

# Mineralización y Explotación Minera Artesanal en la Costa Sur Media del Perú

Boletín N° 4 Serie E

Minería



Por:

Edwin Loaiza Choque

Héctor Zárate Olazábal

Armando Galloso Carrasco



Dirección de Recursos Minerales y  
Energéticos

*Institución Geocientífica al Servicio del País*

Lima-Perú

2008

MINERÍA  
N° 4, Serie E, 2008.

Hecho el Depósito Legal N° 2008-06769  
Razón Social: Instituto Geológico Minero y Metalúrgico  
(INGEMMET)  
Domicilio: Av. Canadá N° 1470, San Borja, Lima-Perú  
Primera Edición, INGEMMET 2008  
Se terminó de imprimir el 2 de junio del año 2008 en los  
talleres de INGEMMET.

© INGEMMET

Derechos Reservados. Prohibida su reproducción

Presidente del Consejo Directivo: Sr. Jaime Chávez Riva Gálvez  
Secretario General: Sr. Mario Huerta Rodríguez  
Asesor Geocientífico: Sr. José Macharé Ordóñez

Comité Editor: José Macharé O., Víctor Carlotto C., Hernando  
Núñez del Prado, Lionel Fidel S., Humberto Chirif R.

Unidad encargada de edición: Unidad de Relaciones  
Institucionales.

Corrección Geocientífica: Humberto Chirif  
Digitalización y SIG: Samuel Lu  
Revisión científica: Miguel Páez  
Corrección gramatical y de estilo: Glenda Escajadillo  
Diagramación: Zoila Solis

**Referencia bibliográfica**

Loaiza, E.; Zárate, H.; Galloso, A.  
Mineralización y Explotación Minera Artesanal en la Costa Sur  
Media del Perú.  
INGEMMET, Serie E. Minería, N° 4, 79p.,  
3 mapas escala 1:500 000

Portada: Mineros artesanales de la mina Cerro Rico  
(Chuquibamba) - Arequipa.

## Contenido

<b>CAPÍTULO I</b> .....	<b>1</b>
ASPECTOS GENERALES .....	1
<b>CAPÍTULO II</b> .....	<b>5</b>
GEOLOGÍA-MINERÍA .....	5
<b>CAPÍTULO III</b> .....	<b>43</b>
METALURGIA DEL ORO .....	43
<b>CAPÍTULO IV</b> .....	<b>57</b>
ASUNTOS AMBIENTALES .....	57
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	71
BIBLIOGRAFÍA .....	73

## RELACIÓN DE MAPAS E ILUSTRACIONES

### **Mapa escala 1:500 000**

Mapa N° 1	Mapa Geológico y Sectores Mineralizados
Mapa N° 2	Mapa Geológico y Catastro
Mapa N° 3	Mapa Topográfico, Ocurrencias y Catastro

### **Figuras**

Figura N° 1.1	Mapa de ubicación de los sectores mineralizados.
Figura N° 1.2	Mapa metalogénico.
Figura N° 3.1	Típico circuito «Carbón en Pulpa» (CIP). 25 TM/d.
Figura N° 3.2	Circuito «Carbón en Lixiviación» (CIL), Planta Aurelsa 25TM/d, en Relave, Pullo, Ayacucho.
Figura N° 3.3	Proceso de adsorción para recuperar los metales preciosos.
Figura N° 3.4	Tanque de Desorción de Carbón activado para minería artesanal, capacidad: 25 kg por ciclo.

### **Cuadros**

Cuadro N° 2.1	Características y propiedades del oro nativo y otros minerales auríferos.
Cuadro N° 3.1	Relación de plantas de beneficio por el sistema de cianuración existentes en la zona de franja Nasca-Ocoña.
Cuadro N° 4.1	Niveles de mercurio presentados por Rangos de Edad de los trabajadores, hombres, mujeres y niños mineros Expuestos a mercurio en la Comunidad Minera Santa Filomena (muestras de orina)
Cuadro N° 4.2	Niveles de mercurio según proporción porcentual de la población evaluada en trabajadores, hombres, mujeres y niños mineros expuestos mercurio de la comunidad minera Santa Filomena
Cuadro N° 4.3	Contenido de mercurio y oro en muestra referenciales de relaves de amalgamación obtenidos del sistema quimbaleta.
Cuadro N° 4.4	Resultados de análisis por mercurio total y mercurio soluble sobre muestras referenciales obtenidas de diversas plantas de cianuración.

# CAPÍTULO I

## ASPECTOS GENERALES

### GENERALIDADES

La franja Nasca–Ocoña con mineralización oro-cobre-hierro, comprende el segmento Arequipa del batolito de la costa (Pitcher et al. 1985), se localiza en la costa sur media del Perú. Por la presencia de nuevos prospectos auríferos, dicha franja se extiende por el Norte hasta Ica y por el Sur hasta La Joya (Arequipa). Esta franja se ha explotado intermitentemente desde el siglo XVII, habiéndose ubicado a la fecha más de un centenar de depósitos de oro, cuyas características son principalmente del tipo filoniano y de origen hidrotermal. Las ocurrencias son minadas por oro-plata-cobre.

Existen otros tipos de depósitos que corresponden a cuerpos irregulares, stock work» y disseminados, algunos con leyes de oro económicos que requieren mejores técnicas para su extracción.

Esta franja aurífera que recorre desde Ica hasta Chuquibamba/La Joya (Arequipa); está clasificada como una provincia metalogenética de oro. La franja se localiza en la vertiente del Pacífico de la Cordillera Occidental y comprende los departamentos de Ica, Arequipa y parte sur de Ayacucho. El oro como el elemento más importante se presenta como Oro Libre (zona NO y Central de la franja); en menor proporción como Electrum (zona SE de la franja), y como solución sólida en la pirita (Zona Central y parte SE de la franja).

### UBICACIÓN Y EXTENSIÓN

El área en discusión se encuentra localizada en la costa sur del país y comprende desde el departamento de Ica (provincia del mismo nombre) hasta el departamento de Arequipa (provincias de Condesuyos e Islay); abarca una superficie aproximada de 350 km de largo por 40 km de ancho, con altitudes que varían entre

500 a 4300 m. Esta zona de estudio comprende las provincias de Ica, Palpa, Nasca, Lucanas, Parinacochas, Caravelí, Condesuyos e Islay en los departamentos de Ica, Ayacucho y Arequipa (véase Figs. 1.1 y 1.2).

Las coordenadas UTM de los vértices del área estudiada son:

Vértice	Coordenada Norte	Coordenada Este
V1	8 566 000	429 000
V2	8 195 000	873 000
V3	8 118 000	808 000
V4	8 429 500	392 000

### ACCESO

El acceso a esta provincia metalogenética es por la carretera Panamericana Sur, que es la vía que recorre toda la zona de NO a SE, aproximadamente a lo largo de 470 km. Existen también carreteras afirmadas y caminos de penetración.

La carretera Panamericana Sur une las siguientes ciudades del área de estudio: Ica (a 295 km de Lima), Palpa (a 398 km), Nasca (a 445 km), Chala (a 610 km), Atico (a 705 km), Ocoña (a 786 km) y Camaná (a 887 km).

Las carreteras de penetración más utilizadas son: Nasca-Otoca (83 km), Nasca-Los Incas (64 km), Yauca-San Luis (49 km), Chala-Cora Cora (230 km), Atico-Caravelí (73 km), Ocoña-San Juan de Chorunga (45 km) y Desvío Aplao-Chuquibamba (63 km).

