinante en la definición del método de explotación, ya que pueden afectar la planeación, el rendimiento de equipos, o generar sobrecostos cuando no se caracterizan adecuadamente. En los depósitos aluviales, variables como la geotecnia, la estratigrafía y la hidrología e hidrogeología deben tenerse en cuenta en el análisis de los factores modificadores técnicos.

### 5.1.1.1 Estratigrafía

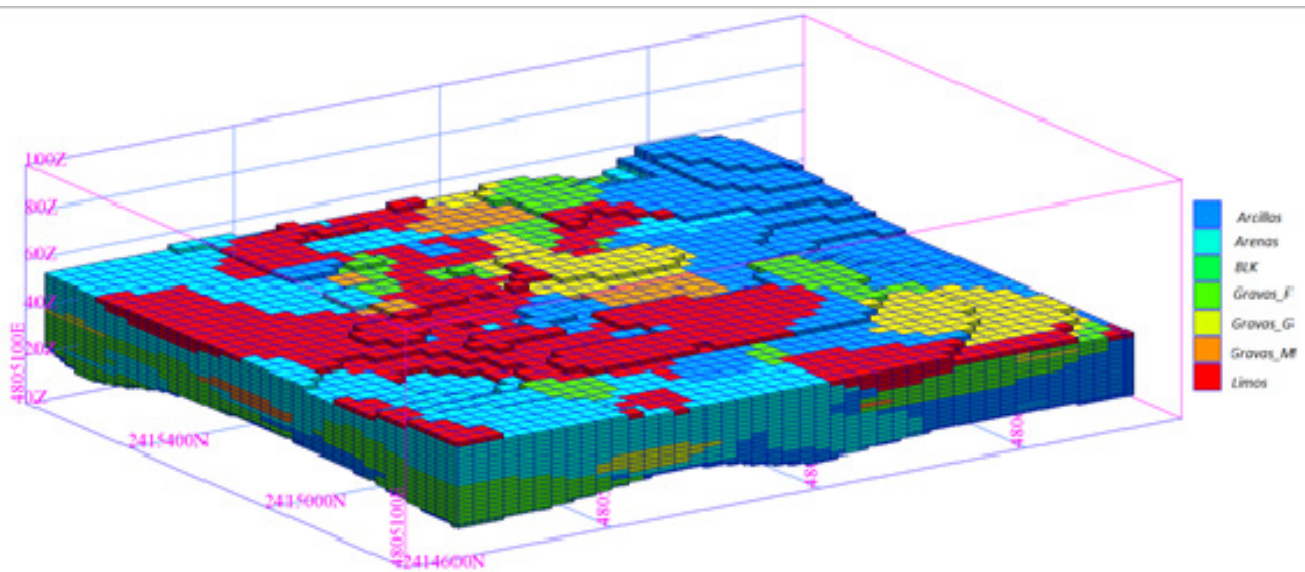
Los depósitos aluviales se conforman por mate-

riales que han sido transportados por el agua en movimiento y depositados cuando la velocidad del agua disminuye; los cambios de energía de la corriente, producen variación en los tamaños de grano que se depositan a manera de capas o estratos en una secuencia determinada. Estos materiales pueden ser de origen fluvial o lacustre y pueden contener partículas finas, gruesas o entremezcladas. Los depósitos aluviales generalmente, son estratificados y la permeabilidad en la dirección horizontal es mayor que en la dirección vertical.

Esta estratigrafía del depósito debe ser definida mediante modelos 3D (Figura 27) o de perfiles estratigráficos que permitan al planeador evaluar

las características de estos paquetes.

El modelo estratigráfico del depósito aluvial debe tener asociadas características como granulometría con el detalle del porcentaje de las arenas negras, lavabilidad, transitabilidad, cargabilidad, unidad de peso, ángulos de fricción, coeficiente de consolidación, capacidad de soporte, metro cúbico de banco (BCM) y unidad de metro cúbico suelto (LCM), que permitan definir la geometría final de la explotación y la selección de la metodología y la maquinaria.



**Figura 27.** Modelo estratigráfico de un depósito de placer  
Fuente: autores

## Recomendaciones

- Caracterizar adecuadamente los estratos para seleccionar la metodología de explotación y beneficio más ajustada para el depósito, de manera que se pueda tener el mayor control de la recuperación, profundidad de descapote, dilución, rendimientos y estéril en la explotación.
- Tener en cuenta que la caracterización estratigráfica es un insumo fundamental para el análisis geotécnico; por lo tanto, estos datos deben tomarse con rigurosidad.
- Determinar el contenido de arenas negras de cada estrato ya que este dato es importante para la selección del equipo de recuperación, pues cuando hay mucha cantidad, éstas pueden atrapar el oro e impedir que sean capturadas por el equipo de recuperación; además el conte-

nido de otros minerales en estas arenas, puede hacerlas atractivas económicamente en un momento dado.

### 5.1.1.2 Geotecnia

Ya sea que se trate de terrazas o de llanuras aluviales, la estabilidad de las estructuras y frentes de trabajo en depósitos de placer debe ser una consideración técnica imprescindible, para esto es necesario un análisis geotécnico de las áreas a intervenir.

En dicho análisis se conjugan las variables geológicas, geomorfológicas, hidrológicas y topográficas, para establecer polígonos o zonas con características geotécnicas similares para los cuales se determina la vulnerabilidad a procesos morfodinámicos e hidrodinámicos. A partir de esta información, es posible estimar los factores de diseño y de seguridad de los frentes de trabajo, pozas y botaderos o cargueros (Figura 28).

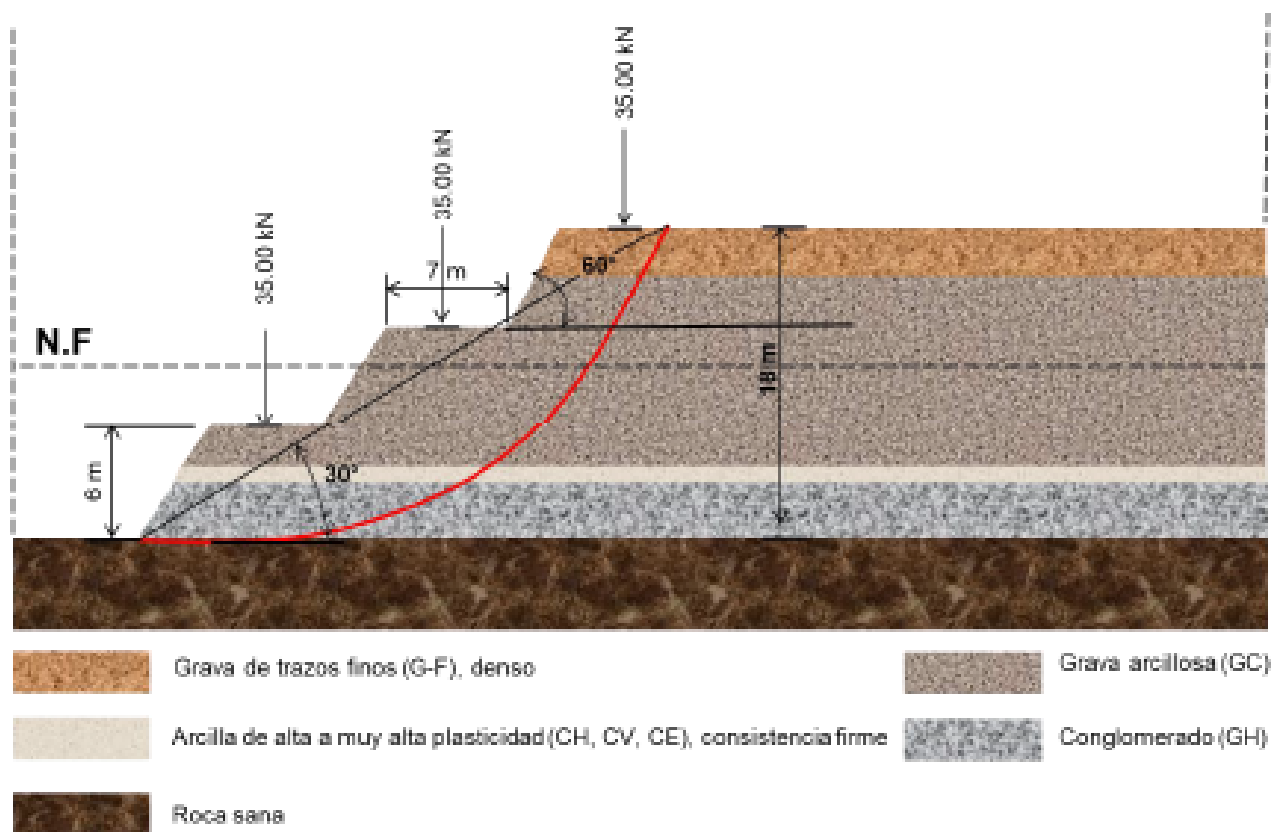


Figura 28. Análisis geotécnico  
Fuente: autores

## Recomendaciones

- Para materiales no consolidados se recomienda usar métodos como penetración dinámica o penetración de golpe (Standard Penetration Test, SPT) para definir parámetros como ángulos de fricción, coeficiente de consolidación y capacidad de soporte.



### Más información

- Sistema Unificado de Clasificación de Suelos. USCS (USGS).

#### 5.1.1.3 Hidrogeología, hidrología e hidráulica

Generalmente los depósitos de placer aluvial se encuentran en zonas de convergencia de aguas, tanto superficiales como subterráneas, las cuales deben tenerse en cuenta como parte de los factores modificadores técnico-minero y ambiental.

El estudio hidrogeológico se requiere para el conocimiento de las condiciones naturales del agua subterránea, su relación con las aguas de infiltración y corrientes superficiales, tanto en verano como en invierno, para conocer los parámetros y constantes hidráulicas del paquete aluvial, el nivel freático y la localización y características de los acuíferos presentes en el área. Con esta información se analizan los efectos que produciría el agua subterránea sobre la explotación minera y viceversa, a partir de los cuales se toman las medidas necesarias de mitigación de impacto y se selecciona el método de explotación apropiado y el equipo para realizar las operaciones (motobombas para control de niveles freáticos):

En el estudio hidrológico se determinan las características hídricas del área, tales como la precipitación anual, la extensión de la cuenca hidrográfica, la escorrentía superficial, las posibles desviaciones de las corrientes naturales, entre otros. Con el conocimiento hidrológico del

área se diseñan las obras y sistemas necesarios para una operación minera eficiente y segura, se determinan las alternativas del control de inundaciones, se obtiene información de los volúmenes de agua disponibles para las operaciones y se planifican los sistemas de vertimiento. En el diseño de botaderos y la determinación de su ubicación, el factor hidrológico es determinante para lograr la seguridad de las áreas y las obras.

Es importante realizar un análisis hidráulico y evaluar los periodos de retorno para diseñar los frentes de explotación, jarillones de protección, canales de acceso, vías, vertimientos, disponibilidad de agua (en tiempo seco y en temporada de lluvias) y afectación de vertimiento.

## Recomendaciones

- Verificar los consumos y requerimientos de caudal de agua y evaluar las afectaciones aguas abajo.
- Definir épocas de trabajo óptimo, meses de alto riesgo, y metodologías de control de aguas en frentes de trabajo.
- Evaluar las condiciones iniciales de afluentes superficiales donde se incluyan cargas contaminantes y la capacidad de descarga que tenga el afluente o afluentes.
- Se recomienda garantizar que las actividades a desarrollar se realicen con un buen análisis y estimación de volúmenes y calidad de las captaciones y vertimientos necesarios, ya que cobros ambientales por conceptos como Tasa Retributiva (TR) y Tasa de Uso de Agua (TUA) pueden presentar un gran impacto en la viabilidad del proyecto.

#### 5.1.2 Mineros

La extracción de los minerales económicos concentrados en los depósitos de placer se hace principalmente mediante operaciones a cielo

abierto (open pit) o de dragado. La selección de una correcta metodología de explotación permite la optimización de los diferentes recursos (humanos, económicos, infraestructura) destinados al proyecto y el manejo responsable de los recursos no renovables.

Dependiendo de la escala del proyecto, ya sea pequeña, mediana o gran minería; se podrán o no implementar métodos manuales a completamente mecanizados. Lo importante, en definitiva, es que se haga una buena optimización de los recursos para lograr una máxima recuperación del metal valioso, de una manera racional y que sea consecuente con la conservación del medio ambiente, el cumplimiento de las normas mineras y la sana convivencia con las comunidades del entorno del proyecto.

### 5.1.2.1 Métodos manuales

Por la relativa facilidad de extracción de estos depósitos, son comunes las operaciones manuales a escala artesanal. Es importante que, independientemente de la escala de trabajo y el método implementado, se consideren las buenas prácticas necesarias para mantener una operación sostenible y rentable.

**Minería de playas:** esta minería se practica de manera intermitente, generalmente posterior a la creciente de ríos donde se presentan sobrecargas del material de playa dejando una nueva concentración de arenas negras y minerales de interés, estos materiales son concentrados generalmente en pequeños canalones alimentados con palas.

**Cortes y lavado:** consiste en la explotación de depósitos de placer superficiales que o de poca profundidad, se busca que el canalón de recuperación pueda ser instalado usando la gravedad del terreno con el fin de alimentar los canales con el uso de pala y la velocidad del agua de lavado.

**Corte y transporte:** Consiste en la extracción de mineral de los canales enriquecidos donde, por

la profundidad o disponibilidad de agua, deben ser transportados; este transporte se hace usualmente con carretillas o por medio de la actividad conocida como catanguero, en la cual el material es transportado en costales o canecas por el mismo minero hasta la zona de lavado.

### 5.1.2.2 Métodos mecánicos

Como su nombre lo indica, los métodos mecánicos involucran maquinaria y equipo pesado para el arranque, transporte y beneficio del material. Estos métodos son comúnmente utilizados en operaciones de mediana y gran escala. Entre los métodos más conocidos se encuentran los siguientes:

#### **Transferencia con depresión del nivel freático:**

la minería de transferencia consiste en ubicar en los espacios vacíos dejados por la explotación, el material estéril producto de las labores. Para lograr esto es necesario que los materiales estériles sean depositados en lugares aptos (Figura 29), para luego retornarlos a las excavaciones dejadas por las explotaciones, de esta manera se utilizan las colas como material de relleno.

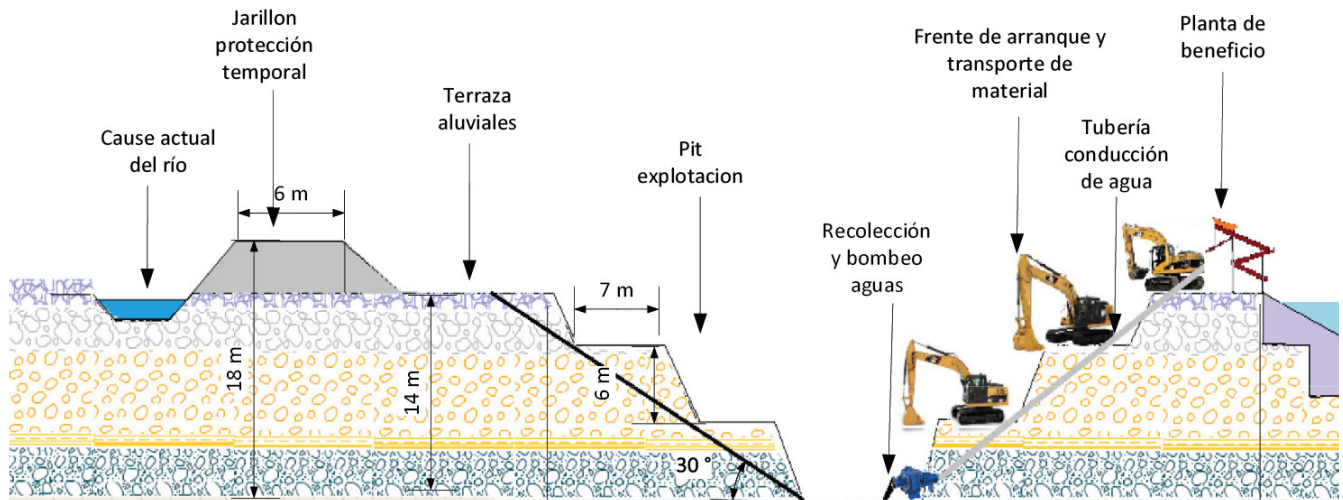
Este método de explotación consiste en definir un avance unidireccional (un solo sentido) y formar unas zonas llamadas franjas dentro del frente o bloque de explotación llevando una secuencia uniforme, de tal manera que permita depositar el material estéril del próximo frente de explotación



**Figura 29.** Operación en la que se realiza minería por transferencia  
Fuente: autores

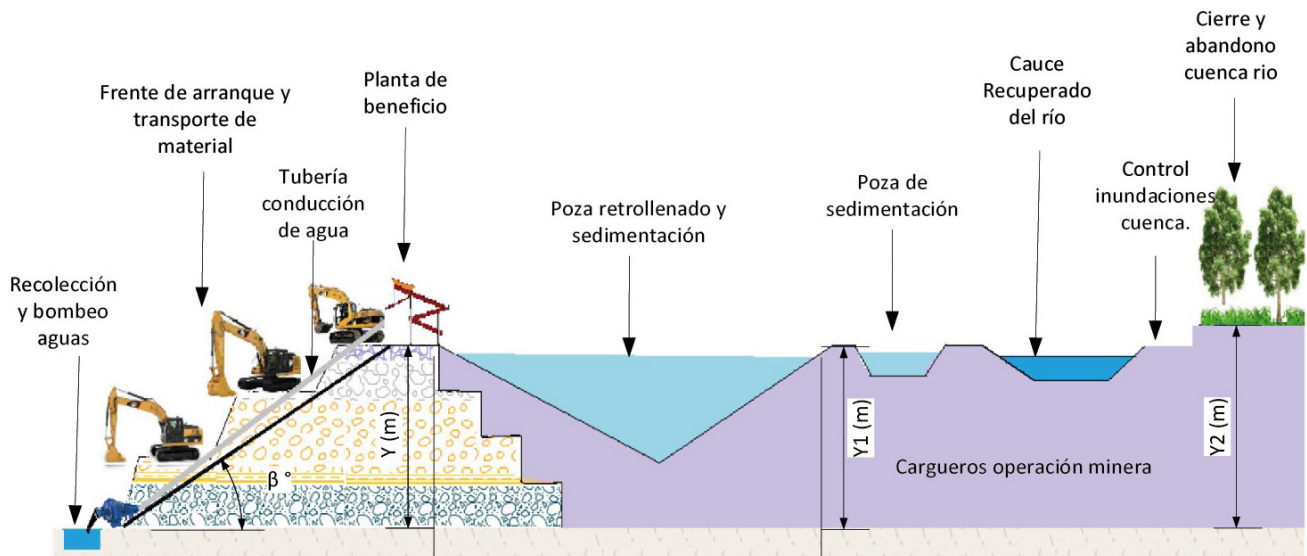
Este método también se basa en la depresión del nivel freático, en el cual se va vertiendo el agua obtenida de éste en piscinas de sedimentación para luego ser utilizadas para lavar el material y beneficiarlo o para verter en un cauce cumpliendo con las recomendaciones ambientales (Figura 30).





**Figura 30.** Esquema de método de explotación por transferencia con depresión del nivel freático  
Fuente: autores

Es preciso disponer de equipos de bombeo para mantener el nivel del agua a la altura deseada dentro del frente de explotación y que no sobrepase el nivel de los taludes y las franjas que se tienen dentro del bloque (Figura 31).



**Figura 31.** Esquema de método de explotación

Fuente: autores

En la Tabla 4 se mencionan algunas ventajas y desventajas del método por transferencia con depresión del nivel freático.

**Tabla 4.** Análisis del método por transferencia con depresión del nivel freático

VENTAJAS	DESVENTAJAS
Permite el mejor aprovechamiento de las reservas.	Problemas de vertimiento y control en épocas de invierno.
En algunos casos se consiguen mejores rendimientos con el equipo de arranque debido a que se trabaja a la altura máxima de excavación.	
Disminución de los tiempos muertos por cambios de frentes de explotación.	Puede haber retro-llenado natural en una creciente súbita (inundación).
Disminución de las distancias de acarreo.	
Mejores condiciones de trabajo de los equipos de transporte por estar drenando el material.	Mayores costos en equipos de bombeo y construcción de pozos de lodos o piscinas de almacenamiento de agua.
Mayor precisión en la extracción de los materiales.	
Mejor aprovechamiento del yacimiento al poderse retirar la capa superficial de la roca basal donde se pueden depositar valores importantes de oro	

*Fuente: Herrera y Pla (2006).*

### Recomendaciones

- Mantener pozas de sedimentación que permitan controlar los vertimientos de la operación.
- Se deben considerar la construcción de jarrillones o barreras de control de agua para garantizar la protección de la operación en tiempos de invierno o creciente esporádicas.
- Se debe realizar la planeación del avance de explotación garantizando el retrolleado que permita disminuir el número de pozas y mejorar el paisajismo final de la operación en el cierre de mina.
- Es un método recomendado para depó-

sitos en áreas secas o de bajos niveles de filtración, permite alcanzar mayores profundidades de corte a metodologías como dragados o extracción bajo lámina de agua.

- Tener una planta de beneficio portable ya que se generan movimientos constantes entre los diferentes frentes de explotación.

**Volqueteo:** este método consiste en la creación de un pit o contornos de explotación mediante el transporte del mineral aluvial a planta de beneficio, la cual puede estar ubicada a una distancia mayor a 1 km del punto de extracción. Es un método cíclico donde se involucran tiempo de cargue, transporte, y descargue; se considera una de las metodologías más económicas para el transporte de mineral en largas distancias (Ste-

bbins, 1987). Al momento de la estimación de rendimientos se deben tener presentes parámetros como hinchamiento (metro cúbico de banco (BCM) / metro cúbico suelto (LCM)), peso en húmedo, y capacidad de equipos. Para esta operación se requieren equipos de cargue como excavadoras o cargadores frontales (Figura 32) y se deben definir puntos de acopio de mineral

que permitan garantizar la continuidad de la operación.

Este método es recomendado para depósitos en áreas secas o de bajos niveles de filtración, permite alcanzar mayores profundidades de extracción. Las ventajas y desventajas de la explotación por volqueteo se resumen en la Tabla 5.



**Figura 32.** Operación en depósito de placer con el método de volqueteo  
Fuente: autores

**Tabla 5.** Análisis del método de volqueteo

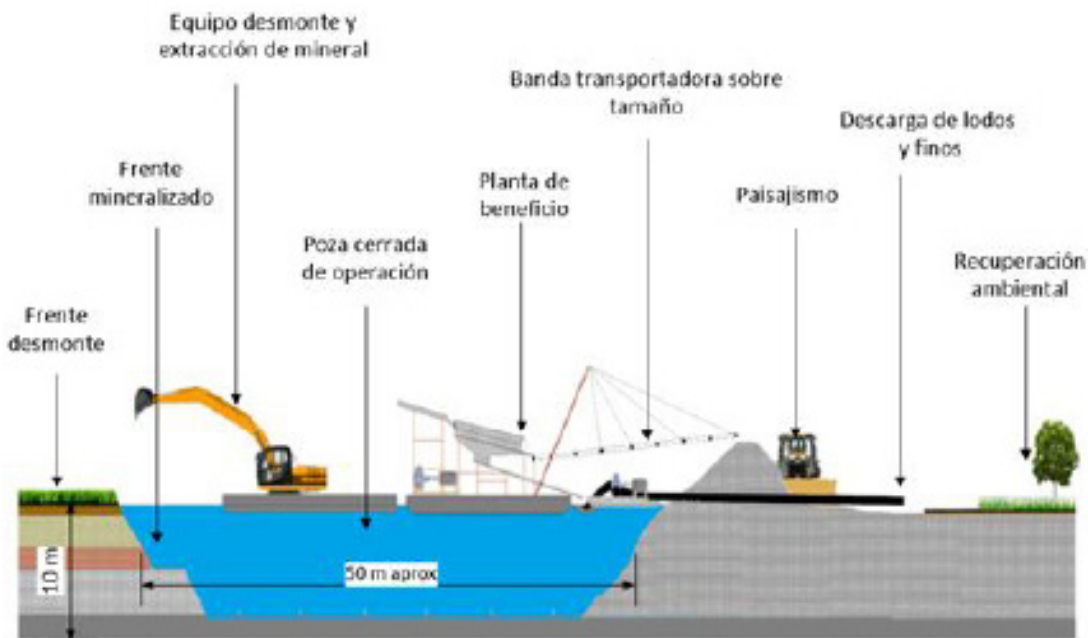
VENTAJAS	DESVENTAJAS
Permite mantener operaciones abiertas y de alto rendimiento en volúmenes movidos, por lo que se pueden bajar tenores de corte y trabajo de la operación	Requiere una alta inversión inicial
Permite acoplar plantas de beneficio con mejores sistemas de recuperación, ya que al ser plantas fijas no demandan de alta versatilidad	Requiere de la construcción y mantenimiento de vías de transporte de mineral
Alta selectividad en el material a ser alimentado a planta por lo que es posible disminuir la dilución del mineral.	Se deben planear con mayor detalle los retrolleados o localización de estériles, ya que esto demanda transporte al ser fija la planta de recuperación.
Es un método ideal para terrenos secos con baja disponibilidad de agua para el beneficio.	Cuando se extrae material aluvial húmedo, el peso de la pulpa incrementa, lo que baja los rendimientos y el volumen de material transportado en las volquetas.
Es una operación versátil donde se pueden mantener diferentes cortes abiertos que permitan garantizar tenores de alimentación.	En áreas con presencia de agua se deben controlar las pérdidas de mineral ya que al escurrir el agua, las partículas de oro se pueden perder en altas proporciones

Fuente: Autores.

## Recomendaciones

- Es un método de minería recomendado para lugares con baja presencia de agua lo que permite concentrar esfuerzos en procesos de tratamiento de agua en las plantas de lavado ya que estas permanecen por periodos más largos en posiciones fijas.
- Se deben considerar costos de mantenimiento de vías, control de polvo y control de agua en el pit de explotación.
- Realizar la planeación del avance de explotación garantizando que el material estéril y las colas del beneficio se dispongan en lugares que permitan disminuir la afectación en el paisaje final de la operación en el cierre de mina.

**Terrazas parcialmente bajo lámina de agua por dársenas o piscinas transversales:** consiste en excavaciones longitudinales, con arranque del material seco y húmedo, que sobrepasa totalmente el nivel freático o hasta alcanzar la roca basal del depósito (Figura 33). La explotación se realiza con tendencia acanalada, es un método usado en depósitos con una profundidad no superior a los 15 metros. La planta de beneficio por lo general se encuentra en un sistema flotante que permite un desplazamiento constante en el frente de trabajo. En la Tabla 6 se mencionan algunas ventajas y desventajas de este método.