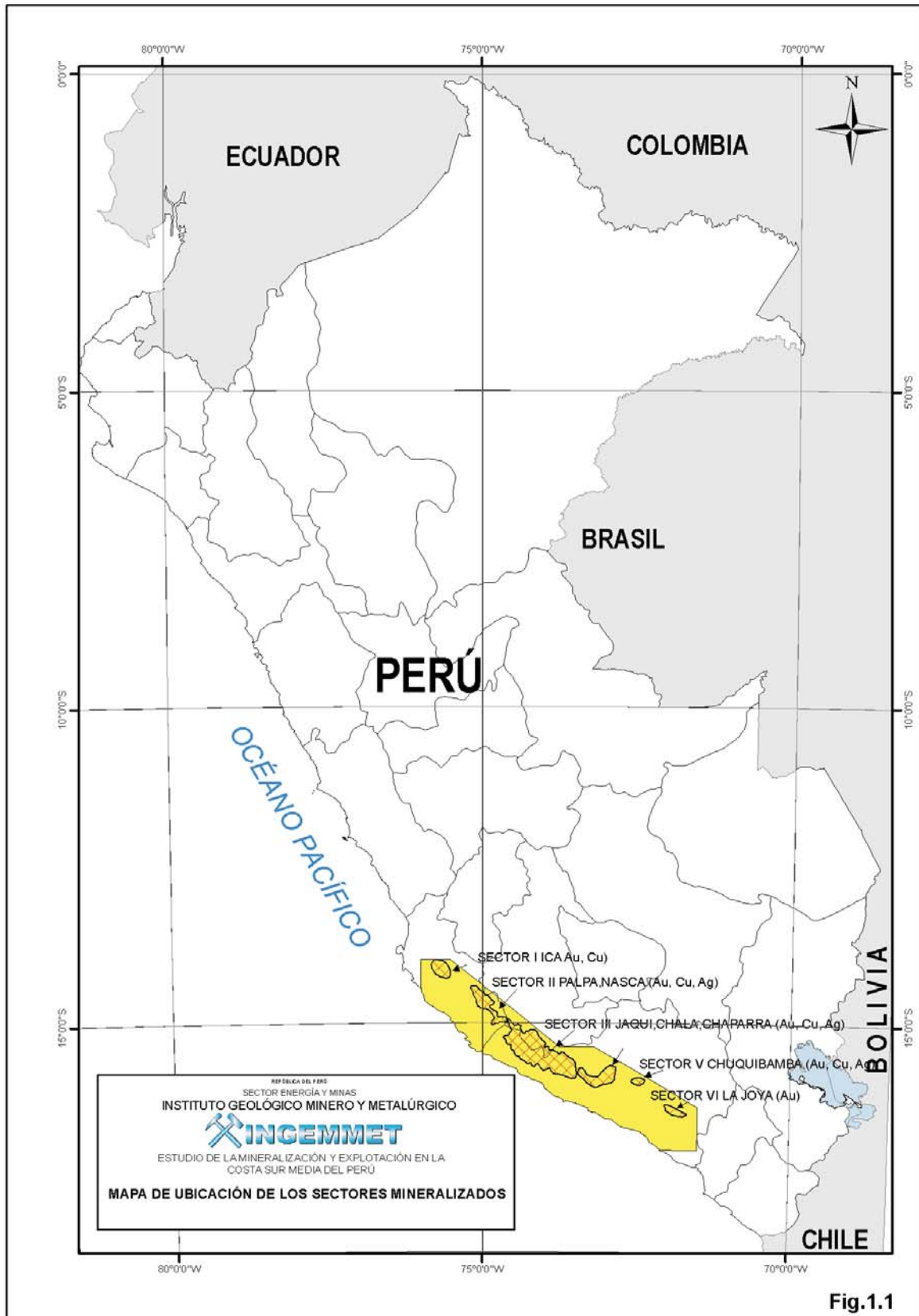


Fig.1.1

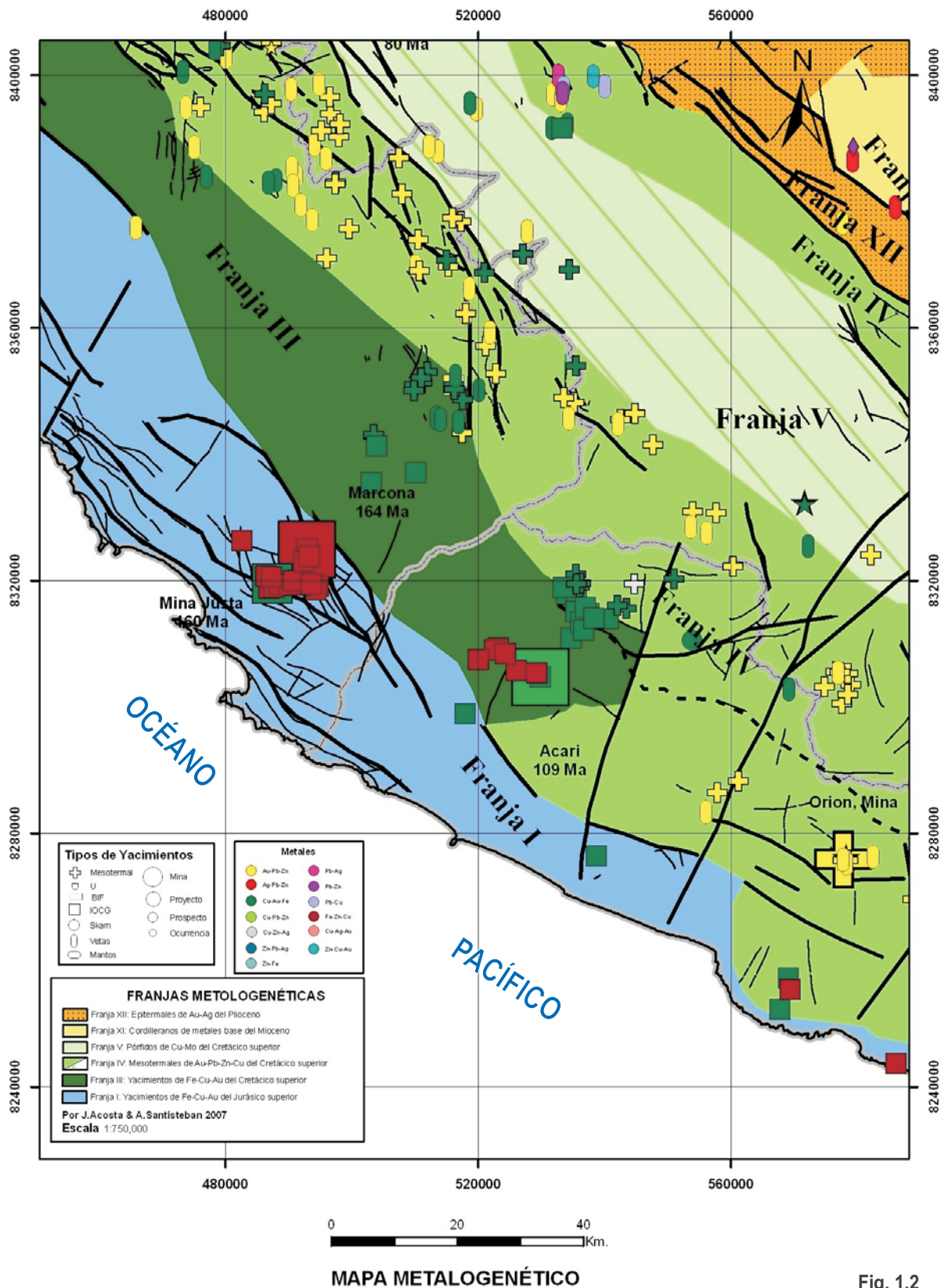


Fig. 1.2





# CAPÍTULO II

## GEOLOGÍA-MINERÍA

### GEOMORFOLOGÍA

En el área de estudio destacan dos elementos fisiográficos:

- Cadena costanera.
- Cordillera de la costa.

La cadena costanera es un territorio de relieve moderado, cuyo ancho varía entre 20 y 30 km, el cual se desarrolla entre el océano Pacífico y los contrafuertes occidentales de la cordillera de los Andes, con altitudes que van desde el nivel del mar hasta 1500 m. Está conformada por terrazas marinas, planicies aluviales, pie de monte y alineamientos de cerros bajos que constituyen las estribaciones de los Andes.

La cordillera de la costa comprende una cadena de cerros que alcanzan aproximadamente 2 200 m de altitud y que bordea la zona del litoral. Numerosos valles angostos atraviesan la planicie costanera, la mayoría de ellos tiene ríos temporales.

La topografía se caracteriza por un relieve moderado que se inicia en la línea marina, alcanza hasta 300 m de altitud y continúa hacia el NE, donde se encuentra una franja de terreno montañoso en dirección SE-NO, cuyas elevaciones alcanzan altitudes de 1 100 a 1 600 m.

El drenaje está representado por numerosas quebradas de trayecto corto y fuerte pendiente, que corren en dirección al océano Pacífico. Los ríos principales son: Ingenio, Nasca, Copara, Santa Lucía, Acarí, Yauca, Chala, Cháparra, Atico y Ocoña, este último es el de mayor caudal permanente.

El clima de la zona es típico de la costa peruana (desértico y cálido), con escasas precipitaciones. En invierno hay escasa vegetación de tipo «lomas», especialmente entre altitudes de 80 a 400 m, mientras que entre 1 200 y 1 800 msnm se presentan nubes del tipo estratocúmulo.

### GEOLOGÍA REGIONAL

#### Estratigrafía

La zona de estudio presenta rocas metamórficas, ígneas y sedimentarias, cuyas edades van desde el Precámbrico hasta el Cuaternario reciente.

El complejo ígneo-metamórfico emplazado a lo largo del litoral sur del Perú ha sido denominado Complejo Basal de la Costa, está asociado a gnéis, esquistos ligeramente verdosos y dioritas gnéisicas de edad Precámbrica, así como a granitos rojos y migmatitas del Paleozoico Inferior. Las rocas sedimentarias del Jurásico Superior-Cretáceo sobreyacen en discordancia angular al Complejo Basal.

Se han reconocido cuerpos subvolcánicos (como parte del grupo de rocas ígneas) emplazados a manera de *stocks*, diques y *sills* que son resultado de manifestaciones tardías del vulcanismo cretácico. Hacia el techo de esta secuencia litológica se emplazan discordantemente rocas volcánicas del Terciario.

#### Rocas ígneas e hipabisales

Estas rocas abarcan una extensión considerable del área estudiada, en donde los afloramientos se distribuyen fundamentalmente en la cordillera de la costa y el batolito andino (que van del Paleozoico al Mesozoico-Cenozoico).

Al Paleozoico pertenecen los *stocks* y apófisis de granito rojo y diorita gnéisica que afloran en Atico, Ocoña y Camaná, intruyendo a los esquistos y gnéis del Precámbrico. En la parte central de la franja afloran numerosos cuerpos de dioritas y granodioritas del Mesozoico, que se emplazan en rocas metamórficas del Precámbrico y formaciones paleozoicas y mesozoicas.

#### Geología estructural

La cordillera de los Andes presenta cambios locales en su dirección general NO-SE, y parecen estar controlados por fallas de rumbo. Estos fallamientos y/o lineamientos estructurales dan origen a dos grandes sistemas: uno de dirección NO-SE que se ajusta al batolito de la costa, los sobreescurrecimientos que corresponden a las zonas noroccidental y suroriental, la dirección de los conos volcánicos del sur y la mineralización de pórfidos de Cu; el segundo sistema tiene dirección NE-SO y es transversal a la dirección andina a la que están relacionados ciertas chimeneas de brechas y centros volcánicos en el sur del Perú.

#### TECTÓNICA REGIONAL

Los estudios de la tectónica en la zona señalan dos ciclos orogénicos en el Precámbrico: el primero a 600 millones de años y el segundo

a 2000 millones de años. En el Paleozoico se conforma la cadena Herciniana de carácter intracontinental (fases Eohercinica y Tardihercinica).

El ciclo Andino corresponde a una serie de eventos que se inician en los Andes en el Triásico Superior (180 millones de años) y se desarrollan hasta la actualidad.

## GEOLOGÍA ECONÓMICA

La mineralización presenta generalmente yacimientos de oro y cobre como vetas en el batolito de la costa, y ocurren en forma paralela o transversal a éste. El oro se encuentra en vetas angostas de poca longitud con pirita, calcopirita y galena, también se hallan vetas de hierro de inyección magmática tal como las vetas en Acarí.

Al oeste del batolito de la costa, en Ica, se encuentran los yacimientos de exhalación volcánica marina polimetálicos como Río Seco y Los Icas; al este del batolito de la costa, también en Ica, se encuentra el yacimiento de exhalación volcánica marina Cerro Lindo. En la franja hierrífera destaca el yacimiento Marcona, donde se presentan mantos estratoligados discontinuos, interrumpidos por fallas.

Los aspectos geológico-económicos tratados en éste trabajo incluyen una descripción de los depósitos estudiados en cinco campañas realizadas durante el año 2004, en cumplimiento del plan operativo programado: ellos contienen oro como producto principal y cobre en menor proporción.

### Características de la mineralización

Los depósitos auríferos ubicados en la zona están clasificados genéticamente como vetas hidrotermales de cuarzo-oro, siendo el cuarzo el mineral principal, seguido por pirita, arsenopirita y oro nativo, en venillas en zonas de contacto. Estas vetas muestran comúnmente zonas de brecha, milonitas y menas bandeadas/crustificadas, con estrechas aureolas de alteración en la roca-caja.

El batolito de la costa alberga depósitos auríferos que se encuentran generalmente en arcos magmáticos, márgenes continentales, arcos insulares y zonas cratónicas relacionadas con rocas graníticas. La mayoría de las estructuras están emplazadas en rocas sedimentarias, metamórficas o en el propio batolito.

También ocurren en *stocks*, delimitando una zona de cobre y otra de cobre-oro, que se presentan en la parte oeste con depósitos filonianos y disseminados, y otra en el lado este con depósitos filonianos y disseminados de oro y oro-cobre alineados a los contrafuertes andinos.

## PROSPECCIÓN GEOLÓGICA

### Anomalías espectrales

El procesamiento de imágenes satelitales espectrales empleadas en el estudio de las Franjas 1 y 2, y la campaña de campo del 2004, se realizaron con el fin de comprobar los contactos tanto en rocas intrusivas como volcánicas. A esto se añaden los factores tectónicos que han dado origen a una serie de lineamientos, fallas y estructuras que han servido de receptáculo o vía de tránsito para la mineralización, tanto de tipo filoniano, como *stock work* y mantos.

En la zona sur media, el análisis espectral de imágenes Landsat involucró el uso de los softwares Erdas Imagine 8.4 y Envi-RT 3.4, y la combinación de bandas 7,4,2 y 5,4,1 (RGB), como lo más adecuada para los sectores del área de estudio.

En la interpretación estructural se emplearon las bandas 8 y 4, y resultó más útil el empleo de una banda pancromática para diferenciar estructuras, así como el empleo de filtros direccionales trabajados por escena, con lo que se identificaron y diferenciaron estructuras de acuerdo a su magnitud.

En el sector de Chuquibamba-La Joya destaca la orientación andina NO y en los lineamientos transversales NNE-SSO destacan otros sistemas de orientación N-S y E-O de menor magnitud, que son producto de fases compresivas y distensivas a lo largo de estos sectores tectónicos:

- El lineamiento de Pan de Azúcar tiene dirección E-O entre la zona de Cháparra y Caravelí; forma una estructura semicircular que controla el emplazamiento de yacimientos de oro y está asociado a la falla Los Médanos; además, se vincula a los distritos mineros de Ocoña-Caravelí-Calpa, Chala y San Luis. Existen también otros yacimientos como Eugenia y Misky, cuyas características corresponden a depósitos epitermales de oro.
- Lineamiento Ocoña-Cotahuasi, en cuya estructura se ubican las minas de Ocoña.

### Prospección geoquímica

Para la interpretación geológica-minera de los sectores estudiados se tomó información del Inventario de Recursos Minerales Metálicos (Franja 2), de la prospección geoquímica regional de sedimentos de quebrada en el área de interés económico, considerando aspectos litológicos y/o estructurales relacionados a la concentración de ocurrencias minerales conocidas.

### Distribución geoquímica del oro

La distribución metalogenética del oro ocurre en sectores determinados del área Nasca-Ocoña de la subprovincia cuprífera

del Pacífico, donde la mineralización ocurre en forma predominante en yacimientos y ocurrencias de tipo filoniano, y se manifiesta en los cuadrángulos de Caravelí, Jaquí y otros.