**Figura 33.** Esquema de método de explotación de terrazas parcialmente bajo lámina de agua por dársenas.  
Fuente: autores

**Tabla 6.** Análisis del método de dársenas o piscinas transversales

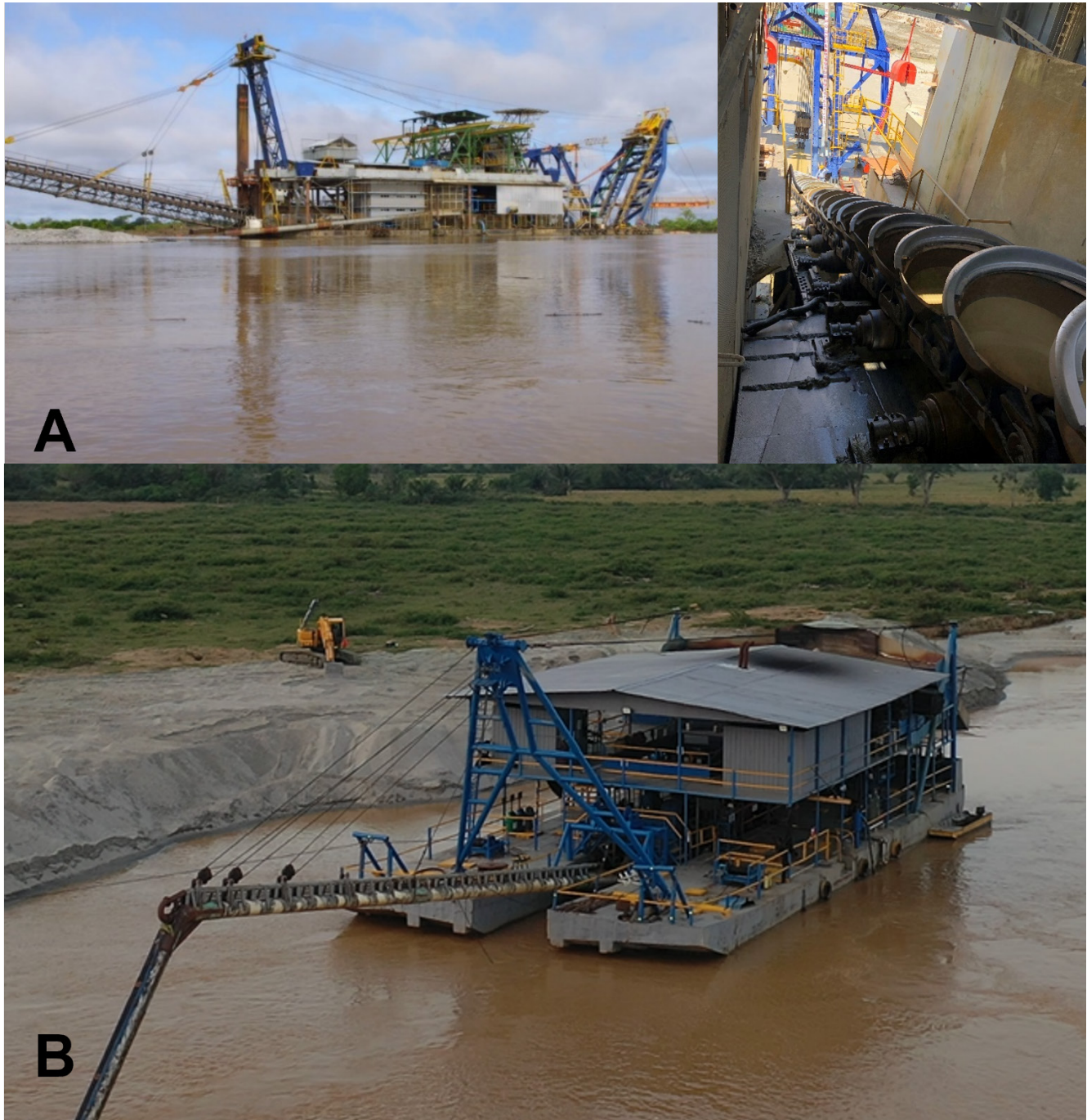
VENTAJAS	DESVENTAJAS
El canal paralelo ofrece excelentes garantías para el retro-llenado natural y el drenaje entre las piscinas.	Exigencia de una buena maniobrabilidad por parte de los operadores de la maquinaria.
Contribuye a la definición del cauce en aquellas áreas donde el nivel de superficie se ve reducido.	Se hace necesario excavar bajo la lámina de agua, perdiendo visibilidad de los materiales que se extraen.
Permite la extracción del material útil, manteniendo el equilibrio del río.	En época de invierno el material es húmedo, lo cual afecta la maquinaria.
La distancia de separación entre las piscinas permite el desplazamiento de las volquetas de manera segura y una distribución geométrica de las labores.	Cuando se extrae material aluvial con saturación de agua, se escurren las partículas de oro y se puede perder más del 50% de los valores.

**Fuente:** Acopi Proyecto de Desarrollo Empresarial de Antioquia 2013, Componente de Legalización y Formalización Minera.

**Dragado:** es una metodología empleada para la extracción de depósitos aluviales que se encuentran en áreas relativamente planas y donde el mineral de interés está por debajo del nivel de agua. Este tipo de operaciones demandan una alta inversión inicial en equipos que a su vez se reflejan en bajos costos operativos debido al

volumen que se puede extraer.

Comúnmente se identifican dos tipos de dragado usados para la extracción aluvial, el dragado de cucharas o cangilones y el dragado de succión (Figura 34). Otro sistema menos común es el dragado de mandíbulas.



**Figura 34.** Dragas de cucharas y detalle de las cucharas (A) y draga de succión (B)  
Fuente: autores

El dragado de cucharas o cangilones consiste en una flotación dotada con una cadena sin fin de cucharas alineadas las cuales se desplazan sobre la escala que pueden alcanzar profundidades hasta 50 metros (acorde con el fabricante Royal IHC Dredging). La extracción del mineral se realiza mediante la explotación de bancos sumergidos, la capacidad de la draga de cucharas depende de factores como volumen de las cucharas, número de cucharas, velocidad de cadena, y tipo de material dragado (Escalante, 2019). El sistema de beneficio por lo general se instala en el mismo sistema de flotación por lo que al momento del diseño del beneficio se deben considerar las posibles oscilaciones que genera la draga durante su operación.

El dragado de succión consiste en una flotación equipada con una bomba de cascajo, donde el arranque del mineral se realiza por medio de una cabeza cortadora y su transporte es confinado en tubería hasta el punto de descargo. Para el diseño o selección de estos equipos se deben tener en cuenta parámetros principales como capacidad de producción requerida (% de sólidos), profundidad de trabajo, distancia de descarga y tipo de material a dragar.

El método de dragado de succión presenta un alto rendimiento en materiales no consolidados ya que el método depende del derrumbe del banco y la presencia de material suelto cerca de la boca de succión (Vlasblom, 2003). La draga de succión de rueda de cangilones es un caso diferente, ya que ésta permite atacar directamente el banco de trabajo, pues los cangilones alimentan directamente la boca de succión es un equipo recomendado para el trabajo de arcillas y materiales más consolidados. Actualmente estos equipos son usados para el arranque, transporte y disposición de materiales estériles y en actividades de extracción y alimentación a sistemas de beneficio.

Las dragas de succión presentan una gran variedad de diseños y fabricantes que pueden cubrir requerimientos de proyectos de pequeña

y mediana minería, con una variedad de capacidades, profundidades de dragado y tipos de cabezas cortadoras que se adaptan a las diferentes litologías del depósito.

## Más información

- Damen dredgin. [www.damen.com](http://www.damen.com)
- Draga de cangilones. Escalante, R. Universidad Portuaria, 2019.
- Dredger Familiarization. Vlasblom, W. Visakhapatnam: Indian Maritime University, 2003.

### 5.1.2.3 Geometría de la explotación

Para la definición de la geometría de explotación es importante que en el diseño de la envolvente geométrica se garantice la optimización de los parámetros seguridad y economía; así, el estudio de la estabilidad de los taludes de una mina a cielo abierto implica la determinación de la geometría de excavación con acceso directo al material de interés y con la mayor seguridad posible. Esta geometría contempla la determinación de los ángulos de los taludes individuales, ángulo global, dimensiones de las bermas y alturas de banco (Turpo, 2018).

### 5.1.3 Beneficio

Durante el análisis metalúrgico es importante definir y considerar los diferentes factores que determinan la recuperación del mineral de interés. El nivel de calidad de la información depende de la etapa de desarrollo del proyecto (Tabla 7). Para ajustar los parámetros y variables que deben tenerse en cuenta en el diseño del proceso de beneficio, se recomienda realizar un test metalúrgico, para el cual se consideran los

criterios de selección de la muestra, la descripción de la muestra, el estudio mineralógico y el análisis de resultados.

**Tabla 7.** Evaluación del proceso de beneficio según la fase del proyecto y de los estudios

Componente	Evaluación económica preliminar	Estudio de prefactibilidad	Estudio de factibilidad
Muestreo de mineral y pruebas de recuperación	Datos a escala de laboratorio y caracterización mineral combinados con el diseño preconceptual de la planta de recuperación mineral.	Gama de diagramas de flujo con recuperación y rendimiento desarrollado a partir de pruebas de banco y a menudo verificados con trabajos a escala piloto	Muestras <i>bulk</i> y pruebas piloto de variabilidad para identificar rangos de rendimiento y recuperación
Procesamiento del mineral	Caracterización metalúrgica	Opciones preliminares	Detalle y optimización
Capacidad de procesamiento y producción estimada	Predicciones iniciales de capacidad de procesamiento y producción estimada	Niveles de producción estimada con recuperación y rendimiento basado en flujo grama preliminar	Ajustes capacidad de procesamiento y niveles de producción y estimativos de producción con correcciones de rendimiento y recuperación acorde a pruebas piloto y muestreos <i>bulk</i>
Descripción del proceso	General	Descriptiva, con un nivel de detalle de ingeniería inferior al 15%	De detalle: nivel de detalle del 15% al 40%
Diseño	Localización aproximada, y diseño preconceptual, usando factores estimados	Definición localización (planta móvil o fija), Diseño inicial planta, arreglos generales simples de distribución de equipos,	Localización de planta integrada al plan de minado, detalles de distribución general de equipos, y accesorios
Flujo grama	Flujo grama asumido de procesos conocidos, diagrama simple de bloques	Establecimiento de posible flujo grama con datos preliminares de recuperación, determinación inicial de flujos de materiales, balances de agua y recuperación	flujo grama de detalle basado en un comprensivo detalle de muestreos de beneficios, listado de detalle de equipos, diagrama de balance para todos los materiales requeridos en el proceso.
Trabajos civiles	Localización en topografía básica, no se requiere caracterización de condiciones de suelo ni cantidades estimadas	Localización topografía general, caracterización de suelos, cantidades básicas preliminares	Topografía de detalle, mapas con condiciones del suelo para diseños de fundación, diseños, cargas y cantidades
Especificaciones de equipos	Listado de equipos propuestos	Listado preliminar de equipos principales con capacidades y especificaciones esperadas	Listado completo de los equipos principales, con detalles de capacidad y especificaciones de operación.



Componente	Evaluación económica preliminar	Estudio de prefactibilidad	Estudio de factibilidad
Distribución eléctrica	Ninguno	Diagrama base de distribución	
Motores	Ninguno	descripción general	Lista de detalle de principales ítems con consumo energético
Instrumentación	Ninguna	descripción general	Listado de detalle de componentes, incluir equipos de muestreo
Costos beneficio por unidad de proceso (m3)	Históricos y factorización basados en unidad de medida apropiada para aluviones procesamiento de m3	Costos basados en flujo grama establecido para el proyecto, y dimensión base de equipos	Costos basados en flujo grama de detalle, con cotizaciones de proveedores de equipos y suplementos para proceso de beneficio
Rango de precisión costos	+/-25% a 50%	+/-15 to 25%	+/- 10 a 15%
Ingeniería de detalle	+/-5%	+/-5 a 15%	+/-15 a 40%

Fuente: Modificado de The SAMREC Code, 2016

El diseño debe incluir la descripción, el diagrama de flujo, los equipos seleccionados y las especificaciones de los mismos, las obras de infraestructura requeridas, la identificación y ubicación de cargueros, identificación de tratamiento de aguas de proceso, estimación de costos de capital y costos operativos de los periodos evaluados en la vida de la mina (LOM, Life of mine) (CIM, 2019).

En su mayoría los minerales extraídos en depósitos de placer como oro, platino diamantes, arenas negras, cobalto entre otros, son beneficiados mediante procesos de concentración gravimétrica que usa las diferencias de pesos específicos de los minerales, lo que genera bastante interés en poder definir parámetros como la granulometría del depósito, liberación de las partículas, granulometría del mineral de interés, densidad específica de los minerales de interés y de los principales minerales que puedan entrar en competencia durante el proceso de concentración. En los depósitos aluviales se debe realizar análisis de muestras grandes (CIM, 2019) y hacer reducción mediante clasificación y concentración, no se debe realizar cuarteo de la muestra. Se debe demostrar que el tamaño de grano del oro fue apropiadamente considerado durante todo el diseño del proceso metalúrgico del mineral.

### 5.1.3.1 Distribución granulométrica

Es común que el material anfitrión y el mineral de interés en los depósitos de placer tengan una alta variabilidad de tamaños, pasando de altos porcentajes de arena a altos porcentajes de gravas en pocos metros. El conocimiento de la distribución granulométrica permite definir la capacidad y las dimensiones requeridas de los equipos de clasificación y concentración, de acuerdo con los balances de masa, que se adapten a las características del principal dominio del depósito. El profesional líder debe tener presente estos dominios extremos para el diseño de la planta, de manera que se garantice una adecuada recuperación durante toda la vida de la mina (LOM) con los equipos seleccionados.

Para esto, se requiere una caracterización completa de la distribución granulométrica de los materiales que conforman el depósito, tanto para el estéril como para el concentrado y el mineral económico del depósito. Dicha caracterización resulta de la integración de los resultados de las diferentes pruebas realizadas con muestras de apiques, perforaciones o muestreos en masa; a partir de los cuales se identifican los minerales que generan competencia en el proceso de beneficio.

### 5.1.3.2 Densidad específica

Para utilizar un método de concentración gravimétrica debe existir un criterio de concentración gravitacional por lo que es importante definir las diferentes densidades específicas, tanto del mineral de interés, como de los minerales que compiten en la concentración, así como la densidad del fluido en el que se realiza la concentración. Esto permite definir con mayor precisión el flujo de concentrado entre las diferentes corrientes del flujograma.

La concentración por diferencia de densidades se ve fuertemente afectada por la distribución de tamaño en la alimentación. Una partícula, por pesada que sea, si tiene un diámetro muy pequeño se comporta hidráulicamente igual que una liviana de mayor diámetro y por lo tanto no hay buena separación; por esto, no se recomienda alimentar los equipos de concentración con distribuciones granulométricas muy amplias (Bustamante, Gaviria, & Restrepo, 2008), la mejor práctica es que el material que alimenta al equipo tenga un rango de tamaños lo más homogéneo posible.

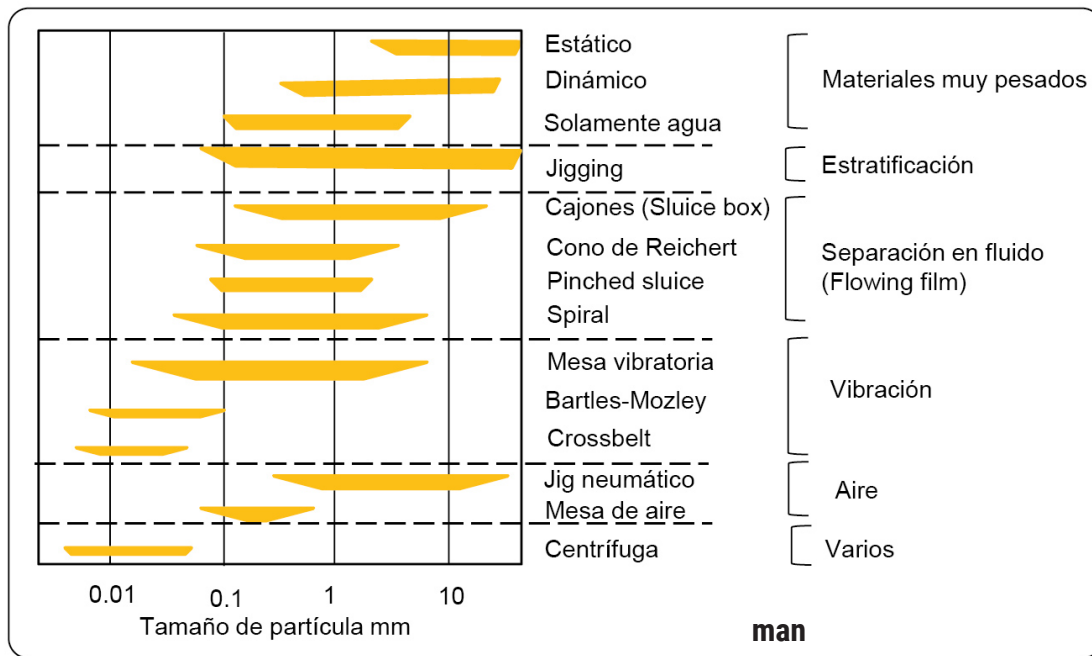
### 5.1.3.3 Lavabilidad y liberación del mineral

Se debe analizar la facilidad que presenta el mineral a concentrar para ser liberado del material anfitrión en los diferentes dominios presentes en el depósito, es común encontrar paquetes de gravas con presencia de arcillas no consolidadas que generan una mayor dificultad en el proceso de liberación y clasificación del mineral. Se deben reportar estos hallazgos y realizar pruebas de clasificación y concentración individuales que permitan definir la afectación que poseen estos dominios en la recuperación final del depósito.

### 5.1.3.4 Concentración

Se deben realizar muestreos de concentración a escala de laboratorio y como prueba piloto que permitan definir los parámetros de diseño del

proceso de beneficio, con el objetivo de seleccionar los equipos que más se adapten al depósito. En estas pruebas debe analizarse la relación entre el tenor de alimentación, la recuperación y los costos de operación. Se deben reportar los índices metalúrgicos obtenidos en los diferentes muestreos entre los que se incluyen recuperación, razón de enriquecimiento, índice de selectividad, razón de concentración, rendimiento de concentración, eficiencia de separación. Burt (1984), presenta los rangos de operación de las unidades de concentración gravimétrica (Figura 35).



**Figura 35.** Rangos de operación de las unidades de concentración gravimétrica  
Fuente: Burt, 1984

### 5.1.3.5 Flujograma

Acorde con los resultados de las pruebas piloto de clasificación y concentración, se debe generar el flujograma y hacer el balance de masa según los niveles de producción estimados para la operación, donde se deben considerar las etapas de desvaste (rougher), barrido (scavenger) y limpieza.

### Recomendaciones

- Si bien la caracterización granulométrica permite determinar los porcentajes promedio de arenas en los estratos auríferos del depósito, con base en los cuales se diseña la planta de beneficio, es necesario tener en cuenta que el mismo depósito puede presentar altas variaciones y eventualmente la planta podría llegar a saturarse. Una buena práctica es diseñar la planta de beneficio considerando estos picos para evitar pérdidas de oro por saturación de equipos.
- Plantear metodologías adecuadas para la desintegración de paquetes arcillosos ya que éstas atrapan las partículas de oro

e impiden su recuperación. Sin embargo, es necesario tener en cuenta que pueden ocurrir pérdidas por este factor, por lo que se recomienda hacer un análisis de beneficio específico para estos materiales que permitan obtener un factor de recuperación apropiado.

- El equipo de beneficio debe ser diseñado buscando la recuperación de las fracciones más finas de oro del depósito, se recomienda tener en cuenta que algunas partículas está en forma de polvo impalpable y son llevadas en suspensión por la corriente, por lo que es conveniente caracterizar estas pérdidas.

## 5.2 Factores ambientales

Precisar el componente ambiental a lo largo de todas las fases del proyecto permite definir las rutas más adecuadas para el desarrollo de las actividades, de manera que se puedan evitar posibles contratiempos y costos elevados, tanto en tiempo como en dinero, causados por falta

de previsión de las variables ambientales a considerar dentro del proyecto. Además, tanto las actividades de exploración como de explotación, deben ejecutarse teniendo en cuenta el constante cuidado del medio ambiente.

Los factores ambientales no deben considerarse únicamente para la conversión de recursos a reservas, éstos deben tenerse en cuenta desde la concepción del proyecto en sus fases iniciales y su alcance va más allá del cierre y abandono de la mina.

### 5.2.1 Trámites y permisos ambientales

Para cualquier proyecto minero, sin importar su envergadura y el método de explotación, resulta determinante definir con precisión el entorno en donde se desarrolla y con ello los recursos naturales que se verán impactados por las actividades mineras. Es necesario tener en cuenta, que cualquier proyecto minero se beneficia de los recursos naturales renovables que encuentre en su medio de desarrollo, por lo que el titular del proyecto debe asegurarse de definir las áreas de intervención (pozas, canales, patios de maniobras, talleres, campamentos, etc.), las actividades a ejecutar, los procedimientos técnicos, las tecnologías a implementar, el personal requerido y todo lo que define el objeto del proyecto.

Todo lo anterior, desde el punto de vista de la gestión ambiental, tiene como finalidad definir el alcance de los permisos ambientales y los trámites implícitos en la consecución de los mismos, toda vez que son de obligatorio proceder administrativo, frente a la autoridad ambiental regente de los recursos naturales con jurisdicción en el territorio donde se desarrolla el proyecto.

Un trámite ambiental se define como el proceso que debe surtir cualquier usuario (persona natural o jurídica, pública o privada) ante la autoridad ambiental para acceder al uso, aprovechamiento o movilización de los recursos naturales renovables o para el desarrollo de proyectos, obras o actividades de equipamiento e infraestructura

dentro de la jurisdicción. En el marco de un proyecto minero, son varios los permisos y trámites ambientales que surten los usuarios, para introducir la dimensión ambiental en su proyecto, entre los cuales se destacan los siguientes:

- Licencia Ambiental
- Permiso de prospección y explotación de aguas subterráneas
- Concesión de Aguas superficiales
- Concesión de Aguas subterráneas
- Aprovechamiento Forestal
- Permiso de Vertimientos
- Permiso de Emisiones Atmosféricas
- Permiso de Ocupación de Cauces

### 5.2.2 Autoridades, competencias y jurisdicción

Las Corporaciones Autónomas Regionales (CAR) establecen las determinantes ambientales en el área de su jurisdicción, definen las zonas de importancia ambiental y el componente de gestión del riesgo. Estas determinantes se incorporan en los Planes de Ordenamiento Territorial y establecen el uso del suelo y las áreas de actividad con usos condicionados, restringidos o prohibidos.

El profesional líder debe identificar la entidad ambiental reguladora para la zona de interés o de acuerdo a la escala de su proyecto (CAR, ANLA u otra), así como asegurar que se realice la revisión de los diferentes instrumentos de planeación ambiental y territorial, tales como POMCAS, POMIAS, PMAA, entre otros, para identificar las áreas factibles de explotación minera. Conocer estas áreas y traslaparlas sobre el polígono de la concesión minera es parte del proceso de vinculación de los factores modificadores ambientales en la estimación y categorización de reservas.

### 5.2.3 Alcance de los factores ambientales

Como se menciona en el capítulo 2, la planeación por fases de trabajo facilita la definición de actividades, permisos e inversiones según la etapa en la cual se encuentre el proyecto. Establecer el alcance de los componentes ambientales según la fase de trabajo, es una buena práctica que ayuda en la optimización de las labores. En este sentido, deben programarse los permisos, estudios y planes de manejo ambiental para la fase de exploración, de explotación y para el cierre y postcierre de la mina.

Respecto a este último punto, para la evaluación del factor modificador ambiental, es necesario tener en cuenta que la responsabilidad no termina con el cierre de la mina, hay que establecer los mecanismos y medidas para garantizar la estabilidad física y química de las obras e infraestructura que quedarán en el área de trabajo, así como el horizonte temporal de posibilidad de eventos; dichos mecanismos requieren de inversiones y por lo tanto tienen un impacto en la estimación de las reservas.

### 5.2.4 Prohibición del mercurio

Una de las medidas ambientales más importantes en la explotación de depósitos auríferos en Colombia es la prohibición del uso del mercurio para el beneficio de los minerales, dada la alta toxicidad de este elemento y las afectaciones al medio ambiente. Este parámetro debe considerarse tanto dentro del factor modificador ambiental, ya que debe cumplirse con lo establecido en la Ley 1658 de 2013 y la Ley 1892 de 2018 (Convenio de Minamata), como dentro del factor técnico, al diseñar la planta de beneficio.

### Recomendaciones

- Identificar la Autoridad Ambiental con jurisdicción en el área del proyecto y conocer las especificaciones técnicas establecidas por la misma para la gestión de los diferentes

trámites.

- Anticipar los trámites ambientales y las posibles causas de rechazo para optimizar el tiempo y los costos.
- Verificar que la información disponible se encuentre actualizada y vigente respecto a medio ambiente, permisos, licencias y a los factores socio comunitarios relacionados con el proyecto y que cumpla con la normatividad vigente.
- Asegurar que el sistema de beneficio cumpla con la normatividad vigente en materia ambiental.
- Tener en cuenta que está prohibido el uso de mercurio en los procesos de beneficio.

## 5.3 Factores sociales

De manera similar al factor modificador ambiental, el factor modificador social debe abordarse desde las fases tempranas de exploración, ya que, para desarrollar las labores planeadas, es necesario el aval de las comunidades próximas al proyecto. Sin embargo, el impacto económico es más relevante cuando se realiza la conversión de recursos a reservas, pues los costos en los que debe incurrir el proyecto para cubrir las labores sociales, afectan directamente las reservas.

El análisis del factor modificador social incluye el diagnóstico de las condiciones de vida de los habitantes del área, las comunidades presentes, sus tradiciones y expectativas; para acoplar los beneficios sociales que brinda la empresa a las necesidades de la sociedad.

### 5.3.1 Servidumbre

Si bien un contrato de concesión otorga, bajo una ley, los derechos sobre los recursos encontrados en el subsuelo, los terrenos superficiales son indispensables para el desarrollo de las labores de

exploración y explotación y éstos se rigen por normativas diferentes; por lo tanto, se recomienda hacer un adecuado programa de adquisición y manejo de las servidumbres necesarias para la ejecución de las labores del proyecto.

Para etapas de exploración se sugiere formalizar por escrito las servidumbres con los ocupantes y/o propietarios de los predios donde se ejecutan las actividades y realizar el respectivo cierre de los trabajos ejecutados; dependiendo del tiempo de las actividades y si se encuentran en predios de naturaleza privada se puede evaluar si se justifica o no elevar el acuerdo a escritura pública con las formalidades del caso.

Para la explotación misma y para un buen manejo de las áreas a intervenir en relación a los tenedores, ocupantes y/o propietarios, se debe iniciar con una identificación jurídico/predial de los inmuebles, con la debida anticipación según la planeación minera. Este proceso empieza con la identificación de predios en relación a los bloques de explotación, la consulta de información predial (obtenida de oficinas de catastro municipales y/o departamental) y propietarios, poseedores u ocupantes con quienes, a través de un coordinador social, se realizan acercamientos para obtener información sobre la titularidad de los predios para generar una línea base.