#### a. Distribución geoquímica de Au, Fe y otros elementos

El cuadrángulo de Nasca presenta fuertes anomalías geoquímicas de Au y Fe, anomalías moderadas de Co y débiles de Cu, Mo, Pb, As, Ni y Cr. Este cuadrángulo se encuentra afectado a nivel estructural por eventos tectónicos, y se observan varias fallas y diaclasas con tendencia andina N 60° O, algunas de ellas con relleno de cuarzo y evidencias de mineralización aurífera comercial y trabajadas por mineros artesanales.

La distribución geoquímica de Au-Ni-Cr-Mo, Cu, As y Fe, y alguna de respuesta débil en Co y Cr, se encuentran fundamentalmente en rocas intrusivas cretáceo-paleógenas del batolito de la costa.

#### b. Distribución geoquímica del Au y otros elementos

En el cuadrángulo de Chala ocurren fuertes anomalías de Au, moderadas de Pb y As y débiles de Cu, Mo, Fe, Co, Zn y Hg, y generalmente se presentan en anomalías volcánicas jurásicas.

#### c. Distribución geoquímica del Au, Cu y otros elementos moderados

En el cuadrángulo de Cháparra existen anomalías altas de Au y Cu, un nivel moderado en Mo y Ag, y niveles débiles de Pb, Cu, Fe, Co y As.

#### d. Distribución geoquímica del Au y Ag

En el cuadrángulo de Caravelí el muestreo se concentró en la parte oriental, donde se distribuyen afloramientos de rocas intrusivas cretáceo-paleógenas, resultando una anomalía alta en Au, moderada en Ag y débiles en Cu, Mo, Zn, Ni, Co, Fe y As.

#### e. Distribución geoquímica del Au, Hg, Cu y otros

Las anomalías en el cuadrángulo de Chuquibamba alcanzan valores altos en Au, Hg y Cu, moderados en Mo y As, y débiles en Pb, Fe, Co, Ni y Cr, predominando en los ambientes intrusivos cretáceo-paleógenos.

### OPERACIONES MINERAS EN LA ZONA

Los yacimientos filonianos de oro, caracterizados por numerosas vetillas y afloramientos de poca potencia, se detectan visualmente, tienen poca profundidad y la determinación de su contenido de oro se realiza in situ y de manera inmediata. Esto permite discriminar fácilmente las numerosas venillas de cuarzo estéril que afloran también en la zona y continuar con la exploración.

La exploración artesanal es llevada a cabo por grupos de mineros, cada uno cubre un área diferente y por tanto hay una buena probabilidad de éxito a bajo costo. Para este trabajo llevan víveres que los abastecerán durante una semana, comba y barreno para el cateo, y la infaltable batea o «puruña» con dos litros de agua para el «análisis» de las vetas que exploran. Varios de los yacimientos en los que laboran estas comunidades informales fueron explotados anteriormente, sin embargo, la mayoría fueron descubiertos por la actividad artesanal.

Luego de cateos basados meramente en experiencias anteriores, y según las características de la veta, los mineros adoptan un «método de explotación»: abren socavones siguiendo el cuerpo mineralizado o «clavo» con herramientas rudimentarias, y si el yacimiento es valioso, las operaciones se amplían.

El trabajo se realiza de forma individual o en pequeños grupos de 10 a 30 personas que pueden ser «socios». En algunos casos, los «dueños» de la labor aceptan que los trabajadores no perciban una remuneración sino que se queden con el mineral. Este tipo de pago se realiza en «latas» de mineral (32 kg aproximadamente) y se llama «en especie». Las faenas diarias comprenden 10 o 12 horas y cada campaña puede durar hasta 15 días. Los mineros suben a la mina provistos de alimentos y herramientas para este periodo.

Una característica operativa importante es que la continua variación de la potencia, la ley y la dirección de los filones auríferos exigen un seguimiento acucioso de los mismos, en el cual ninguna máquina puede competir con la destreza del hombre. Las vetas se adelgazan con cierta frecuencia hasta «desaparecer», en tales casos el minero detecta este hecho de inmediato, mientras que en el caso del minado tradicional se extrae inadvertida y perjudicialmente el material estéril. Algunas veces la veta se ensancha exageradamente, diluyendo su ley a valores marginales. El minero advierte este hecho inmediatamente y evita que se perjudique ostensiblemente la ley del mineral rico extraído con anterioridad.

Las operaciones mineras de la zona se caracterizan por ser subterráneas y comprenden:

- Desarrollo y preparación de tajeos.
- Perforación y voladura.
- Carga, limpieza, acarreo e izaje.
- Echaderos y tolvas.
- Transporte de mineral a concentradora y transporte de estéril a botaderos.
- Desagüe, ventilación y alumbrado.
- Sostenimiento de roca.

Las condiciones de trabajo son extremadamente duras en el caso de la minería artesanal; por ejemplo, las operaciones se inician con herramientas manuales (barretas, combos, picos, lampas, carretillas y otros), algunas recurren luego a perforadoras eléctricas y otras utilizan incluso perforadoras neumáticas, además de explosivos y elementos afines para el arranque de la roca mineralizada. En las labores subterráneas que alcanzan 1,20 m de altura se utilizan carretillas para el acarreo del mineral a la superficie. La roca estéril es encostalada para formar muros de contención o sostenimiento en tramos críticos, y en la extracción y acarreo de desmonte se utilizan costales, latas o bolsas de jebe grueso (jebe de llantas). En la mayoría de estas pequeñas operaciones no se usa equipo de seguridad (zapatos, guantes, respiradores, casco, otros); la tarea más agobiante es el izaje del mineral en sacos sobre las espaldas, a través de áreas estrechas con tramos de pendiente pronunciada. Algunos mineros han desarrollado técnicas para el acarreo a través de carros mineros, carretillas, acémilas y otro tipo de instrumentos adaptados para este fin (p. ej. llantas que son arrastradas aprovechando pendientes negativas).

El método de minado a cielo abierto sobre una extensión pequeña de un afloramiento se aplica siempre que es posible; luego se continúa con labores de corte a «media barreta», llegando a profundizar hasta 40 o 50 m, a fin de continuar con las labores de explotación siguiendo la estructura mineralizada. Las operaciones mineras son abandonadas cuando las condiciones de ventilación y acceso se vuelven más precarias, o cuando aparecen sulfuros en cantidades que disminuyen la recuperación por amalgamación.

## CARACTERIZACIÓN DEL MINERAL

Los minerales con significado económico son el oro nativo y los telururos (calaverita, silvanita, krennerita y petzita). Entre los principales minerales (menas) están aquellos con contenidos de oro nativo en varios tamaños granulares, pepitas y escamas, formando aleaciones en mayor o menor proporción con plata, cobre, hierro y metales del grupo del platino, y asociados casi invariablemente con cuarzo y sulfuros, excepto en zonas oxidadas cerca de la superficie (véase Cuadro 2.1).

El oro nativo encontrado en la naturaleza tiene una pureza de 99,8% Au, pero varía entre 85 y 95% de Au, conteniendo plata como principal impureza; el cobre y el hierro pueden también estar presentes junto con el oro. Un caso particular es la aleación natural con la plata, denominada «electrum», donde el contenido de plata varía entre 25 y 55%, y es cianurable.

Los telururos constituyen el segundo tipo de minerales portadores de oro en importancia económica y los más comunes son: silvanita, calaverita y petzita; los menos comunes son: krennerita, hesita y

**Cuadro N° 2.1**  
**Características y propiedades del oro nativo y otros minerales auríferos**

Nombre	Fórmula	Contenido % Au	Gravedad Específica	Dureza Mohs
Oro Nativo	Au	>75	16 – 19	2,5 – 3
Electrum	[Au, Ag]	25 – 55	13 – 16	2 - 2,5
Calaverita	AuTe <sub>2</sub>	40	9,2	2,5 – 3
Krennerita	Au <sub>4</sub> AgTe <sub>10</sub>	31 – 44	8,6	2,5
Silvanita	AuAgTe <sub>4</sub>	24 – 30	8,2	1,5 – 2
Petzita	Ag <sub>3</sub> AuTe <sub>2</sub>	19 – 25	9,1	2,5
Hesita	Ag <sub>2</sub> Te	<5	8,4	2,5 – 3

montbroyita. Estos contienen a menudo, además de plata, restos de mercurio.

El oro puede encontrarse asociado a sulfuros bajo una forma no visible con ayuda de los instrumentos clásicos de mineralogía (microscopio óptico o electrónico). Se admite que el oro se presenta bajo la forma de inclusiones submicroscópicas del oro natural, aunque algunos autores piensan que éste puede constituirse en una solución sólida al interior de los sulfuros.

Las asociaciones más comunes con sulfuros, en orden de frecuencia, son: pirita, arsenopirita, galena, calcopirita, esfalerita, tetraedrita y pirrotita. Las menos frecuentes son: bornita, chalcocita, molibdenita, polibasita, proustita, estefanita, estibinita y tenantita. En minerales oxidados se encuentra asociado con productos comunes de descomposición metálica, como los óxidos de hierro y manganeso, los carbonatos y los silicatos de cobre. Los minerales que forman la roca de ganga, acompañados por cuarzo, son: calcita, sericita, fluorita, rodocrosita, siderita, feldespatos y minerales de arcilla.

El oro nativo también se presenta mezclado mecánicamente con material suelto de acomodo hidráulico (placeres), donde también se concentran minerales pesados de hierro, titanio, circonio, estaño y thorio, entre otros. Los telururos (silvanita y calaverita) están generalmente asociados con pirita y uno o más de los otros sulfuros mencionados anteriormente.

## SELECCIÓN DEL MÉTODO ADECUADO DE EXPLOTACIÓN

Una de las principales deficiencias de la minería de pequeña escala en la zona de estudio es la falta de planificación, esto conduce al bajo rendimiento, la deficiencia en seguridad y repercute en la economía nacional debido a la destrucción parcial del yacimiento.

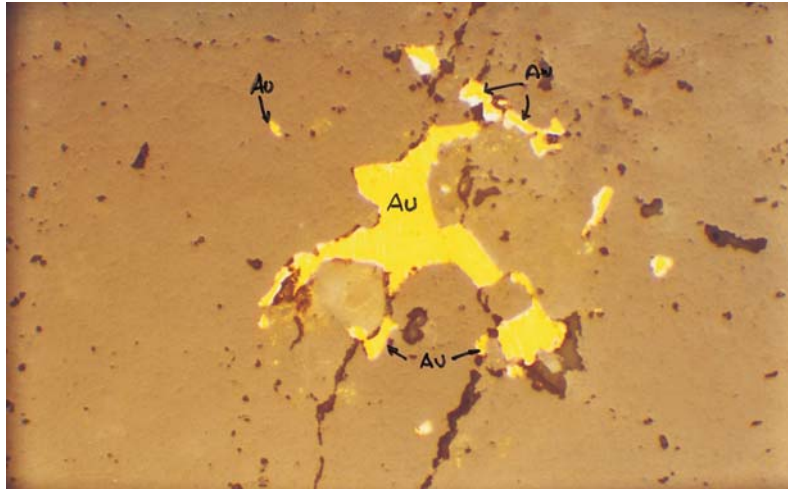


Foto N° 1 Oro nativo grano grueso relleno interiores, porosidades, microfracturas y diseminado en mineral de ganga (Ggs).

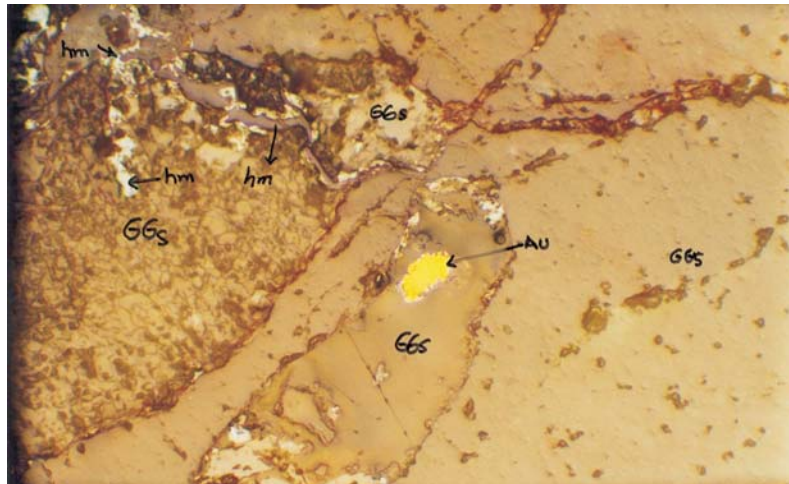


Foto N° 2 Oro nativo grano medio en asociación con mineral de ganga (Ggs).