Es importante documentar las visitas o acercamientos y realizar actas de colindancia, en las cuales se plasman las áreas ocupadas y los colindantes de los predios de interés, las mejoras identificadas al momento de la visita. En caso de no encontrar ocupantes por tratarse de un presunto baldío sin ocupante identificado, debe dejarse constancia de ello, pues esta constancia es un soporte en los trámites de formalización y/o regulación de servidumbres que se deban gestionar ante la Agencia Nacional de Tierras, conforme lo establecido en el acuerdo 29 de 2017 emitido por esta misma entidad.

De la información recolectada en campo se deben hacer los análisis jurídicos correspon-

dientes (estudios de títulos y/o diagnósticos jurídicos) que permitan identificar posible riesgos que se puedan generar por la negociación directa que se haga con ocupantes/poseedores/propietarios y además que permitan aclarar quienes son las personas con las que se debe negociar o generar el pago de la indemnización por la explotación a ejecutar, así mismo estos estudios validaran riesgos importantes en relación a Procesos de Restitución de Tierras o temas relacionados con lavados de activos, por lo anterior siempre es recomendable en cualquier estudio jurídico realizar consultas a la Sociedad de Activos Especiales.

Con los ocupantes/poseedores/propietarios de predios se celebra un contrato de compraventa y/o constitución de servidumbre por documento privado firmado por ambas partes y/o escritura pública debidamente registrada según el caso, lo anterior depende del interés que tenga la minera en la permanencia en los predios o inclusive son determinaciones que se toman con ocasión a los intereses de la contraparte misma.

Para el caso de terrenos baldíos de la nación, como bien se indicó anteriormente, se debe, adicional al acuerdo que se haga con el ocupante, cumplir con lo establecido en el acuerdo 29 de 2017, Agencia Nacional de Tierras, esto es formalizar o regular la servidumbre con el titular de los derechos sobre el suelo, para el caso concreto ANT.

Ahora bien, cuando las negociaciones son fallidas con poseedores/ocupantes y/o propietarios se debe llevar y cumplir a cabalidad lo establecido en la Ley 1274 de 2008 “Por la cual se establece el procedimiento de avalúo para las servidumbres petroleras” esto de conformidad al artículo 27 de la Ley 1955 de 2019, por la cual se expide el Plan Nacional de Desarrollo 2018-2022 “Pacto por Colombia, Pacto por la Equidad”, el cual hace una remisión directa a esta ley. En dicha regulación se sigue el procedimiento de lo que mal conocemos como “imposición de servidumbre” dando como resultado la habilitación vía judicial para ingreso al predio para el ejercicio de las servidumbres y

la fijación de la caución que el minero deba al predio sirviente por el ejercicio de la mismo y/o indemnización.

### 5.3.2 Minería informal

Debido a la relativa facilidad de explotación de los depósitos de placer, es común encontrar operaciones informales en las zonas de acumulación de estos depósitos. Algunas operaciones son ejecutadas por mineros tradicionales de la misma región que han mantenido este tipo de labores durante años. Entre las consideraciones sociales, deben incluirse los planes de manejo y convivencia con dichos mineros y además debe evaluarse la afectación que este tipo de operaciones pudiera tener sobre los recursos y las reservas del proyecto, ya que algunas veces, este tipo de operaciones dejan pasivos ambientales que requieren manejo y atención que se traducen en costos para el proyecto.

### 5.3.3 Beneficios a comunidades

Hoy en día es una realidad que los trabajos de exploración y explotación minera están sometidos a un mayor escrutinio por parte de la sociedad, esto debido a una nueva conciencia sobre el uso racional de los recursos naturales, tanto renovables como no renovables. Una manera de trabajar en armonía con esta conciencia, es a través de los programas de beneficio para las comunidades directamente impactadas por el proyecto, que debe llevar a cabo la compañía minera y que deben ir de acuerdo con las necesidades más relevantes de la comunidad y con el marco normativo establecido para este propósito. Actualmente, las empresas mineras tienen la oportunidad de trabajar en conjunto con el Estado y las comunidades en proyectos de inversión claves para el desarrollo, a través de programas de “obras por impuestos” acogidos por normatividad.

La recomendación es hacer todos los esfuerzos

que sean necesarios para informar claramente a las comunidades sobre las labores, impactos y beneficios de las actividades mineras.

### Recomendaciones

- Se recomienda evaluar periódicamente, cómo fueron afectados los recursos y reservas mineras por la minería informal e ir actualizando dichos balances.
- Establecer la estrategia de desarrollo sostenible teniendo en cuenta las influencias culturales y sociales de la zona. Dicha estrategia debe procurar la potenciación de los impactos positivos del proyecto y mitigación de los impactos negativos.

## 5.4 Factores de infraestructura

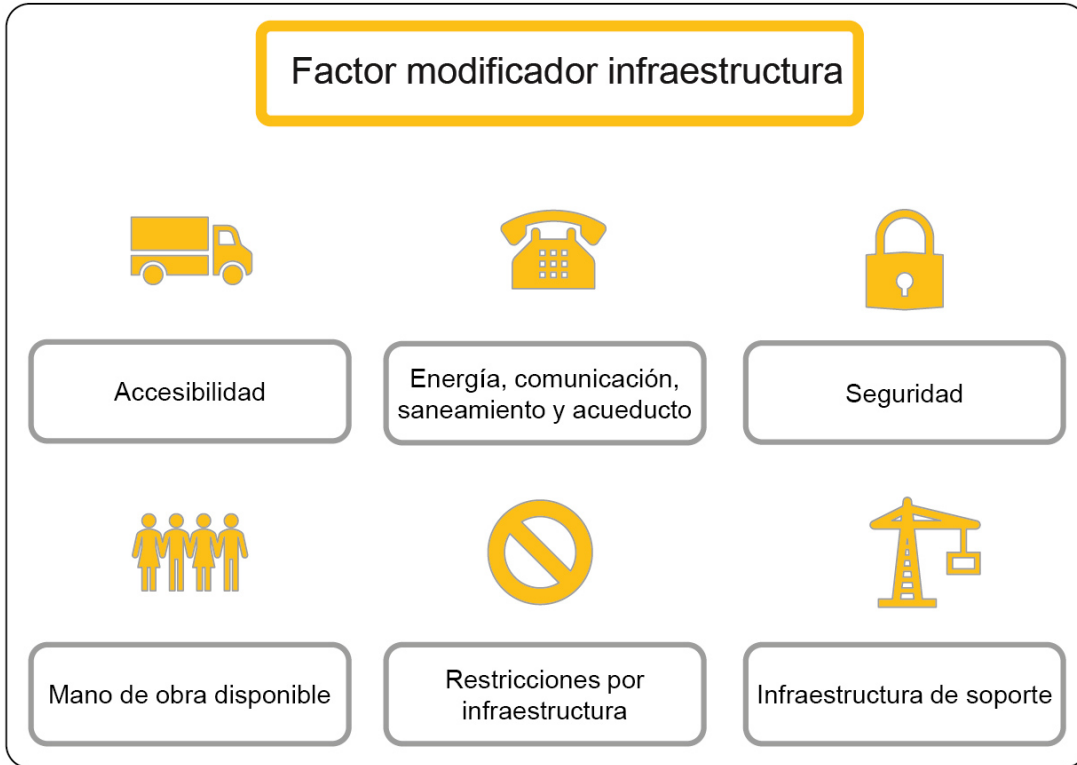
La infraestructura existente en el área de influencia del depósito aluvial, tiene un efecto significativo en los costos, cronogramas de montajes, transporte de insumos y disponibilidad de servicios. El costo de capital de infraestructura puede variar sustancialmente de un sitio a otro y a menudo es una función de la ubicación más que de la elección del método de extracción o procesamiento (CIM , 2019). Se han identificado varios casos en los que la infraestructura se ha subestimado críticamente, lo cual ha llevado al fracaso de los proyectos dados los requerimientos reales de infraestructura (Rupprecht, 2016). Entre los componentes más destacados de este factor modificador, se tienen los siguientes (Figura 36):

### 5.4.1 Accesibilidad al sitio

Es necesaria una caracterización de las vías de acceso al área de trabajo analizando las que ya existen y las que es necesario construir. Dicha caracterización debe incluir implicaciones tales como permisos requeridos para construir las vías, costo de las obras, mantenimiento, obras comple-

mentarias para control de aguas de escorrentía, entre otras. Las obras para accesibilidad a las zonas de explotación deben garantizar el suministro de insumos, movilidad de personal y producción del proyecto minero. Para esto se deben evaluar actividades como aperturas y acondicionamiento

de vías, canales de flotación, helipuertos, entre otros. En caso de requerir transporte de material por vías privadas o públicas se deben verificar los permisos de servidumbres, capacidades y restricciones de carga.



**Figura 36.** Componentes más destacados del factor modificador infraestructura  
Fuente: autores

### 5.4.2 Energía, comunicación, saneamiento y acueducto

Se deben identificar las fuentes principales de energía, comunicación y suministros de agua requeridas y disponibles para el proyecto. Esto permitirá definir los requerimientos de equipos específicos y permisos para cubrir la operación, entre los más comunes se pueden encontrar solicitudes de interconexión eléctrica y acueducto, recolección o disposición final de residuos, permisos de captación y vertimientos domésticos, repetidoras de señal, plantas eléctricas, sistemas de tratamiento de aguas, motobombas entre otros.

### 5.4.3 Seguridad

Se recomienda realizar un análisis de seguridad para determinar los riesgos y amenazas potenciales del área de influencia del proyecto con el fin de garantizar la seguridad de las operaciones y sus colaboradores. Se deben considerar las medidas para la protección del personal, de equipos, de instalaciones y producciones dependiendo de las necesidades del proyecto. Ya sea por contratación directa de personal y equipos de seguridad o por convenios con empresas especializadas, los costos generados por las medidas de seguridad deben tenerse en cuenta para la conversión de recursos a reservas.



#### 5.4.4 Mano de obra disponible

Una evaluación de la tradición económica y disponibilidad de mano de obra del área de influencia del proyecto permite establecer el personal local y foráneo requerido acorde con los perfiles de los cargos disponibles, con estos datos se pueden tomar decisiones acerca del requerimiento o no de campamento minero, capacidad del campamento, transporte, manutención del personal, entre otros. Se recomienda priorizar, en la medida de lo posible, la fuerza laboral y los proveedores locales, ya que esto también genera un beneficio a las comunidades de la zona, las cuales pueden ver al proyecto minero como una oportunidad de crecimiento para todos.

#### 5.4.5 Restricciones por infraestructura

Es importante verificar las áreas de retiros de la infraestructura existente (vías, bocatomas de acueductos, puentes, alcantarillas, redes eléctricas, entre otros) y conocer los planes de desarrollo municipal, departamental y nacional, con referencia a las zonas de explotación minera para verificar que la posible infraestructura propuesta en dichos planes, no sea una restricción para el desarrollo del proyecto. En ocasiones, es posible que la infraestructura existente en el área de trabajo restrinja la estimación de reservas.

#### 5.4.6 Infraestructura de soporte

Se recomienda identificar los costos, disponibilidad y tiempos asociados con soporte industrial, administrativo, puertos, suministros de combustibles, repuestos y demás actividades o insumos que puedan afectar los rendimientos de las labores mineras, y los cronogramas de montaje y operación. La infraestructura de soporte permite tomar decisiones referentes a los inventarios de insumos para la operación, inversiones en talleres y obras adicionales del proyecto con el objetivo de garantizar los rendimientos mínimos esperados en la operación.

#### Recomendaciones

- Georeferenciar en mapas la infraestructura existente e indicar los principales hitos de infraestructura para las nuevas obras del proyecto.
- Tener en cuenta la posible afectación de las condiciones climáticas de la zona sobre la infraestructura requerida para el proyecto. Las temporadas de lluvia /sequía pueden dificultar el desarrollo de las operaciones.

### 5.5 Factores económicos

Lograr una operación exitosa desde el punto de vista económico requiere de un análisis riguroso y realista de los gastos e inversiones del proyecto y de la rentabilidad esperada. El factor económico enmarca la viabilidad financiera y permite definir, en las diferentes etapas del proyecto, si el depósito tiene una perspectiva razonable para su eventual extracción económica. El detalle de la evaluación económica depende de la fase del proyecto; en la Tabla 8 se resumen algunos de los aspectos más relevantes de esta evaluación, los estudios se realizan a nivel conceptual, de prefactibilidad o de factibilidad de una propiedad minera o en una mina en operación.

Para la conversión de recursos minerales indicados y/o medidos a reservas probables y/o probadas, se requiere al menos de un estudio de prefactibilidad que incluya un plan minero que sea técnicamente realizable y que todos los parámetros relevantes para una evaluación de la viabilidad financiera del proyecto sean considerados.

La viabilidad económica del proyecto debe ser justificada mediante el análisis de la oferta y la demanda, la calidad y cantidad del mineral a ser comercializado, los precios de venta, los costos operativos (opex), la inversión inicial (capex), el capital de trabajo, el modelo económico, el flujo de caja, e incluir un análisis de sensibilidad del proyecto. En la industria minera los modelos de

descuento de flujo de caja son usados para evaluar la viabilidad de los proyectos.



## Más información

- The Argument for a “Bare Bones” Base Case. Smith, L.D. CIM, 1999.
- Discounted Cash Flow Analysis – Methodology and Discount Rates. Smith, L.D. CIM Bulletin, 2002.
- Economic Evaluation and Investment Decision Methods. Stermole, F.J., and Stermole, J.M. Investment Evaluations Corporation, 2014.
- Discounted Cash Flow Analysis Input Parameters and Sensitivity: in Mineral Property Valuation Proceedings. Lattanzi, C. R. Keith N. Spence and William E. Roscoe, co-chairs, 2000.