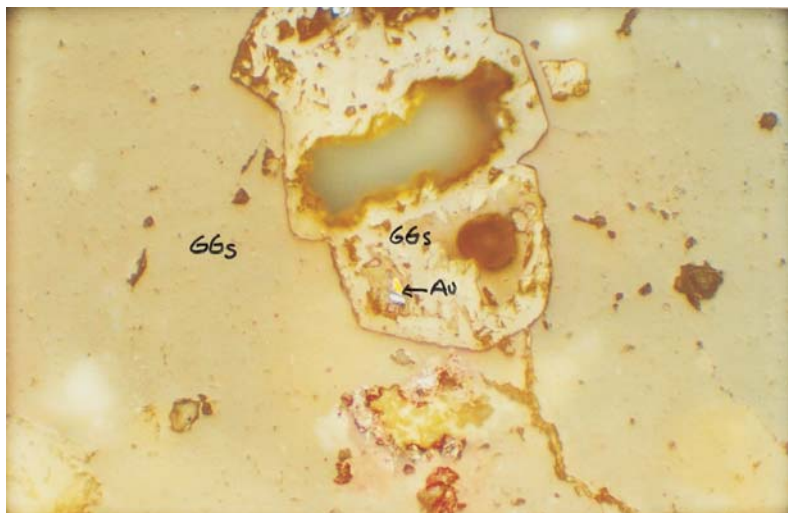


Foto N° 3 Oro nativo grano fino incluido en mineral de ganga (Ggs).

Los factores que tienen mayor importancia en la selección del método de minado son aquellos relacionados a la geometría y distribución de leyes del depósito, y las propiedades del mineral y estériles adyacentes. Debido a las características descritas el método usado en la zona es el minado selectivo o circado.

## MINADO

Una vez que concluye el trabajo de cateo y se conocen las características del yacimiento, se determina el método de explotación. En el caso que describimos los filones o vetas tienen grosor reducido (1 a 10 cm) y alta ley (las leyes varían de 1 a 80 oz/t de oro). Debido a la falta de recursos económicos y conocimientos técnicos, los mineros artesanales suelen abrir socavones siguiendo el cuerpo mineralizado, con herramientas rudimentarias y a pulso.

El minero extrae selectivamente el filón utilizando el método de circado o minado selectivo, que consiste en la perforación, voladura y extracción de la roca que se encuentra debajo de la veta (en el caso de las vetas manteadas horizontales) o de la roca adyacente (en el caso de vetas verticales). El filón es extraído con puntas, con mucho cuidado y sin explosivos, y el mineral se coloca sobre una manta. El minero artesanal obtiene el producto en relación de 1 g a 1,8 g/lata aproximadamente (1 lata contiene en promedio 34 kg) y prefiere extraer algo de la caja antes que dejar material valioso en ella.

También se usan perforadoras eléctricas para la perforación en seco e incluso compresoras convencionales. Las perforadoras eléctricas son de uso personal, pesan alrededor de 6 kg y aceleran la velocidad de perforación en 10 u 11 veces si se compara con la perforación manual. Estos equipos se usan en yacimientos con rocas no muy duras, mientras que las compresoras se usan en yacimientos de rocas duras y con vetas de mayor potencia. El uso de compresoras puede acelerar el ritmo de avance en 150 veces y se requiere de trabajo grupal (cuadrillas).

El trabajo se realiza en forma individual o en pequeños grupos integrados por 10 a 30 personas que suelen ser «socios» y tienen áreas establecidas de donde extraen el mineral. Muy pocas asociaciones han llegado a buenos niveles de organización, donde cada integrante tiene una función específica dentro de la operación.

El minado artesanal no es una operación simple y rudimentaria; es más bien una de las técnicas más eficientes para la explotación de este tipo de yacimientos, y puede ser mejorada con asesoría profesional.

## EL CICLO DE MINADO

El ciclo de minado característico de la minería de pequeña escala involucra las siguientes operaciones unitarias:

- Perforación.
- Voladura.
- Ventilación.
- Transporte y acarreo de mineral.
- Sostenimiento.

### Perforación

#### a. Perforación manual

Es practicada por todos los mineros al inicio de los trabajos y es la base de sus ingresos y desarrollo futuro. Puede desarrollarse de manera individual, no requiere de combustible ni equipo, es la más apropiada para lugares remotos de difícil acceso y no requiere de conocimientos técnicos para su operación y mantenimiento, además, la producción no se paraliza por los desperfectos de los equipos.

La velocidad de perforación es 11 y 150 veces menor que en el caso de la perforación eléctrica y la neumática, pero la inversión inicial es 100 y 1000 veces menor que en el caso de ellas. Esta gran diferencia en los montos de inversión inicial determina que los sistemas mecanizados de perforación sean inadecuados para los mineros de escasos recursos.

#### b. Perforación con equipos eléctricos

Las perforadoras eléctricas son equipos de perforación rotativa que emplean barrenos helicoidales accionados por un motor eléctrico de 2,5 kW de potencia. Este grupo también puede hacer funcionar el aguzador de barrenos, proporcionar luz y accionar una pequeña electrobomba para el sistema de tratamiento por cianuración directa.

Los barrenos tienen una longitud promedio de 60 a 90 cm y un grosor de 32 mm. Son equipos portátiles, operados por un solo hombre, pues cada máquina tiene solamente 6 kg de peso. Este tipo de equipo es usado comúnmente en la industria de la construcción, para horadar concreto y en demoliciones, pero se ha adaptado muy bien a las necesidades de la minería de pequeña escala. Es uno de los aportes técnicos más importantes a la minería artesanal pues la reducción del esfuerzo humano beneficia al minero y la velocidad de avance es bastante aceptable, sobre todo en rocas que no son excesivamente duras.

Además, el rendimiento de los sistemas eléctricos es superior al de las máquinas accionadas por aire comprimido, lo que significa que es necesario un uso menor de energía primaria. Este rendimiento es independiente del aire externo, por lo que también puede utilizarse en grandes alturas. En general, en las máquinas accionadas por energía eléctrica los requerimientos de condiciones ambientales (suspensiones de aceite, ruido, etc.) son menores o no existen, pero se debe considerar los costos de la energía eléctrica.

Algunas desventajas de este sistema son el excesivo calentamiento del motor y los barrenos, así como la limitada resistencia de estos últimos, lo que reduce la durabilidad del equipo en ambientes severos como el minero. Estas deficiencias pueden ser superadas con investigación,

Por otro lado, una de las dificultades en todo el proceso productivo es el desconocimiento de la estructura de costos de la operación (Foto 4).

### c. Perforación neumática convencional

Este tipo de equipos es usado generalmente por empresas mineras o grupos de mineros que tienen mayor producción. Requiere de una inversión más alta y un grupo mejor organizado en los aspectos administrativos y operativos, y un mantenimiento eficiente. Además, los sistemas neumáticos han demostrado ser superiores en relación al tiempo de vida, mantenimiento y otros.

Las actividades de perforación tienden a mecanizarse más en el caso de minas con vetas más potentes y de menor ley. La producción que se obtiene con este método va dirigida a las plantas concentradoras (Foto 5).

## Voladura

El conjunto de explosivos utilizados en la perforación manual se denomina «armada» y consiste en 1 cartucho de dinamita, 1 fulminante y 50 cm de guía de seguridad por cada taladro de 45 a 60 cm.

El consumo de explosivos por los taladros de las perforadoras eléctricas es similar al de la perforación manual, mientras que en los taladros convencionales (compresora y perforadora neumática) se emplean 3 a 4 cartuchos por taladro de 1,20 a 1,5 m. En algunas zonas se utiliza ANFO (mezcla de nitrato de amonio y petróleo) y un cartucho de dinamita por cada taladro.

El riesgo que debe enfrentar el minero se encuentra en el chispeo o encendido de las mechas de los disparos, pues un solo hombre puede chispear hasta 6 taladros o más, cada uno de ellos cargados con una mecha independiente de solo 50 cm.

Se estima que el 50% de la población minera informal labora en frentes de trabajo ubicados a menos de 50 m por debajo de la superficie; solo 20% de esta población trabaja en frentes ubicados a mayor profundidad, llegando hasta 150 m. Estas distancias son relativamente cortas cuando se comparan con la profundización de las labores convencionales. El minero artesanal no puede profundizar más por la deficiente ventilación y el elevado costo y esfuerzo que representa la extracción de desmonte. Estas limitaciones obligan a abandonar las labores profundas para buscar nuevos afloramientos. Aunque esto favorece el hallazgo de nuevas vetas, requiere de tiempo y esfuerzo adicional que reducen su eficiencia y además se dejan de lado recursos mineros que podrían ser explotados con algo de apoyo técnico. Se debe apoyar estas actividades para permitir la profundización de las labores en forma ordenada y continua, lo que permitiría desarrollos económicos muy importantes.

No hay que olvidar que las labores bloqueadas con desmonte o abandonadas no se encuentran a mucha profundidad, de modo que pueden ser rehabilitadas con relativa facilidad si se dispone de equipos que complementen la abundante mano de obra disponible en estos asentamientos mineros.

## Transporte y acarreo de mineral

El mineral extraído es trasladado manualmente en bolsas de polietileno, latas o bolsas de jebe hasta la bocamina, en algunos casos se utilizan carretillas o carros mineros fabricados para este fin. Luego el mineral es transportado a los centros quimbaleros, mayormente a lomo de acémilas.

Las rutas de acceso a las labores han sido construidas a pulso por los mismos mineros y son abruptas y accidentadas. Es común observar que buena parte de los mineros acarrea al hombro un promedio de 50 kg de mineral durante una hora, a través de terrenos escabrosos por falta de carretera y, en casos extremos, muchos de ellos hacen este recorrido a lo largo de 15 km (4 horas aproximadamente) debido a la escasez de transporte. En algunos lugares el transporte de mineral se realiza, aprovechando la gravedad, sobre jebes de llantas en desuso que se pueden adquirir en el mercado.

El transporte de mineral y relave de quimbales es constante en toda la zona, y por lo general se realiza en camiones de 12 a 20 t de capacidad para abastecer las plantas de beneficio. Sin embargo, también se utilizan camiones de menor tonelaje (1 a 5 t) para el transporte de insumos, personal y relaves.

La venta directa del mineral a las plantas de cianuración, obviando el uso de quimbales, se está difundiendo progresivamente y debe alentarse porque reduce notablemente la contaminación con mercurio; además, el transporte de mineral ofrece mucho menos riesgo ambiental que el de relaves.



Foto N° 4 Minero artesanal mostrando una perforadora eléctrica .



Foto N° 5 Compresora de un martillo instalada para operaciones en la mina Rey Felipe cerro huatiapilla-Chuquibamba





**Foto N° 6** Acarreo de mineral sobre material deslizable (jebe de llanta) adecuado para este fin y aprovechando la pendiente. Mina Puruja- Cháparra



**Foto N° 7** Medios de Comunicación para transporte del mineral de mina a Planta de Beneficio. Muna Puruja - Cháparra.



**Foto N° 8** El transporte del mineral desde la mina a la planta de beneficio a través de skip motorizado. Mina Santa Filomena Jaquí.



**Foto N° 9** Carros mineros para transporte de mineral sobre ruedas neumáticas. Mina Cuatro Horas Cháparra

**a. Transporte y acarreo de mineral con winches****Winche manual**

Los winches manuales se usan para transportar mineral, material, agua y también al personal. En este último caso es necesario emplear mecanismos de bloqueo y frenos.

El cable de extracción es enrollado a mano en un tambor acoplado directamente a una o dos manivelas. Las pérdidas por fricción se reducen mediante la construcción de cojinetes de poca fricción.

En comparación a la forma tradicional y sencilla de transporte con sacos de cuero y cable, el winche manual representa un importante alivio en el trabajo, especialmente cuando se trata de un winche con doble tambor y buenos cojinetes (Foto 10).