**Tabla 8. Evaluación de componentes económicos según la fase del proyecto**

<b>Evaluación económica</b>	<b>Evaluación Económica Preliminar (PEA)</b>	<b>Estudio de prefactibilidad</b>	<b>Estudio de factibilidad</b>
Análisis financiero	Evaluación preliminar de principales parámetros económicos	Evaluación de los principales factores económicos	Evaluación completa de principales parámetros económicos
Mercado y precio	Conocimientos industriales y consenso de precios	Análisis preliminar del mercado, calidades requeridas y restricciones de producción	Estudio detallado de mercado
Regalías e impuestos	Evaluación preliminar de principales parámetros económicos	Evaluación preliminar de principales parámetros económicos	Análisis detallado con opiniones de autoridades de impuestos
Fundición, refinería y transporte	Datos históricos	Presupuestos a partir de cotizaciones	Contratos a firmar
Análisis de flujo de caja	Flujo de caja simple	Flujo de caja preliminar	Flujo de caja de detalle
Criterios económicos	TIR Y VPN (antes y después de impuestos)	TIR Y VPN preliminar (antes y después de impuestos)	Análisis completo de TIR, VPN, ROI y periodo de recuperación (antes y después de impuestos)
Análisis de sensibilidad	Análisis básico a una cantidad mínima de variables	Análisis preliminar para definir variables clave del proyecto	Numerosos análisis a todas las variables clave del proyecto
<b>Costos de capital</b>	<b>Evaluación Económica Preliminar (PEA)</b>	<b>Estudio de prefactibilidad</b>	<b>Estudio de factibilidad</b>
Estructuras civiles, eléctricas, labores de construcción, materiales y precios de equipos, infraestructura, volúmenes de material	Orden de magnitud basado en datos históricos	Estimados por datos históricos, porcentajes y cotizaciones de vendedor basados en volumen de material	Detalle de estimaciones, ingeniería del 15 al 25% por completar, cotizaciones múltiples
Contratistas	Incluir unidad de costo o porcentaje de costo total	Porcentaje del costo directo por costo de área del contratista, históricos de subcontratos	Cotizaciones de contratistas y subcontratistas
Propietarios	Estimativos históricos	Estimados por experiencia para proyectos similares	Estimados a partir del presupuesto cero de detalle
Capital de trabajo	Factorizado por experiencia histórica	Estimado de experiencia factorizada para proyectos similares	Estimados a partir del presupuesto cero de detalle
Ambiental, social, costos de cierre	Factores de estimaciones históricas	Factores de proyectos similares y estimaciones de experiencia	Estimación de detalle
Precisión	± 50%	± 25%	± 15%
Contingencia	± 25%	± 15%-30%	10%
<b>Costos operativos</b>	<b>Evaluación Económica Preliminar (PEA)</b>	<b>Estudio de prefactibilidad</b>	<b>Estudio de factibilidad</b>
Bases	Orden de magnitud estimado	Estimado por tarifas unitarias	Estimados a partir del presupuesto cero de detalle
Cantidades operativas	General	Cantidades por estimación con algunos factores	Estimados a partir del presupuesto cero de detalle
Unidad de costos	Costo histórico y factorización	Estimados incluyen mano de obra, energía, consumibles, mantenimiento, mercadeo, ambientales y cierre de mina	Cartas de cotización de proveedores
Ambiental, social, costos de cierre	Factores de estimaciones históricas	Estimados por experiencia o factores de proyectos similares	Estimados de detalle a partir del presupuesto cero de detalle y permisos específicos requeridos
Precisión	± 25%-50%	15%-25%	10%-15%
Contingencia	± 25%	± 15%	± 10%

**Fuente: Modificado de The SAMREC Code, 2016**

### 5.5.1 Estudio de mercado

Con el objeto de definir criterios y elementos para evaluar la factibilidad del proyecto, y dependiendo de la magnitud del mismo, se analizan las tendencias y proyecciones del mercado interno (local, regional) y externo (nacional, internacional) y se estiman la oferta y la demanda, los precios y ventas esperadas, se define la estrategia de comercialización y se hacen los análisis de riesgos comerciales (ANM, 2018). El profesional responsable del estudio de mercado debe centrar sus esfuerzos en definir un precio apropiado de venta, el cual es la base para determinar el tenor de corte del proyecto. Dicho tenor de corte tiene un impacto significativo en la estimación de recursos y reservas minerales.

Entre las metodologías más comunes para la definición del precio del mineral para los análisis financieros se encuentran los promedios históricos a largo plazo, el promedio móvil de tres años, el precio de consenso, el precio del contrato, el margen sobre costo de producción, el precio actual del mineral y la consulta de reportes de especialistas. El profesional responsable del estudio debe explicar las principales asunciones tenidas en cuenta (CIM, 2015).

Minerales como el oro, plata, y platino se encuentran clasificados dentro de los commodities, que son bienes básicos que se negocian con base en el precio establecido por transacciones de mercado, lo cual genera una gran volatilidad en su comercialización. Para el oro, que es uno de los principales minerales extraídos de los depósitos aluviales, se debe tener en cuenta que sus características y comportamiento son diferentes a los demás metales, ya que funciona mucho más como activo financiero que como commodity y el precio está fuertemente relacionado con la demanda de inversión (Pereira, 2014), por lo que se recomienda evaluar parámetros como compras netas de bancos centrales, demanda de inversionistas, tasas de interés americana (USA), inventarios comex y posibles impactos por recep-

ciones económicas y factores geopolíticos.

### Recomendaciones

- Es importante definir la metodología para la estimación del precio del commodity acorde a la etapa del proyecto. No se recomiendan metodologías de corto plazo como precio actual del commodity o promedio móvil de tres años, para proyectos que pretendan entrar en explotación a largo plazo, igualmente no se recomiendan metodologías de largo plazo para proyectos que están o iniciaran explotación en corto plazo.
- El profesional encargado del análisis económico debe comprender el momento del mercado y evitar usar precios actuales si éste se encuentra en picos demasiado altos o bajos, ya que con facilidad se podría afectar los recursos y reservas del proyecto.

### 5.5.2 Modelo económico

Un requerimiento fundamental para la declaración de las reservas minerales en una operación minera en ejecución o propiedad minera en etapa de evaluación es el demostrar la viabilidad económica de la operación con los parámetros técnicos bajo consideración, tales como el análisis y costeo de todos aquellos factores que puedan impactar la viabilidad de económica de extraer los recursos minerales del depósito. Esto es comúnmente realizado mediante la preparación de un modelo económico de Descuento de Flujo de Caja (DFC) (CIM 2019).

Los modelos económicos son comúnmente construidos usando periodos sucesivos de un año y proporcionando diferentes métricas del DFC como Valor Presente Neto (VPN), Tasa Interna de Retorno (TIR) y periodo de retorno. Los modelos económicos deben ser preparados antes y después de impuestos.

Un análisis económico del conjunto de parámetros técnicos y factores modificadores debe incluir al menos un modelo de flujo de caja base, el cual contenga todos los impuestos y regalías en las cuales deba incurrir el proyecto y que, preferiblemente, use un precio constante para metal y tasas de cambio los cuales deben ser fijados por una persona idónea, para ello se recomienda consultar la guía de la CIM 2005.

No se deben incluir deudas en el modelo, ya que este no es un criterio de viabilidad de los parámetros técnicos que están bajo consideración en relación a la preparación de la declaración de reservas minerales. Tampoco se debe incluir la inflación, pues los proyectos mineros por lo general cubren largos periodos de tiempo donde esta variable es difícil de predecir (CIM 2019).

Algunos elementos esenciales de un modelo económico preparado para soportar la declaración de reservas minerales son los siguientes:

### **5.5.2.1 Producción**

Los modelos económicos incluyen un cronograma anual de la producción de mina, la cantidad de metros cúbicos de material, tanto mineralizado como estéril, los tenores y la recuperación esperada (puede variar con el tenor, rendimiento, estratigrafía del depósito, humedad y demás factores que puedan afectar la eficiencia del minado) (CIM, 2019).

También debe incluir cronograma anual de la planta de producción con el detalle de los metros cúbicos de material a procesar, tenor, recuperaciones metalúrgicas, los metros cúbicos y el tenor de las pilas de almacenamiento, si se tuvieren planeadas, y de los botaderos finales (si presentan alguno). El cronograma de producción debe reconocer cualquier aceleración que requiera el proceso (McNulty, 2014), tanto para la planta de procesamiento como para la mina (CIM, 2019).

### **5.5.2.2 Ingresos**

Los ingresos, tanto brutos como netos, son parte fundamental del modelo económico. Para calcular los ingresos debe considerarse el cronograma anual del metal recuperado. Para los depósitos aluviales de oro, platino y plata es recomendable realizar el reporte en onzas; en caso de que se estén recuperando concentrados, se deben reportar las toneladas de concentrado y su tenor. Para minerales como el oro, es importante considerar la ley o pureza del metal (CIM, 2019).

### **5.5.2.3 Costos Operativos (Opex)**

Para el cálculo de los costos operativos para el modelo económico, comúnmente se considera un cronograma anual que incluya los costos de operación de mina, del beneficio, de fundición y refinación, de transporte y seguridad, de comercialización, fletes, pérdidas, seguros, de los impuestos y compromisos sociales, los generales y administrativos (G&A), entre otros (CIM, 2019).

### **5.5.2.4 Costos de capital (Capex)**

Para el cálculo de los costos de capital para el modelo económico, se recomienda, con base en un cronograma anual, considerar el desarrollo del método de explotación seleccionado y los equipos requeridos, el desmonte inicial (si es requerido), los equipos de beneficio e instalaciones de procesamiento, servicios, infraestructura, la adecuación de botaderos y tratamiento de residuos de la operación, el EPCM (Gestión de ingeniería, adquisiciones y construcción), los costos de propiedad, las contingencias y otros costos de capital asociados con la construcción inicial de instalaciones (CIM, 2019).

Adicionalmente, se recomienda incluir los cronogramas anuales de mantenimiento y sustitución de equipos mineros y de procesamiento, el manejo de jarillones o desarrollos de bloques independientes y los costos anuales de cierre durante y después de operación.

### 5.5.2.5 Capital de trabajo

El modelo económico también comprende un cronograma anual del capital de trabajo requerido durante la fase inicial, para soportar la operación hasta que los ingresos del proyecto sean recibidos. Se deben incluir ítems como inventarios, consumibles y el flujo de caja de operación estimado en mina (CIM, 2019).

### 5.5.2.6 Impuestos, regalías

Un cronograma anual de todos los impuestos y regalías debe ser incluido en el modelo económico, estas pueden incluir, pero no están limitadas a, regalías no gubernamentales, pagos de acuerdo por impacto y beneficio, impuestos locales y estatales, impuestos y regalías mineras, impuestos de capital, retención de impuestos, y gravámenes especiales (CIM, 2019).

### 5.5.2.7 Modelo flujo de caja

Un cronograma anual del flujo de caja es construido por todos los ítems considerados anteriormente en el contexto de recursos y reservas minerales. Para asegurarse que el modelo DFC sea una evaluación justa de la viabilidad económica se considera una buena práctica utilizar el mismo precio del mineral que se utilizó en las estimaciones del programa de producción. Si el precio del metal o valor asumido difiere, se deben explicar las razones del precio asumido, y proporcionar los resultados del DFC y precio asumido para determinar los cronogramas de producción y declaración de reservas (CIM, 2019).

### 5.5.2.8 Valor presente neto y tasa de descuento

Una vez el flujo de caja anual sea calculado, como mínimo deben ser reportados los siguientes ítems: flujo de caja descontado después de impuestos, VPN evaluado con una tasa de descuento acorde al riesgo del proyecto, TIR y periodo de recuperación. El VPN es típicamente reportado con una tasa de descuento ajustada al riesgo, la evalua-

ción debe incluir una explicación de la estimación de dicha tasa. Si el VPN es positivo a esta tasa de descuento, el proyecto es considerado como económicamente viable; por lo tanto, se justifica la declaración de reservas minerales.

La tasa de descuento ajustada al riesgo se espera que refleje el costo de capital del propietario del proyecto, el nivel de riesgo de la etapa actual del proyecto (scoppy, prefactibilidad, factibilidad, operación), riesgos jurisdiccionales o de país, y los riesgos que durante el estudio del proyecto puedan ser incorporados apropiadamente dentro de una tasa de descuento.



## Más información

- Mining Economics and Strategy. Runge, I. C. Society for Mining, Metallurgy, and Exploration, 1998.
- Discounted Cash Flow and Discount Rates. Smith, L.D. CIM 2002.

### 5.5.3 Análisis de sensibilidad

La evaluación económica incluye un análisis de sensibilidad u otro análisis usando variantes en el precio del commodity, diferentes tenores, costos de capital y operativos y otros parámetros relevantes detectados durante la evaluación, e incluir una discusión del impacto de los resultados.

Al realizar un análisis de sensibilidad, es importante examinar los impactos de las variaciones positivas y negativas de los parámetros en análisis, ya que el análisis de solo variaciones positivas o solo variaciones negativas pueden llevar a conclusiones engañosas.

El VPN del flujo de caja anual debe ser calculado para un rango de tasas de descuento, el análisis debe ser equilibrado con tasas de descuento más altas y más bajas alrededor de la tasa de descuento ajustada al riesgo; sin embargo, la tasa de descuento más baja debe continuar reflejando

la razonabilidad para la información prospectiva. Los resultados deben ser presentados como tablas o gráficos.