**b. Transporte sobre rieles dentro de la mina**

El transporte sobre rieles en las galerías se realiza con carros de metal, con poca fricción y sin locomotoras. Sin embargo, la infraestructura de rieles que se necesita es relativamente

costosa. Afortunadamente este sistema se puede mantener fácilmente y permitir el transporte de herramientas pesadas, máquinas y elementos de entibación (Foto 11).

**Sostenimiento**

La mayoría de labores que desarrollan los mineros artesanales se realizan generalmente en secciones estrechas, lo cual contribuye al autosostenimiento. No obstante, a veces se recurre al pircado con rocas y desmonte, para evitar el desplazamiento de las cajas o techos de la labor. En algunos casos se usan cuadros de madera de especies nativas de la zona, como la madera de huarango.

El sistema de explotación se adapta al yacimiento y condiciones, forma, dimensiones, resistencia y estabilidad de la roca. La meta es la recuperación óptima de mineral, evitando al mismo tiempo la extracción del estéril. El método apunta a la recuperación económica y eficiente, manteniendo buenas condiciones de seguridad.



Foto N° 10 Extracción de mineral a través de winches manuales Mina Lomo Camello - Tulin



**Foto N°11** Carro Minero sobre rieles para extracción de mineral Mina Orión Chala



**Foto N° 12** Galería principal con sostenimiento de cuadros de madera. Mina Cuatro Horas Cháparra



Foto N° 13 Sostenimiento de cajas con puntales de Huarango Mina Sol de Oro - Nasca

## MINERALIZACION DE LAS AREAS DE ESTUDIO

La zona sur media del Perú corresponde a la parte meridional de la Subprovincia Cuprífera del Pacífico de la Provincia Metalogénica Occidental, y se caracteriza por una importante concentración de vetas auríferas emplazadas en rocas intrusivas del batolito de la costa, además de los numerosos depósitos de cobre existentes en el área.

Se observa un área de oro-plata en la zona norte, que va aumentando hacia el Sur. En la región de Acarí hay zonas graduales de oeste a este, que se manifiestan en tres fajas paralelas de hierro, cobre y oro (véase Fig. 1.2).

De acuerdo a esta investigación se ha logrado establecer en la zona 6 sectores que van de NO a SE (véase Fig. 1.2) y cuyas características se detallan a continuación.

### SECTOR I ICA (Au-Ag)

Se encuentra ubicado en el extremo noroeste del área estudiada, tiene una extensión de 40 por 26 km y su punto central se localiza en las coordenadas UTM 8.436.000 N y 428.000 E. En este sector afloran intrusivos de la superunidad Tiabaya del Cretáceo Superior.

Algunos de los yacimientos y ocurrencias minerales metálicos de este sector son los siguientes:

### Monterrosas

Ubicación: La mina está ubicada 20 km al NO de Ica, a 1 170 m de altitud, en las coordenadas UTM 8.452.465 N y 434.401 E. El área pertenece al distrito de San José de los Molinos, provincia y departamento de Ica.

Marco geológico: Es una mina con vetas de cobre con oro como subproducto. A pesar de la oxidación, el contenido de sulfuros es alto, así como la presencia de oro; predomina entre ellos la pirita y calcopirita sobre la bornita y covelita. El cobre oxidado se encuentra como malaquita y la ganga como abundante hematita y calcita. La roca encajonante se debe a intrusivos del batolito de la costa (monzodiorita).

El análisis de las muestras de Monterrosas proporcionó los siguientes valores:

N° de Muestra	Au gr/TM	Cu %
TM-P-017	4,13	26,2

### César

Ubicación y acceso: La propiedad está ubicada 25 km al SE de la ciudad de Nasca, a 1000 m de altitud, en las coordenadas UTM 8.396.805 N y 490.250 E. Se encuentra en el paraje de Copara, distrito y provincia de Nasca, departamento de Ica.



**Foto N°14** Estructura subvertical mineralizada donde el minero artesanal selecciona el material económico.



**Foto N° 15** Vista panorámica del yacimiento mirado de SO a NE. La estructura alcanza los 5 m de potencia. Nótese la presencia de óxidos, limonitas, crisocola, malaquita y atacamita. Hay pirita, chalcopirita y bornita.

Para llegar a la mina se recorre la carretera Panamericana Sur hasta el km 475, donde existe un desvío que lleva a la hacienda Copara (7 km) y luego se sigue una trocha carrozable de 12 km hasta la mina.

Marco geológico: Afloran derrames andesíticos y brechas volcánicas que han sufrido tectonismo por la presencia de un intrusivo granodiorítico. La veta principal tiene más de 200 m de afloramiento, rumbo N 50° O, buzamiento 70° NE y ancho de veta de 0,90 m.

La zona de oxidación alcanza considerable profundidad (70 a 100 m). Su mineralogía está conformada principalmente por hematita secundaria, crisocola, limonita, oro nativo residual y minerales hipógenos parcialmente oxidados. La mineralización primaria incluye oro nativo, pirita, cuarzo y baritina. El oro nativo se presenta como inclusiones en el cuarzo y también se encuentra diseminado en una parte de la roca/caja (andesita). Las cajas no muestran una alteración notoria, pero presentan piritización. Los lentes ricos han sido parcialmente explotados en las diferentes labores (galerías, pique y chimenea).

Las muestras tomadas dieron los siguientes resultados:

Nivel 50	Galería SE y NO	0,70 ancho veta	0,30 oz/Tn de Au	1,60% de Cu
Nivel 100	Galería SE y NO	1,10 ancho veta	0,06 oz/Tn de Au	3,05% de Cu

### El Dorado

Ubicación y acceso: El depósito aurífero está ubicado a 11,5 km al SSO de la ciudad de Ica, a 450 msnm, en las coordenadas UTM 8.434.065 N y 418.997 E. Pertenece al paraje Tajahuane, distrito de Tate de la Capilla, provincia y departamento de Ica.

Marco geológico: El área está cubierta por una extensa capa de material cuaternario eólico. En el área de interés afloran intermitentemente rocas del Terciario, de la formación Pisco y del Jurásico Superior de la formación Guaneros, constituido por areniscas y lutitas intercaladas con derrames y brechas volcánicas. Existen dos vetas principales que recorren aproximadamente 150 a 200 m, afloran muy notoriamente y van paralelas con rumbo N-S y buzamiento 45° O, alcanzando potencias de 0,25 y 0,15 m.

La mineralización observada consiste en una zona de oxidación (posiblemente de 20 a 25 m), con fuerte contenido de hematina, crisocola y oro nativo; y una zona primaria que contiene cuarzo aurífero y pirita fina en pequeños cristales. Es notoria la silicificación a lo largo del contacto veta-roca caja. Existen otras vetillas que son de poco interés y requieren estudios más detallados (Foto 16).

Estos son los resultados del análisis de las muestras tomadas en el lugar:

Nº muestra	Ancho veta	Au g/TM	Ag g/TM	Cu ppm
TM-1-039	0,25	10,92	0,5	507
TM-1-039-A	0,15	11,33	1,0	172
TM-1-040	0,30	0,85	1,0	204
TM-1-041	0,30	1,35	0,5	534

### SECTOR II PALPA-NASCA (Ag-Au-Cu)

Este sector se encuentra al noroeste del área estudiada, se extiende en un área de 70 por 2 km y su punto central se encuentra en las coordenadas UTM 8.371.000 N y 510.000 E.

El sector contiene principalmente intrusivos de las superunidades Tiabaya, Incahuasi y Linga del Cretáceo Superior. Estos intrusivos contienen tonalita, principalmente granodiorita y diorita. Las fallas tienen direcciones NO-SE y N-S.

Algunos de los yacimientos y ocurrencias de minerales metálicos en este sector son los siguientes:

#### Sol de Oro

Ubicación y acceso: La mina está localizada en el distrito de Vista Alegre, provincia de Nazca, departamento de Ica, a una altitud de 1213 m, y en las coordenadas UTM 8.359.645 N y 518.512 E.

Se accede al lugar desde Nasca, por la carretera a Puquio, tomando a la altura del km 12 un desvío afirmado de 1 km hacia el Este.

Marco geológico: En el área afloran rocas de la formación Guaneros, que han sido intruidas por un intrusivo granodiorítico, fuertemente silicificado, que altera a los metasedimentos de Guaneros, con rumbo de N 30° O y buzamiento 30° SO.

La unidad intrusiva es la granodiorita Tiabaya, ubicada al sur de la mina, las vetas de cuarzo tienen un rumbo de N 40° O a 20° NE, con potencias variables de 0,30 a 0,40 m y afloramientos de unos 300 m. Existe una veta aurífera asociada a rocas plutónicas de la superunidad Tiabaya que corresponde al batolito de la costa. Hacia el lado noroeste del área se encuentran dos vetas con longitudes de 100 a 150 m, en las que se explota el «llampo».

Las zonas mineralizadas que destacan son: zona de oxidación, con profundidad de 70 m y presencia de hematita secundaria, crisocola, psilomelano, limonita, oro nativo residual (primario) y material hipógeno parcialmente oxidado; zona de sulfuros supérgenos, que contiene covelita y digenita; y la de mineralización primaria que consiste en cuarzo aurífero, oro nativo, pirita fina diseminada, escasa crisocola, azurita, malaquita, calcopirita,

molibdenita y calcita. El oro nativo ocurre como venillas e inclusiones en el cuarzo y en la calcopirita. Las estructuras mineralizadas son vetas hidrotermales de tipo relleno de fractura, con cuarzo aurífero, todas emplazadas en el intrusivo silicificado Tiabaya (Foto 17).

Las muestras analizadas dieron los siguientes resultados:

Código	Pot m.	Rumbo	Buz	Au Gr/Tm	Ag ppm	Pb ppm	Zn ppm	Cu ppm	Fe %
201036	0,40	N40O	20NE	9,17	8,0	99	89	786	12,1
201037	0,30	N40O	20NE	5,42	4,0	60	50	227	12,3

### Luz de Sol

Ubicación y acceso: Está ubicada en las inmediaciones del cerro Yapana, 7 km al noreste del distrito El Ingenio, provincia de Nasca, departamento de Ica, a una altitud de 780 msnm y en las coordenadas UTM 8.386.007 N y 493.980 E. Se accede desde Nasca por la carretera Panamericana Sur, hasta el desvío de Palpa (27 km), para luego continuar 12 km hasta el pueblo El Ingenio, desde donde se sigue una trocha carrozable de 8 km para llegar al prospecto.

Marco geológico: Esta mina tiene una veta que mide aproximadamente 450 m de longitud, con rumbo N 30° O y buzamiento 60° NE, con una potencia de 0,90 m. La roca encajonante son andesitas del grupo Copara.

El relleno mineralizado que se encuentra en el afloramiento está constituido por minerales secundarios de cobre (malaquita y crisocola), pirita y calcopirita, las cuales se presentan en venillas o están diseminadas dentro del cuarzo.

Los minerales de mena son la calcopirita, el oro nativo asociado a la pirita y la ganga: cuarzo, pirita, malaquita, crisocola y limonita.

El análisis de una de las muestras dio el siguiente resultado:

Nº de Muestra	Au gr/TM	Cu %
TM-N-003	0,15	0,02

### Pongo

Ubicación y acceso: Se localiza al SE de Nasca, en el distrito de Copara, provincia de Nasca, departamento de Ica, a 905 m de altitud y en las coordenadas UTM 8.365.727 N y 517.876 E. Se accede desde el desvío de la Panamericana Sur (km 475), siguiendo una carretera afirmada de 25 km hasta Chauchilla y desde ahí se recorren 13 km para llegar a la mina.

Marco geológico: Existen una serie de pequeños cateos en superficie y por lo menos dos labores subterráneas ejecutadas

artesanalmente (Foto 18). Las cajas presentan argilitización y mineralización persistente.

El Resultado del análisis de una muestra es el siguiente:

Nº de Muestra	Au gr/TM	Cu %
TM-N-007	0,43	0,26

### Copara (Salaverry - Chauchilla)

Ubicación: La mina se encuentra en el distrito de Chauchilla, provincia de Nasca, departamento de Ica, a 803 msnm, y en las coordenadas UTM 8.336.805 N y 510.141 E.