Debido a la complejidad de ejecutar dichos análisis de sensibilidad, un enfoque común es mantener las reservas minerales fijas (volumen, tenor, programas de producción) y los demás valores como constantes mientras se ajustan las variables deseadas en el rango de valores. Este enfoque se denomina comúnmente como enfoque determinista.

Los resultados de cualquier análisis de sensibilidad deben ser claramente presentados en tablas o gráficos y ser balanceados acorde con el nivel del estudio. Uno de los análisis de sensibilidad debe mostrar el impacto de las variaciones en el precio del commodity en las principales estimaciones del flujo de caja, el rango de los precios del metal queda a discreción del profesional, pero el extremo inferior del rango de precios debe incluir un valor en que el flujo de caja sin descuento se vuelva cero, y un valor en que el VPN se vuelva cero.



### Más información

- Guidance on commodity pricing used in resource and reserve estimation and reporting submitted by the Commodity Price. CIM, 2015.
- US securities and exchange commission (sec) guideline.

## 5.6 Factores jurídicos

La legislación vigente para manejo y control por parte de las diferentes autoridades que intervienen en los procesos mineros, las disposiciones en el ámbito de ordenamiento territorial y los diferentes contratos o compromisos legales del proyecto, constituyen el factor modificador jurídico, el cual debe acompañar el análisis de con-

versión de recursos a reservas.

Es importante considerar las contraprestaciones económicas con las cuales está comprometido el proyecto, ya sea con entidades gubernamentales (cánones superficiales, condiciones de pago de regalías), empleados, sindicatos, comunidades o terceros en general; tener claras las autoridades mineras que intervienen en el proyecto, la ley que rige el título y los compromisos documentales, propiedad del terreno, compromisos con bancos o entidades financieras, join ventures, obligaciones con propietarios de tierras, servidumbres, acuerdos de formalización, comunidades especiales (indígenas, negritudes, otras), entre otros.

Es importante tener en cuenta la fecha de expiración del título minero, ya que este factor es un determinante de las reservas mineras.

## 5.7 Otros factores

En los numerales anteriores se mencionan los factores modificadores más comunes que afectan, tanto a proyectos de depósitos de placer, como a otro tipo de yacimientos; sin embargo, el profesional líder debe verificar si existen factores modificadores de otra índole que también pueden afectar las actividades de exploración y explotación. En caso de que se identifiquen otros factores, es necesario realizar un análisis de los mismos y definir el impacto económico que tendrían sobre las posibles reservas.



**6**

**Estimación de reservas**



El ECRR® indica que:

Una 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. Tales estudios demuestran que, en el momento del reporte, la extracción podría estar justificada razonablemente.

En esta fase, los estudios han sido definidos, como mínimo a nivel de prefactibilidad y se tiene un plan de explotación propuesto.

Los recursos indicados pueden pasar a ser reservas probables, esto quiere decir que la certidumbre no es total y que aún deben evaluarse algunos parámetros para llevar dichos recursos a la categoría de medidos para que eventualmente puedan pasar a reservas probadas. Los recursos medidos pueden pasar a reservas probables o probadas, dependiendo de la confianza en la estimación y en los parámetros evaluados.

Para convertir recursos a reservas deben considerarse, entre los factores modificadores de orden técnico, la dilución y pérdidas que puedan ocurrir en los procesos de explotación.

Esta sección considera factores importantes para estimar una Reserva Mineral y documentar el proceso de estimación. Como una estimación de la Reserva Mineral representa la recopilación del trabajo realizado por numerosas disciplinas profesionales, el profesional líder de la estimación debe comprender la importancia del trabajo de cada disciplina para evaluar la viabilidad económica (CIM, 2019).

## 6.1 Tenor de corte (*Cut off*)

El tenor de corte es una unidad de medida que representa un punto de referencia fijo para la

diferenciación de dos o más tipos de material. Debido a la complejidad de las estimaciones de la Reserva Mineral, se pueden requerir numerosos tenores de corte para estimar una Reserva Mineral (CIM, 2019).

La (s) calificación (es) de corte (el límite económico o el límite de pago) debe estar claramente establecida, sin ambigüedades y fácilmente entendible. Los procedimientos utilizados para establecer las estrategias de corte deben estar bien documentados, fácilmente disponibles para su revisión y claramente establecidos en las declaraciones de divulgación (CIM, 2019).

El tenor de corte debe ser relevante para la distribución de tenor modelado para el Recurso Mineral. Si los tenores de corte están fuera del rango especificado, el profesional líder debe revisar la confiabilidad del modelo y puede ser necesario un nuevo modelo (CIM, 2019).

Un objetivo clave de la estimación de la Reserva Mineral es la extracción y entrega exitosa de un Recurso Mineral para su procesamiento en el tenor estimado. Deben tenerse en cuenta los problemas asociados con la minería selectiva, donde la ley de corte se establece alta en relación con la ley promedio del recurso mineral (CIM, 2019).

## 6.2 Preparación

El profesional líder debe documentar y utilizar una metodología para estimar las reservas minerales para garantizar que no se ignore ningún factor significativo. La planificación previa es importante para identificar los factores que afectan la estimación de la Reserva Mineral. Utilizar una lista de verificación para garantizar que se consideren todos los aspectos es una buena práctica.

Es importante que la información disponible forme la base de un proyecto económicamente viable. La prueba de viabilidad económica debe estar bien documentada

como parte del proceso de estimación de la Reserva Mineral. El requisito de viabilidad económica implica la determinación de los flujos de efectivo anuales y la inclusión de todos los parámetros que tienen un impacto económico (CIM, 2019).

## 6.3 Categorización

El ECRR® proporciona dos categorías para la definición de Reserva Mineral, Reserva Mineral Probada y Reserva Mineral Probable, el profesional líder debe garantizar que se cumplan los criterios mínimos antes de asignar estas categorías y debe ser consciente de todos los insumos utilizados para establecer la Reserva Mineral que afectan la confianza en las categorías. La metodología para establecer la clasificación debe estar bien documentada y entenderse fácilmente. La buena práctica incluye proporcionar una descripción narrativa de las razones cualitativas detrás de la selección de la categoría. Cuando sea práctico, se debe usar evidencia empírica (por ejemplo, datos de producción) para calibrar y justificar la categorización (CIM, 2019).

## 6.4 Validación

Es responsabilidad del profesional líder garantizar la verificación de todos los aportes a la estimación de la Reserva Mineral. Como la estimación de la Reserva Mineral se basa en muchas entradas de datos, incluido el modelo de Recursos Minerales, es importante que las entradas y la consistencia de las entradas sean validadas como parte del proceso de estimación de la Reserva Mineral. La identificación de los aspectos críticos de la estimación de la Reserva Mineral es una parte importante de la verificación de entradas (CIM, 2019).

## 6.5 Practicidad de la minería

Los aspectos prácticos de las tasas y métodos de extracción para un depósito son consideraciones importantes en la estimación de una

Reserva Mineral. El profesional líder debe evaluar las diversas propuestas al estimar una Reserva Mineral. También se debe tener cuidado para asegurar que el equipo de minería seleccionado es apropiado para el depósito. El profesional líder debe tener un alto nivel de confianza en la viabilidad de los métodos de extracción y procesamiento considerados al determinar las Reservas Minerales (CIM, 2019).

El profesional líder, cuando sea apropiado, debe considerar configuraciones alternativas de mina / planta. La selección de los métodos y tasas de minería y procesamiento apropiados pueden implicar varias iteraciones e involucrar el aporte de miembros de otras disciplinas (CIM, 2019).

## 6.6 Evaluación de riesgos del proyecto

Si bien la clasificación de la Reserva Mineral permite al profesional líder identificar el riesgo técnico en términos generales, la mejor práctica incluye el establecimiento de una metodología para identificar y clasificar los riesgos asociados con cada entrada de la estimación de la Reserva Mineral. Esto ayudará a establecer la categorización de la Reserva Mineral, proporcionando así una comprensión del riesgo técnico asociado con la estimación de la Reserva Mineral. Esta metodología, clasificación y análisis deben estar bien documentados (CIM, 2019).

## 6.7 Revisiones hechas por pares

Una buena práctica incluye una revisión interna por pares, de la estimación de la Reserva Mineral que tenga en cuenta insumos, metodología, supuestos subyacentes, los resultados de la estimación en sí misma y una prueba de viabilidad económica (CIM, 2019).

## 6.8 Auditorias

Al completar un Estudio de Pre-factibilidad, o en el caso de cambios significativos en una estimación de Reserva Mineral, la buena práctica incluye la finalización de una auditoría de alcance adecuado realizada por un profesional imparcial. La auditoría debe considerar la metodología utilizada, probar la razonabilidad de los supuestos subyacentes y revisar la conformidad con las definiciones y clasificación de la Reserva Mineral. La metodología para la identificación, evaluación y gestión del riesgo de la Reserva Mineral también debe incluirse en la auditoría de la Reserva Mineral. La auditoría debe documentarse, distribuirse y responderse de manera que reconozca el buen gobierno corporativo (CIM, 2019).

## 6.9 Documentación

A menudo hay varias iteraciones de evaluaciones realizadas durante un período prolongado de tiempo antes de completar un Estudio de Pre-factibilidad. La mejor práctica incluye la documentación apropiada de los insumos, metodología, riesgos y supuestos utilizados en estas valoraciones para que estén disponibles para futuras estimaciones de la Reserva Mineral.

La información debe ser fácilmente recuperable, fácilmente disponible y catalogada de manera que permita una evaluación del historial de las evaluaciones realizadas y registre la ubicación de toda la información, informes relevantes, etc. Es importante asegurarse de que la información utilizada en una evaluación y la comprensión obtenida de un depósito mineral, esté disponible para trabajos futuros. Se debe tener cuidado en el almacenamiento y considerar la evolución continua de los formatos de archivos de computador y el impacto que esto puede tener en el trabajo anterior (CIM, 2019).

## 6.10 Declaraciones de Reserva Mineral

Las declaraciones de la Reserva Mineral deben ser inequívocas y suficientemente detalladas para que una persona con conocimientos comprenda la importancia de cada parámetro tenido en cuenta. En el caso de las estimaciones de la Reserva Mineral de depósitos de placer, la relación de descapote, si la hay, debe establecerse sin ambigüedades. Debería haber un vínculo obvio entre la estimación de la Reserva Mineral y la estimación del Recurso Mineral. La buena práctica incluye documentación de esos vínculos (por ejemplo, dilución y recuperación minera) que se usaron para preparar la estimación de la Reserva Mineral (CIM, 2019).

### Más información

- Categorización de recursos y reservas mineras. Ortiz J., Emery X.
- Mineral resource estimation (1st ed.). Rossi, M. E., & Deutsch, C. V. Dordrecht, Germany, 2014.
- CIM Estimation of Mineral Resources & Mineral Reserves Best Practice Guidelines, 2019.

## 6.11 Discusión de la confianza relativa

En la evaluación de la viabilidad de un proyecto minero, ya sea para decidir la inversión y financiamiento de este, o discutir el plan de operación minera y el diseño de mina, un factor determinante radica en evaluar y analizar los valores de los resultados de la precisión y la incertidumbre de las calidades encontradas para cada bloque, y determinar, con base en la experiencia, qué

grado de confianza arrojan las estimaciones realizadas (Bonilla et al., 2021).

Al momento de analizar y discutir la confianza relativa que reflejan los datos recolectados en la exploración, el modelo geológico, y la categorización de los recursos y reservas, se recomienda tener en cuenta que el nivel de confianza de las estimaciones, se basa en el grado del conocimiento geológico del depósito, en los muestreos realizados y los resultados de los análisis de laboratorio, en los controles de calidad implementados en los diferentes procesos, en el tratamiento de los datos y en la precisión del método de estimación aplicado.

reconciliación indique diferencias considerables. Este procedimiento de ajuste paulatino, permite que periódicamente se tenga mayor certeza de las reservas del proyecto.

### Recomendaciones

- Llevar planillas, formatos o bitácoras para el control y la cuantificación de los volúmenes de producción y registro de la recuperación.



### Más información

- Estándar Colombiano para el reporte público de resultados de exploración, recursos y reservas minerales- Tabla 1. Comisión Colombiana de Recursos y Reservas, 2018.

## 6.12 Reconciliación

Una vez se puesto en marcha el proyecto con la elección del mejor método de explotación, acorde a las condiciones específicas del proyecto en cuanto a escala y condiciones técnicas, ambientales, económicas, sociales, jurídicas, de infraestructura, etc., se debe establecer el procedimiento para medir la recuperación de los minerales de interés y evaluar la eficiencia de los sistemas y equipos.

Existen diversos métodos para la cuantificación de los volúmenes extraídos en las operaciones, por ejemplo, el control de la topografía de los bloques disponible. En la medida que se extrae material, debe hacerse una verificación, tanto de los volúmenes como de los tenores estimados vs. los recuperados. Una buena práctica es ajustar los procesos y sistemas de beneficio, cuando la



**7**

**Reportes**

En la preparación de reportes públicos, comunicados de prensa, reportes internos o documentos técnicos para las entidades gubernamentales, debe incluirse información general que permita al lector entender el objetivo, el alcance y el contenido del documento; así como contextualizarse del estado técnico, legal, ambiental, social y económico del proyecto.

Antes de redactar un reporte o documento es necesario comprender a quiénes está dirigido, cuál es la información más relevante que buscará el lector en el documento y cuál es la manera más adecuada de estructurarlo para que se garantice su total comprensión. El profesional líder es responsable de determinar el contenido que debe tener cada informe y de consultar los términos de referencia, guías o requerimientos de cada entidad a la cual se dirigirá el informe (Autoridad Minera, Bolsa de Valores, Autoridad Ambiental, reportes internos, entre otras).