Marco geológico: El yacimiento se emplaza en rocas volcánicas hipabasales andesítico-dacíticas, en contacto con cuarcitas del grupo Yura, intesamente fracturadas y silicificadas. Existen tres vetas, de las cuales dos han sido exploradas en galerías y una, de tipo filoniano, a cielo abierto.

De acuerdo al reconocimiento realizado, en el área existen estructuras con rumbo N 65° O y 80° NE, lentes superficiales limonitizados con valores apreciables en oro y bajos en cobre (Foto 19).

El análisis de una muestra dio el siguiente resultado:

Nº de Muestra	Au gr/TM	Ag gr/TM	Cu %
TM-N-006	4,63	< 0,5	0,77

### Santa Rita

Ubicación y acceso: Mina ubicada en el flanco sur del cerro La Perla, cerca de la quebrada de Ingenio, en el distrito de mismo nombre, provincia de Nasca, departamento de Ica, a 875 msnm, y en las coordenadas UTM 8.388.920 N y 494.233 E. Se accede desde Palpa por la Panamericana Sur, hasta llegar al desvío a El Ingenio (km 415), desde donde se sigue una carretera afirmada que va a Otoca, pasando por Tulin, que está a 11 km del desvío mencionado, para luego seguir una trocha carrozable de 2,5 km a la mina.

Marco geológico: El depósito cuenta con dos vetas principales: la primera ha sido explorada y está ubicada en el lado este del área, con un afloramiento de 160 m, rumbo N 20° O y buzamiento 78° SO, potencia promedio 1,0 m. La segunda veta se llama La Perla, se encuentra a unos 1000 m al oeste de la veta anterior, con pequeñas labores subterráneas, y su afloramiento es discontinuo, mide 80 m de longitud, tiene rumbo N 12° E y buzamiento 74° E, con 0,60 m de potencia. Ambas vetas se emplazan en rocas volcánicas de la formación Copara.





**Foto N° 16** Estructuras que muestran el afloramiento de óxidos con buzamiento de 45° oeste.



**Foto N° 17** Vista panorámica de la mina Sol de Oro. El sistema de vetas del tipo relleno de fracturas con cuarzo aurífero se emplaza en rocas intrusivas. Nótese una cancha de depósito.



**Foto N°18** Entrada a la veta principal, en rocas andesíticas. La alteración argílica es fuerte, hay óxidos y pirita.



**Foto N° 19** Mirando el frente. La estructura alcanza 3 m de ancho, fuertemente oxidada y limonitizada, hay presencia de crisocola y malaquita.

Los minerales económicos que se encuentran en las vetas son menas de cobre. El oro se encuentra como subproducto.

Muestras anteriores dieron los siguientes resultados:

Nº de Muestra	Pot. (m)	Au gr/TM	Cu %
631	0,40	1,0	4,9
632	1,20	0,5	5,0
633	1,00	1,0	3,6
802	0,40	Tr	1,0
809	0,40	1,0	3,8

### Los Incas (Au-Cu)

Ubicación y acceso: Está ubicada en el distrito de Santa Lucía, provincia de Lucanas, departamento de Ayacucho, a una altitud de 1371 m y en las coordenadas UTM 8.345.666 N y 534.361 E. Se accede por la carretera Panamericana Sur, (km 461-462), entrando por la quebrada Las Trancas ubicada a 45 km de Nasca. El yacimiento fue explorado en la década de los setenta y se han habilitado los trabajos en los niveles 180 (Rompecabezas) y 260 (Ñusta); actualmente está en operación.

Marco geológico: Las rocas que afloran en el área son de la formación Guaneros y están constituidas por intercalaciones de areniscas, pizarras y niveles cuarcíticos con derrames andesíticos de edad Jurásico Superior. Al SO y NE de la mina aflora una tonalita/granodiorita silicificada del Tiabaya. Existe una falla regional que tiene orientación N 50° O y corta la secuencia de los metasedimentos del Guaneros.

La mineralización es de tipo filoniano, que se dispone en fracturas NS a N 30° O, rellenas con vetillas de cuarzo con calcopirita y pirita. La mineralización se dispone en estratos favorables como las pizarras, fuertemente alteradas y fracturadas, donde las cuarcitas son los controles litológicos, tal como se observa en el nivel 180 de la veta Ñusta.

Los análisis de las muestras dieron el siguiente resultado:

Codigo	Pot m.	Rbo	Buz	Au gr/Tm	Ag ppm	Pb ppm	Zn ppm	Cu ppm	Fe %
201009	0,70	N-S	45E	6,17	4,0	9	159	10 170	4,22
201010	0,40	N30O	25SO	11,33	3,0	9	46	10 889	2,18
201011	0,80	N-S	20E	16,33	9,0	5	45	888	1,16

- Los minerales de mena son: calcopirita, malaquita, crisocola y oro.
- Los minerales de ganga son: cuarzo, pirita, hematita, especularita y calcita.

- En una sección pulida se observa fuerte hematita masiva secundaria, galena y pirrotita (30 micras) diseminada, el oro (75 micras) con el cuarzo.
- Se reporta afloramientos de vetas de cuarzo, que rellenan fracturas en los metasedimentos de la formación Guaneros y en el intrusivo tonalítico del Tiabaya (cerro San Fernando); el control es de tipo mineralógico y litológico.

### Huarangullo

Ubicación y acceso: Está ubicado en la falda sureste de la quebrada Carrizal, distrito de San Luis, provincia de Lucanas, departamento de Ayacucho, a 1858 msnm y en las coordenadas UTM 8.344.718 N y 542.042 E. Se accede desde Nasca, por la carretera Panamericana Sur hasta el km 488, de aquí se sigue una trocha que va por la quebrada carbonera hasta la unión de los valles Carrizal y Santa Lucía, con un recorrido de 49 km hasta la mina.

Marco geológico: El yacimiento presenta una veta principal que aflora a media falda del cerro del mismo nombre y en forma casi perpendicular a la pendiente, con una longitud de 250 m, rumbo N 70° O, buzamiento 50° SO y la potencia alcanza hasta 1,50 m.

La roca caja es un intrusivo granodiorítico silicificado. El mineral consiste en cuarzo que aparece como vetillas con diseminaciones de pirita y escasas galena y calcopirita (Foto 20).

Una muestra analizada dio como resultado:

Nº Muestra	Pot. (m)	Au gr/TM	Ag gr/TM	Cu %
TM-AC 024	1,0	2,58	0,7	0,02

### Huarasaca

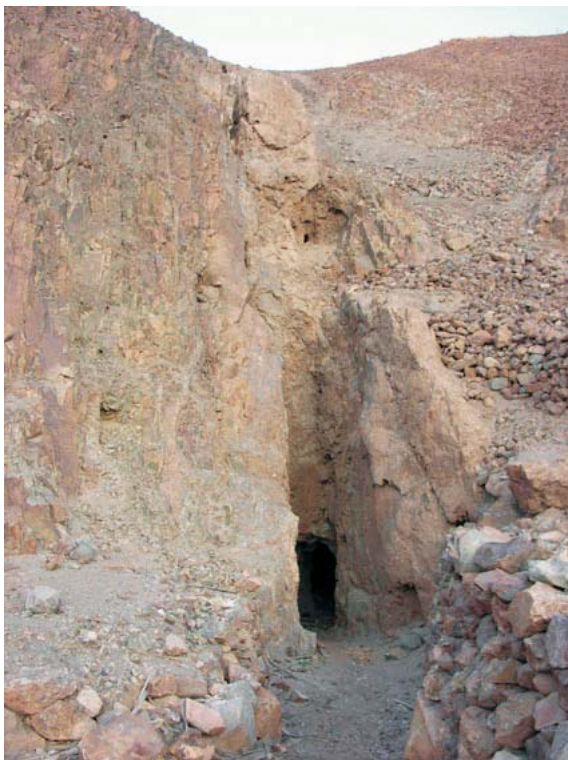
Ubicación y acceso: Está ubicada en la quebrada Ingenio, 2 km al este de la hacienda Huarasaca, en el cerro del mismo nombre en el distrito de El Ingenio, provincia de Nasca, departamento de Ica, a 1295 msnm y en las coordenadas UTM 8.377.823 N y 513.678 E. Se llega a la Hacienda Huarasaca por el desvío de la Panamericana Sur en el km 488 y se sigue un tramo de 42 km.

Marco geológico: Es un depósito de tipo filoniano, emplazado en rocas andesíticas alteradas de color gris oscuro verdoso, grano fino y poco poroso. Se observa limonitización, sericita y cloritas. El rumbo de la veta a partir de la galería principal es N 58° O, con buzamiento 85° NE y potencia de 0,55 m.

El relleno mineral está constituido por ganga de cuarzo y calcita en venillas entrecruzadas, siendo la pirita aurífera la principal mena (Foto 21).



**Foto N° 20** Vista parcial de la estructura mineralizada actualmente trabajada por mineros informales.



**Foto N° 21** Estructura subvertical con relleno de cuarzo y calcita en venillas de rumbo N55°O y buzamiento 58° SW con un ancho de 0,40 m. Actualmente es trabajada por comuneros de la localidad.

Una muestra tomada en la galería dio el siguiente resultado:

Nº Muestra	Pot. (m)	Au gr/TM	Ag gr/TM	Cu %
D-003	0,75	49,3	36,6	1,9

### Samarca (Au)

Ubicación y acceso: Está ubicada en el distrito Santa Cruz, provincia de Palpa, departamento de Ica, a una altitud de 675 m y en las coordenadas UTM 8.397.514 N y 489.088 E. Se llega desde Palpa (km 345 de la Panamericana Sur), siguiendo un desvío (carretera afirmada) de 12 km por la quebrada río Viscas.

Marco geológico: El yacimiento es del tipo relleno de fractura, con presencia de oro libre relacionado a estructuras de vetas de cuarzo, acompañadas de mineralización polimetálica de plata y plomo, y hematita con óxidos de cobre.

Se encuentra en el cuerpo intrusivo del complejo Bella Unión, alterado, fracturado y argilitizado. Las estructuras tienen rumbo variable entre N-S y N 30° E, buzamiento 20° NO, con potencias entre 0,20 y 0,50 m, y longitudes de 200 m. Hacia el Este se encuentran afloramientos de cuarcitas del grupo Yura, con marcada alteración en los contactos.

La mineralización observada contiene como elementos predominantes: calcopirita, bornita, y galena argentífera, con vetas de cuarzo aurífero, relleno de calcita y óxidos de hierro. El oro nativo se encuentra asociado a pirita. Como minerales de ganga se presentan rejalgar y oropimente.

El análisis de las muestras dio el siguiente resultado:

Código	Pot. m.	Rumbo	Buz.	Au gr/TM	Ag ppm	Pb ppm	Zn ppm	Cu ppm	Fe %
201145	0,50	N-S	N	10,83	25,0	788	306	719	194
201146	----	----	----	1,5	18,0	1 648	950	2 470	10,5
201363	0,20	N30E	20NO	0,083	4	88	86	45	1,41

\* Relave de amalgamación.

Las vetas son del Cretáceo Superior, asociadas a rocas plutónicas del complejo Bella Unión del batolito de la costa. Están emplazadas en rocas volcánicas del grupo Copara. Se han explotado principalmente dos vetas. La veta 1 tiene 600 m de afloramiento, rumbo N-S y buzamiento 48° O; la veta 2 se ubica después de la primera (en el extremo sur), con 150 m de afloramiento, rumbo N 25° O, buzamiento 48° NE y potencia de 0,60 m (Foto 22).

### SECTOR III JAQUÍ-CHALA-CHÁPARRA (Au)

Está ubicado en el sector central del área de estudio, y el punto medio se encuentra en las coordenadas UTM 8.283.000 N y 703.000 E; es muy amplio pues la extensión aproximada es 140 por 45 km. La mayor parte de las ocurrencias y los yacimientos minerales están emplazados en rocas intrusivas de las superunidades de Tiabaya (tonalita, granodiorita), Incahuasi (tonalita, diorita) y rocas subvolcánicas andesitas del Cretáceo Superior. Los sectores con mineralización de oro tienen orientación NO-SE y los yacimientos son del tipo filoniano hidrotermal.

Entre los yacimientos y ocurrencias minerales metálicas que corresponden a este sector se encuentran los siguientes:

#### Orión

Ubicación y acceso: Está ubicado en el cerro Orión, 30 km al norte del pueblo de Chala, en el distrito de mismo nombre, provincia de Caravelí, departamento de Arequipa, con una altitud promedio de 1713 msnm. Las coordenadas UTM son 8. 275.062 N y 578.619 E. Se accede al yacimiento por la carretera Panamericana Sur hasta Chala (km 610), desde ahí se sigue una trocha carrozable en dirección a Pullo (Cora Cora) y a la altura del km 25 existe un desvío a la izquierda que lleva a la mina luego de recorrer 5 km.

Marco geológico: Afloran lutitas y areniscas de la formación Yauca, que sobreyacen en discordancia a los volcánicos sedimentarios de la formación Guaneros; ambas formaciones se encuentran intruidas por monzonitas y dioritas de la superunidad Linga y por dacitas y andesitas del complejo Bella Unión.

Hay seis estructuras mineralizadas que se emplazan en una superficie de 2 km, la principal es la veta Francia con rumbo N 54° O, buzamiento 76° NE y potencia variable entre 0,50 y 1,50 m. Otras vetas son Francia Alta, Ana María, Bonanza, Orión y Ana María 2.

La zona de oxidación alcanza una profundidad hasta de 100 m y presenta hematita secundaria, crisocola, limonita, oro nativo residual (primario) y minerales hipógenos parcialmente oxidados. Se observan inclusiones de oro nativo en la limonita y hematita supérgena (Foto 23).

Las muestras tomadas en la galería principal y el tajo proporcionaron los siguientes resultados:

Nº Muestra	Au gr/TM	Ag gr/TM	Cu %	Observaciones
TM-CH-021	6,17	0,7	0,02	Frente
TM-CH-021-A	53,00	2,5	0,01	Tajo



**Foto N° 22** Afloramiento de una estructura de 0,50 m, con rumbo N40°O y buzamiento 50° NE, con fracturamiento y pequeños ramales (splits)



**Foto N° 23** Vista tomada en interior mina de veta Francia de rumbo N54°O y buzamiento 76° NE de 0,50 m de potencia, se observan hematitas, crisocola y limonita. Actualmente en explotación por una empresa formal.

## Mina San Luis (Au)

Ubicación y acceso: Está ubicada en el distrito de Sancos, provincia de San Juan de Lucanas, departamento de Ayacucho, a 2340 msnm y en las coordenadas UTM 8.305.574 N y 577.344 E. Se accede por la carretera Panamericana Sur hasta la localidad de Yauca (km 567), donde se toma el desvío (carretera afirmada) hacia Jaquí y luego a la planta Laytaruma siguiendo un tramo de 48 km, para luego seguir un camino carrozable hasta la mina (15 km aproximadamente).

Marco geológico: La mina se encuentra emplazada en la superunidad Tiabaya (Cretáceo; Foto 24), en donde la veta principal denominada San Luis presenta un afloramiento de 800 m, rumbo N 50° O y buzamiento 45° NE, alcanzando una potencia de veta promedio de 1,20 m.

En el área, la roca caja es diorita-tonalita, la cual gradada localmente a granodiorita, con abundante biotita que se incrementa en las cajas cercanas a las vetas. Los tipos de alteración son: silicificación moderada a débil y filica y argílica en forma subordinada.

La mineralización consta de cuarzo ahumado en forma discontinua y lenticular, con calcopirita, pirita y oro libre en una matriz de hematita, goheliita y jarosita, a veces calcita y clorita. Las vetas registradas en el área son: Santa Rita, Santa Rosa, Santa Filomena, Santa Enriqueta y Santa Ana.

El análisis químico de dos vetas dio los resultados siguientes:

Codigo de muestra	Pot. (m)	Au gr/TM	Ag ppm	Cu ppm	Mo ppm	Fe %
208143 veta	1,20	0,11	3	40	14,3	1,36
208144 veta	1,20	19,9	4,7	112	10,2	5,13

## Santa Filomena

Ubicación y acceso: Está ubicada en la localidad del mismo nombre, en el distrito de Sancos, provincia de Lucanas, departamento de Ayacucho, a 2437 msnm y en las coordenadas UTM 8.301.981 N y 578.830 E. Se accede por la carretera Panamericana Sur y se llega a la localidad de Yauca (km 574), desde ahí se continúa por una trocha carrozable en sentido noreste hasta la localidad de Jaquí, para luego bordear la quebrada Angostura hasta la quebrada Santa Rosa, recorriendo 52 km hasta Santa Filomena.

Es una mina de oro antigua, que fue explotada por la Compañía San Luis Gold Mines Company y forma parte del grupo de minas auríferas Santa Rosa-San Luis. Actualmente el área de la Unidad Minera Santa Filomena pertenece a la Sociedad de Trabajadores Mineros S.A. (SOTRAMI) y cubre 1000 ha.

Marco geológico: Siguiendo la secuencia con dirección a Santa Filomena, aflora el Complejo Santa Rita, con dirección NO-SE, constituido por rocas metamórficas dioritas-piroxénicas-cuarcíferas y andesitas; estas rocas muestran mineralización principalmente hacia el contacto con la diorita.

La diorita se presenta como una franja angosta de 4 km y es un miembro del batolito de la costa, es de grano medio a fino y sus componentes son feldespatos, biotita de gran tamaño y hornblenda. En ella se emplaza el mayor número de vetas, y puede considerarse la roca dominante en la zona.

En el área de Santa Filomena existen numerosas vetas, 30 a 40 de ellas tienen afloramiento definido y labores minadas desde tiempo atrás con longitudes que varían entre 100 y 1000 m y potencias entre 0,25 y 0,10 m e incluso menores. Los afloramientos suelen ser tan angostos que en muchos casos constituyen trazas. Filomena es la veta principal de explotación, habiéndose reconocido hasta 950 m en superficie; el rumbo varía de N 87° E a S 85° E, el buzamiento varía de 54° a 60° NE y las potencias entre 0,30 y 0,20 m. La veta está compuesta por cuarzo gris pardusco a hialino, poroso hematitizado, y está emplazada en rocas dioríticas-granodioríticas. Las cajas presentan alteración silíceo y propilítica, y en algunos casos se observa macroscópicamente oro libre.

En el área de interés se han considerado 3 tipos de vetas: Las extensas como Filomena, La Cruz (Santa Rosa), Luren, etc. que logran tener afloramientos hasta de 1 km, y algunos tramos tienen anchos que llegan a 3 m, y en su interior tienen aspecto de bandas o subvetas. La mayor parte de estas estructuras son fallas de gran longitud reactivadas. Las vetas medianas tienen similares características en cuanto a su estructura, son ramales que van formando una cola de caballo; cerca de la intersección con la veta principal se observa su mejor desarrollo y contenido económico. El tercer tipo está referido a las uniones entre vetas y ramales (*splits*), dando el aspecto de *stock work*. Estos *splits* son los más abundantes en el área de Filomena, Luren, etc.

La zona de brecha (*stock work*) se ubica entre las minas La Española y Enriqueta, y abarca una extensión de 180.000 m<sup>2</sup> (600 x 300 m), presenta aspecto brechado, con estructuras delgadas de rumbo NO-SE, predominando las de rumbo N 50° O, fuertemente alterado por caolinita, sericita y sílice; además, contiene algo de oxidación ocre.

Filomena cuenta con 13 niveles, y de acuerdo a la explotación de años anteriores, casi todas las vetas tienen valores económicos, asumiéndose que el oro tiene una distribución regular en sentido longitudinal y vertical (Foto 25).



**Foto N° 24** Planta de San Luis en quebrada Jaquí. Notese la estructura principal. En la parte baja, la planta de tratamiento (abandonada).



**Foto N° 25** Stock work, alterado con caolinita, sericita y sílice, se observa una oxidación superficial.



El análisis químico de dos muestras dio el siguiente resultado:

Nº de Muestra	Au gr/TM	Ag gr/TM	Observaciones
TM-J-018	0,04	0,5	Stock work
TM-J-019	0,15	-	Stock work

### Porvenir (Ex Suminsa)

Ubicación y acceso: Está ubicado en el cerro del mismo nombre aproximadamente 5 km al NE de la mina Orión, pertenece al distrito de Chala, provincia de Caravelí, departamento de Arequipa, a una altitud de 2227 m y en las coordenadas UTM 8.276.316 N y 582.529 E.

Marco geológico: La estructura mineralizada está emplazada en el intrusivo granodiorítico, y la veta se encuentra mantecada con un afloramiento que mide aproximadamente 100 m, con rumbo N 15° E, buzamiento 25° O y potencia de 0,25 m.

La parte central ha sido trabajada y consta de 3 labores en inclinados, siendo el tercer manto o inferior el más desarrollado, que alcanzó 12 m de profundidad, dando aparentemente los mejores resultados.

Los análisis recogidos en un muestreo representativo dieron estos resultados:

Nº de Muestra	Au gr/TM	Ag gr/TM	Cu %
TM-C-025	26,67	10,8	0,5

### María Auxiliadora

Ubicación y acceso: Está ubicada en la falda occidental del cerro Colorado, cerca de la quebrada La María, aproximadamente a 10 km de la mina Orión, en el distrito de Chala, provincia de Caravelí, departamento de Arequipa; la altitud promedio en la que se encuentra es 1980 msnm y las coordenadas UTM son 8.269.446 N y 588.748 E. Se accede por la carretera Panamericana Sur, llegando al poblado de Chala (km 607), donde se toma un desvío hacia Chala Viejo en dirección a Tocota (km 25), encontrando otro desvío con dirección norte y se recorren 5 km para llegar a la mina.

Marco geológico: En la zona afloran andesitas del volcánico Chocolate (Jurásico Superior), y constituyen la roca-caja de las estructuras mineralizadas.

La mineralización es epigenética vetiforme, observándose un sistema de vetas paralelas con dirección N-S. La mina tiene tres vetas principales, dos de ellas afloran 600 m aproximadamente con rumbo N 12° E y buzamiento 75° O, alcanzando una potencia

promedio de 0,75 m. La tercera veta se reconoce por tramos que alcanzan 250 m, su rumbo es N-S, buzamiento 70° O y potencia de 0,60 m. Estas vetas han sido afectadas por un sistema de fallas de rumbo N 80° O y buzamiento 65° N.

Las vetas tienen abundante cuarzo, calcita, siderita, pirita, rodocrosita y algo de calcopirita y galena. La limonita aparece como mineral secundario. Es probable que el oro se encuentre en solución sólida dentro de la pirita (Foto 26).

Estos son los resultados de los análisis de dos muestras tomadas en la veta principal:

Nº de Muestra	Au gr/TM	Ag gr/TM	Cu %	Pb %
TM-CH-028	41,5	44	1,0	15,2
TM-CH-029	48,5	84	0,8	-

### Capitana (Au-Ag)

Ubicación y acceso: Es una de las minas más importantes en esta zona, está ubicada en el flanco SO del cerro La Capitana, en la intersección de las quebradas Huanu-Huanu y La Charpa, el área pertenece al distrito de Tocota, provincia de Caravelí, departamento de Arequipa y se encuentra a 1320 msnm y en las coordenadas UTM 8.272.050 N y 601.858 E. Se llega a la mina por la carretera Panamericana Sur, hasta Chala, y de ahí se sigue una carretera afirmada de 48 km.

Marco geológico: La mineralización tiene rumbo dominante N 40° E y buzamiento 10° NO. Estas vetas son fallas cuyo relleno consiste en cuarzo ferruginoso masivo, pirita, arsenopirita, oro, calcopirita, esfalerita, galena, marcasita, calcita, cuprita, malaquita, hematita, crisocola y óxidos de manganeso. El oro se encuentra asociado al cuarzo, pirita y arsenopirita. Su potencia es variable desde algunos centímetros hasta 0,50 m con leyes de 20 gr/t de Au. La roca encajonante es una roca volcánica con biotita-epídota de color gris oscura verdosa, con fenos de plagioclasa de grano fino y textura porfírica. Estas vetas se encuentran emplazadas en la superunidad Tiabaya (Foto 27).