Una buena práctica consiste en definir claramente los siguientes parámetros, antes de la elaboración de cualquier documento:

- **Público objetivo:** definir claramente a quién va dirigido el documento facilita la tarea de precisar su contenido, el lenguaje requerido y la posible longitud aceptable.
- **Estructura del documento:** la estructura del documento debe ser acorde con el público objetivo al que está dirigido. Es recomendable revisar los manuales, guías metodológicas, estándares o normas disponibles para seleccionar la estructura más conveniente al documento, garantizando que lo consignado en el reporte es comprensible, completo y ordenado.
- **Fuentes de información:** toda información adquirida de fuentes secundarias debe ser evaluada para decidir si ésta aporta o no al documento. Cuando se usa información de fuentes secundarias, ésta debe citarse dentro del texto y todos los documentos

citados deben aparecer en la bibliografía del documento.

## 7.1 Objetivo del reporte

El objetivo del reporte debe establecerse claramente, ya que éste es la base para el desarrollo del contenido. El objetivo del reporte permite al lector hacer un balance respecto a si éste fue efectivamente alcanzado.

## 7.2 Descripción del proyecto

La descripción del proyecto es la presentación inicial de los resultados de la recolección de información y de exploración o estimación de recursos y reservas y permite a los usuarios del reporte obtener información preliminar para identificar con claridad la situación legal y técnica del título minero.

Entre los datos más relevantes debe incluirse la información del título minero, propietario, etapa actual del proyecto, características del depósito cuando éste ha sido caracterizado o las proyecciones del mismo cuando el reporte comprenda sólo fases tempranas de exploración, características del material, unidad geológica; un resumen de las labores de cartografía y muestreo que se han llevado a cabo, tamaño del depósito, estimación de recursos del proyecto, restricciones o avances de carácter ambiental, social, político, jurídico. Las conclusiones de la integración de toda la información adquirida deben tener énfasis en el potencial o viabilidad económica del proyecto, las recomendaciones a que haya lugar y una síntesis de la siguiente etapa a ejecutar.

El reporte debe tener claramente definido su alcance y debe brindar la ubicación, extensión y características del depósito de placer, además de incluir las características técnicas de la infraestructura requerida para la puesta en marcha del proyecto, las formas de extracción y la estructura organizacional que debe tener la operación minera.

La información que pueda ubicarse geográficamente debe presentarse en planos o mapas, con el fin de contextualizar al usuario del documento respecto a la ubicación de los elementos más relevantes.

En síntesis, la descripción permite definir los aspectos más importantes del proyecto entre los que se cuentan: antecedentes, infraestructura existente, resultados de exploración, fases y actividades del proyecto, aspectos geológicos, estructura del proyecto minero, recursos minerales, factores modificadores y reservas minerales.

Cuando se trata de reportes de proyectos en producción, se recomienda incluir datos del método de explotación, tiempo durante el cual ha estado activa la operación, capacidad instalada, datos de producción, y en caso de que haya exploración adicional, también es conveniente hacer mención de la misma.

## 7.3 Localización

La localización del proyecto es fundamental para la comprensión de la información que hace parte del reporte; ésta debe ser suficientemente clara para ubicar espacialmente el título y para identificar la infraestructura disponible, tales como vías de acceso, centros poblados cercanos y con condiciones especiales (resguardos indígenas, comunidades campesinas, zonas de restricciones ambientales, entre otros), pues los aspectos geográficos y administrativos repercuten en las necesidades logísticas y técnicas del proyecto minero.

Es conveniente presentar la localización del proyecto de manera tanto escrita como gráfica. Se recomienda ubicar al lector primero desde lo regional (país, departamento) hasta lo local (municipio, vereda). Las descripciones textuales deben ser suficientemente claras para garantizar que el usuario pueda ubicar exactamente el lugar donde se localiza el proyecto y los diferentes medios para acceder al mismo (terrestre, aéreo, fluvial).

La información gráfica puede consistir de figuras y mapas que contengan datos suficientes para entender la ubicación del proyecto. Es posible generar ayudas gráficas de acuerdo con el diseño del documento, éstas deben ser legibles, organizadas y brindar la información que pretenden transmitir.

### Recomendaciones

- Elaborar los mapas y figuras de localización con coordenadas según convenciones actuales y escalas convenientes. Se sugiere el uso de escalas convencionales para facilitar el entendimiento de mapas y su uso en papel.
- Verificar el amarre a la Red Geodésica Nacional (IGAC) exigido por las entidades gubernamentales y utilizarlo en los productos gráficos internos de la compañía, si se considera conveniente.
- Garantizar que todos los elementos cartográficos necesarios para indicar correctamente la localización, queden incluidos en mapas y figuras.
- Para el caso de reportes públicos, el profesional que firma el reporte, debe hacer una declaración respecto a la confianza relativa en las estimaciones. En dicha declaración se recomienda incluir las limitantes y alcances de la estimación y los factores modificadores adicionales que afectan el proyecto.

## 7.4 Salidas gráficas

Los mapas, diagramas, columnas estratigráficas, figuras, modelos 2D o 3D y en general, las representaciones gráficas, son un material de soporte imprescindible en todo proyecto minero, no solo como parte de los reportes y documentos, sino como material guía para toma de decisiones en cualquier etapa o actividad de los procesos de

exploración y explotación.

Cuando se trata de representar el terreno en una proyección plana, los detalles de escala, sistema de proyección, datos que se incluirán en el plano, colores, textos, convenciones, entre otros, deben ser atendidos con la mayor diligencia para garantizar su calidad y el cumplimiento de su propósito.

La información gráfica puede dividirse en dos categorías: interna, cuando se usa para documentos y procesos al interior de la compañía, o externa, cuando dicha información será compartida con usuarios externos a la compañía (posibles inversionistas, autoridades estatales, academia, entre otros). Ya sean internas o externas, lo más recomendable es unificar los parámetros para las salidas gráficas, de manera tal que no sea necesario generar productos específicos para un caso u otro.

Como ejemplo, si los requisitos técnicos de representaciones gráficas de alguna autoridad estatal, se consideran adecuados para los reportes y procesos internos, lo mejor es utilizar esos requisitos técnicos también para las salidas gráficas internas. Si es necesario establecer diferencias entre productos para uso interno o externo, la recomendación es que éstos se generen de manera organizada para evitar confusiones en la información o salidas gráficas inadecuadas.

Para el caso de los mapas, se recomienda generar plantillas estandarizadas que garanticen la inclusión de los elementos necesarios para que el lector pueda comprender la información. Cuando los mapas se elaboran para las entidades gubernamentales, es recomendable consultar la normatividad vigente de cada entidad respecto al tema, para garantizar que se cumplen todos los requerimientos exigidos.

Las figuras que se generan para documentos tienen un menor tamaño que un mapa; por lo tanto, se deben conservar los elementos esenciales a la escala adecuada para garantizar su comprensión. La resolución de las imágenes es

clave para su entendimiento, frecuentemente se utilizan capturas de pantalla de documentos externos que carecen de la calidad que debe contener cualquier figura en un reporte, lo ideal es garantizar la calidad de la imagen, bien sea digitalizándola o usando solo las que son legibles y claras. Cuando las figuras se copian o se adaptan de fuentes externas, dicha fuente debe referenciarse en el texto descriptivo, de tal manera que el lector pueda conocer el origen de la información.

## Recomendaciones

- Generar plantillas para la presentación de mapas y figuras y revisarlas periódicamente para verificar su vigencia.
- Garantizar que los mapas tengan todos los datos básicos para su entendimiento y que dichos datos sean presentados ordenadamente en el mapa.
- Consultar periódicamente con las autoridades estatales la información gráfica que debe entregarse y ajustar los productos de acuerdo con los requisitos de dichas autoridades. Para el caso de la ANM, actualmente se cuenta con el Modelo de Datos Geográfico para entrega de la información compilada en sistemas de información geográfica.
- Revisar la resolución y la calidad de las imágenes que han de ser incluidas en los reportes y determinar estándares de presentación.





## Más información

- Metodología para Presentación de Estudios Ambientales. Capítulo 4, versión 2018.
- Resolución 40600 del 27 de mayo de 2015. Agencia Nacional de Minería 2015.

## Referencias bibliográficas

ANM. (2018). Términos de referencia LTE, PTO para materiales y minerales distintos del fondo marino. Bogota.

ANM. (12 de 08 de 2021). Anna Minería. (Agencia Nacional de Minería) Obtenido de <https://anna-mineria.anm.gov.co/html5viewer/index.html?viewer=SIGMExt&locale=es-CO&appAcronym=sigm>

Bonilla Osorio, G. E., Castaño López, A., Nieto Patarroyo, M. A., & Parra Bastidas, S. D. (2021). Guía de Buenas Prácticas de la Esmeralda Colombiana. Bogotá: CCRR-Fedesmeraldas-ANM.

Burt, R. (1984). Gravity Concentration Technology. Amsterdam: Elsevier Science BV.

Bustamante, O., Gaviria, A. C., & Restrepo, O. J. (2008). Concentración de minerales. Medellín: UNAL.

Cadavid, R. (1998). Manual de exploración y evaluación de aluviones. El Bagre.

CCRR. (2018). Estándar Colombiano para el Reporte Público de Resultados de Exploración, Recursos y Reservas. Bogotá D.C.: Comisión Colombiana de Recursos y Reservas.

CIM. (2019). CIM Estimation of mineral resources and mineral reserves best practice guidelines.

Westmount, Canada.

CIM. (2015). Guidance on commodity pricing used in resource and reserve estimation and reporting submitted by the Commodity Price. Toronto.

CIM Mineral Resource & Mineral Reserve Committee. (2018). CIM Mineral Exploration Best Practice Guideline. Westmount: Canadian Institute of Mining, Metallurgy and Petroleum - CIM.

Escalante, R. (2019). Draga de cangilones. Universidad Portuaria.

FAO, Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2013). Buenas prácticas en la FAO: Sistematización de experiencias para el aprendizaje continuo. Obtenido de <http://www.fao.org/3/ap784s/ap784s.pdf>

Ghosh, P., Mandal, H., Sirisha, B., Sen, U., Goswami, S., & Kiran, N. (2019). A Modified Acid Digestion Method for Analysis of Gold in Geological Samples: A Comparative Study. MAPAN 34 (4) 551-558.

Herrera Herbert, J., & Pla Ortiz de Urbina, F. (2006). Métodos de Minería a Cielo abierto. Madrid: Universidad Politécnica de Madrid. Departamento de Explotación de Recursos Minerales y Obras Subterráneas.

ios Services Géoscientífiques inc. (17 de agosto de 2021). Obtenido de [www.iosgeo.com](http://www.iosgeo.com/en/news/last-news/artgoldtma-breakthrough-in-detrital-gold-grain-down-to-the-micron/): <http://www.iosgeo.com/en/news/last-news/artgoldtma-breakthrough-in-detrital-gold-grain-down-to-the-micron/>

Isobel, C. (1979). Practical Geostatistics 3. London: Applied Science Publishers.

Lomberg, K., & Rupprecht, S. (2016). The 2016 SAMREC Code. Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy.

Macdonald, E. (2007). Handbook of gold exploration and evaluation. Woodhead Publishing Limited.

McNulty, T. (2014). Plant ramp-up profiles: An update with emphasis on process development.

COM. Conference of Metallurgists Proceedings ISBN: 978-1-926872-24-7.

Ministerio de Minas y Energía. (2015). Glosario Técnico Minero. Bogotá: Ministerio de Minas y Energía.

Ministerio de Minas y Energía. (2015). Resolución 40599. Por medio de la cual se adopta el Glosario Técnico Minero. Diario Oficial Edición 49524. Mayo 27 de 2015 (Vol. 49524, Issue 49524, p. 71), 49524(49524), 71. Bogotá: Ministerio de Minas y Energías.

Pereira, A. V. (2014). Análisis mercado global del oro. Santiago de Chile.

PMI. (2017). Guía de los fundamentos para la dirección de proyectos. Pennsylvania: Project Management Institute, PMI. PMBOK.

Pratt, G. (2005). Applied Geophysics. Ontario, Canada: Department of Geological Sciences and Geological Engineering. Queen's University.

Prieto R., G., Guatame, C. L., Cárdenas, S. C., & (comps). (2019). Recursos Minerales de Colombia, vol. 2. Bogotá: Servicio Geológico Colombiano.

Rupprecht, S. (2016). The application of modifying factors. The SAMREC/SAMVAL Companion Volume Conference (págs. 187-194). Southern African Institute of Mining and Metallurgy.

Simón, A. (2013). Taller de Aseguramiento y Control de la Calidad en la Exploración Geológica. Medellín: MEC, International Ingeniería y Construcción Ltda.

Spring, V., Leroux, D. C., Berezowski, M. G., & Dumouchel, J. (2003). Placer Deposits. Canadian Institute of Mining.

Stebbins, S. A. (1987). Cost estimation handbook for small placer mines. Spokane, WA: United States Department of the Interior.

Turpo Phuño, J. (2018). Determinación de los parámetros geométricos del talud, para garantizar la estabilidad del tajo superficial del área de }


- Estándares de cartografía geológica digital para planchas a escala 1:100.000 y mapas departamentales versión 2. Servicio Geológico Colombiano, 2012

- FGDC Digital Cartographic Standard for Geologic Map Symbolization.

explotación en la unidad minera "Moisés Randy 2010". Moquegua, Perú: Universidad Nacional de Moquegua.

Vlasblom, W. (2003). Dredger Familiarization. Visakhapatnam: Indian maritime university.

Wells, J. H. (1989). Placer Examination: Principles and Practice.



“Buenas prácticas para el desarrollo de una minería responsable, moderna y eficiente”