El análisis de una muestra dio como resultado:

Nº de Muestra	Pot (m)	Au gr/TM	Ag ppm	Pb ppm	Zn ppm	Cu ppm	Mo ppm	S %	As ppm	Cd ppm
208139 veta	0,50	20,27	6,9	2 735	139	182	16,8	2,8	124	1,5

### Torrecillas

Ubicación y acceso: La mina está en actividad y se encuentra 12 km al este del distrito de Cháparra, provincia de Caravelí, departamento de Arequipa, a 2820 msnm y en las coordenadas



**Foto N° 26** Vista panorámica del sector Charpera E en roca intrusiva granodiorítica. Al pie de la quebrada se ubican las galerías principale. Está abandonada.



**Foto N° 27** Parte alta de la mina capitana. Actualmente rehabilitada y trabajada por la Cia Minera Caravelí, la estructura tiene hasta 0,55 m de potencia y contiene cuarzo, pirita, oro y chalcopirita.

UTM 8.258.799 N y 626.455 E. Se accede por la carretera Panamericana Sur hasta la altura de Chala, donde se toma el desvío a Cháparra (70 km) y se recorren 15 km hacia Cora-Cora para llegar a la mina.

Marco geológico: El área comprende estructuras mineralizadas denominadas vetas Torrecillas 1, 2 y 3. La veta 1 tiene rumbo N 82° O y una potencia de 0,10 a 1,20 m, con una longitud de 120 m; la veta 2 presenta labores en dos niveles, tiene rumbo N 42° O, buzamiento 50° O, 160 m de longitud y potencia promedio de 0,50 m.

La zona de oxidación alcanza una considerable profundidad (100 m aproximadamente). La mineralogía comprende: hematita secundaria, crisocola, malaquita, limonita, oro nativo residual y minerales hipógenos residuales. El oro en superficie está asociado a limonitas, y existe mineralización primaria: oro nativo, pirita, cuarzo y calcopirita. El oro nativo se presenta asociado a la pirita (Foto 28).

Los resultados de los análisis de las muestras son los siguientes:

Nº de Muestra	Pot. (m)	Au gr/TM	Cu %	Observaciones
MR - 6	0,70	0,43	0,06	Afloramiento

## Calpa

Ubicación y acceso: Está ubicada en el distrito de Atico, provincia de Caravelí, departamento de Arequipa, a una altitud de 2100 m y en las coordenadas UTM 8252589 N y 659480 E. Se accede desde Atico, a la altura del km 705 de la carretera Panamericana Sur, en dirección a la ciudad de Caravelí, y en el km 40 se toma un desvío de 16 km de carretera afirmada para llegar a la mina.

Marco geológico: Aflora una andesita descompuesta, con textura porfídica, a veces microgranular. Existe un fracturamiento predominante de rumbo N 70° O (falla Calpa) y N 70° E con buzamiento de 70° a 80° N que coincide con las principales vetas de Calpa. Las estructuras mineralizadas pertenecen a dos sistemas de fracturamiento. El primero de rumbo N 70° O / 65°-75° N, al cual pertenecen las vetas Hilo 375, San Miguel, M, Norte 1, Norte 2, Bellavista y Julio, y el sistema N 70° E / 65°-75° N que corresponde a las vetas Sin Nombre, Coqueta y Buena Vista.

Existe un zonamiento vertical definido, una zona oxidada, desde superficie hasta el nivel 2184, y otra zona de sulfuros primarios en los niveles inferiores.

La roca caja está alterada a silicificación, argilitización, seritización y cloritización. La mineralización consta principalmente de pirita,

cuarzo, calcopirita, calcosita, rodonita, calcita, yeso, limonita y hematita. El oro se encuentra en la pirita, el cuarzo y la calcopirita.

En el distrito aurífero de Calpa, las alteraciones presentan una facie propilitica que es característica del yacimiento; se han desarrollado en abundancia clorita y sericita, y en menor proporción carbonatos.

Estos son los resultados del análisis de las muestras recogidas:

Nº de Muestra	Pot. (m)	Au gr/TM	Ag gr/TM	Cu %	Observaciones
2901	0,5	8,0	4,0	Tr.	Veta Buena Vista
2912	--	3,0	1,0	Tr.	Relaves

## Prospecto Huayllacha Oeste

Ubicación y acceso: Está ubicado en el distrito de Quicacha, provincia de Caravelí, departamento de Arequipa, a una altitud de 3200 m, y en las coordenadas UTM 8.281.000 N y 640.000 E. Se accede desde el km 605 de la carretera Panamericana Sur, donde se toma el desvío Chala-Cháparra-Quicacha que recorre 80 km en una trocha carrozable; en Quicacha se toma el camino hacia Huayllacha que abarca 15 km en trocha carrozable; finalmente, desde Huayllacha se llega al prospecto recorriendo 3 km por un camino de herradura.

Cerca del área de interés se encuentra el prospecto Marcahui, estudiado por el INGEMMET en los años 1970 al 1972, mediante un programa de prospección geoquímica que permitió detectar una serie de anomalías por cobre, siendo Marcahui la más importante. Posteriormente se realizó un muestreo sistemático de suelos y se delimitaron las áreas de Marcahui-Azulyacu, con posibilidades de constituirse en prospectos de pórfidos de cobre. En los años 1979 y 1980, el INGEMMET en Cooperación Técnica con la Misión Española efectuó un programa más amplio de prospección en el sector de Marcahui, con dos campañas de geofísica y un programa de comprobación diamantino.

La época en que se realizó este prospecto era la del boom del cobre y por ello los estudios se orientaron a los yacimientos porfíricos de cobre-molibdeno, y no se consideraron otros elementos que tienen actualmente interés económico, tanto en oro como en plata.

Marco geológico: En el área afloran rocas del batolito de la costa de composición granodiorítica, que varían a tonalita y adamelita, fuertemente intemperizadas y fracturadas.

Existen numerosos diques de composición dacítica andesítica que cortan al intrusivo granodiorítico con rumbo N-S. Un stock de

microgranito de 200 por 200 m aflora 2 km al sur de Marcahui, ligeramente alterado y piritizado. Además, numerosas fallas afectan a los intrusivos del sector; entre ellas una falla regional. Existen fallas menores con orientaciones N-S y E-O, que originarían un intenso fracturamiento y, como consecuencia, la presencia de mineralización.

El área en estudio presenta signos de alteración hidrotermal poco intensa, en donde se observa argilitización y limonitización de los suelos residuales provenientes de la oxidación de la pirita presente en fracturas y diseminaciones (Foto 29).

Nº de Muestra	Au gr/TM	Ag gr/TM	Cu %
TM-CHP	3,79	75,0	0,2

### Cerro Canchete

Ubicación y acceso: Está ubicado en el paraje Cerro Chanca Arena, distrito de Acarí, provincia de Caravelí, departamento de Arequipa, cerca del límite con Ayacucho y en la peneplanicie subandina de la cordillera Occidental de los Andes. Se localiza en las coordenadas UTM 8.321.000 N y 562.000 E y a una altitud promedio de 2100 m. Se accede por la carretera Panamericana Sur, a la altura del km 550 se inicia el desvío hacia Acarí y se recorren 22 km de carretera asfaltada hasta llegar a este destino; desde Acarí hacia el prospecto se recorren 50 km de trocha carrozable.

Marco geológico: En la zona se exponen rocas intrusivas y volcánicas; las primeras cubren la mayor parte del área con granodiaritas y dioritas de la superunidad Tiabaya (Cretáceo Inferior) en tanto que las volcánicas presentan tobas (volcánico Sencca) del Terciario.

La mineralización corresponde a relleno de fisuras preexistentes con cuarzo hidrotermal que tiene vetas con afloramientos de cuarzo masivo ferruginoso y cuarzo rosado con manchas de sulfato de cobre, óxido de Fe con hilos y diseminaciones puntuales de pirita; el oro se presenta en estado libre y asociado al cuarzo y pirita. La mineralización es de facie epitermal y procede de soluciones hidrotermales.

Las estructuras NO-SE y E-O afloran de decenas a centenas de metros, con buzamiento vertical a subvertical principalmente NE, y llegan a determinar seis vetas principales.

Los resultados de los análisis de las muestras son los siguientes:

Nº de Muestra	Au gr/TM
Veta uno	1,4
Veta dos	5,4
Veta tres	12,6
Veta cuatro	11,6
Veta cinco	45,8
Veta seis	9,4

### SECTOR IV CARAVELÍ (Au-Ag-Cu)

Se encuentra en el extremo este del área estudiada, en las coordenadas UTM 8.240.000 N y 701.000 E, con una extensión aproximada de 64 por 17 km.

En este sector se observaron yacimientos filonianos, emplazados en rocas intrusivas de las superunidades de Tiabaya (tonalita y granodiorita del Cretáceo Superior) e Incahuasi (tonalita del Cretáceo Superior y la formación Moquegua del Terciario).

Entre los yacimientos y las ocurrencias minerales metálicas que corresponden a este sector están los siguientes:

#### Minsky (Ex Posco)

Ubicación y acceso: En la parte inferior de la quebrada Posco, entre los cerros Infiernillo y Cruz Blanca, hacia la margen derecha del río Ocoña, en el distrito de Mariano Nicolás Valcárcel de la provincia de Camaná, Región Arequipa, a una altitud de 950 m, y en las coordenadas UTM 8.234.524 N y 695.489 E. Se accede a través de dos rutas: la primera es Lima-Caravelí-Posco e involucra 795 km de recorrido, y la segunda es Lima-Quebrada Calaveras-Posco y recorre 755 km.

Marco geológico: Las rocas están constituidas por dioritas y rocas subvolcánicas del complejo Bella Unión, intruidas por granodioritas de la superunidad Incahuasi. Estas se encuentran afectadas por un sistema de fracturas y fallas con rumbo N 60° a 80° E y buzamiento 70° a 88° E. Las fracturas están rellenas a veces con cuarzo hialino y lechoso, constituyendo vetas, con pirita y calcopirita acompañados por altos valores de oro. Las vetas más conocidas son Santo Rosario y Soledad con longitudes de 1000 y 500 m y potencias de 0,10 a 0,70 m.

Los minerales auríferos que ocurren en este yacimiento son:

- Oro libre y electrum como inclusiones en pirita de formas globulares y alargadas (de 0,5 a 120 micras de diámetro).
- Microvenillas constituidas por electrum, que cortan a la pirita y se ubican en los contactos de la misma pirita.
- Electrum como inclusiones globulares y anhedrales dentro de la galena y en la calcopirita.



**Foto N° 28** Vista panorámica de la veta principal de rumbo N 42° O, buzamiento 50° O, potencia 0,50 m y afloramiento de 200 m, actualmente en operación.



**Foto N° 29** Vista parcial del stock mineralizado fuertemente oxidado y una alteración argilitizada. Nótese algunas trincheras de regular tamaño empleada en la prospección.

- Inclusiones de electrum y oro libre (menores de 150 micras) en el cuarzo.

El análisis de una muestra proporciona los siguientes resultados:

Nº de Muestra	Pot. (m)	Au gr/TM	Ag gr/TM	Observaciones
N-05	0,40	19,3	2,0	Nivel 905

### San Juan de Chorunga (Ocoña)

Ubicación: Está ubicado en la margen derecha del río Chorunga, entre 200 y 1000 msnm, en el distrito de Río Grande, provincia de Condesuyos, departamento de Arequipa, en las coordenadas UTM 8.441.000 N y 709.000 E. Para llegar a la mina desde Ocoña se recorre 57 km por una trocha carrozable hasta Cuno-cuno e Iquipí, desde aquí por trocha carrozable de 35 km hasta el centro minero de San Juan de Chorunga.

Marco geológico: El sistema de vetas se emplaza en granodioritas de la superunidad Incahuasi, que ha sido intruida por numerosos cuerpos y diques subvolcánicos de rocas que gradan de básicas a intermedias. La alteración en el contacto es débil y en profundidad aparecen alteración hidrotermal o sericitica, calcita y óxidos de hierro.

En el distrito se observan tres sistemas de fracturamiento que conforman las vetas principales desarrolladas: NO-SE, NE-SO y E-O. Las fracturas están rellenas con cuarzo blanco a gris rojizo, con presencia de pirita, pirrotita, chalcopirita, calcita y limonita. El oro libre se encuentra intersticial con pirita y cuarzo. Numerosos diques de microdioritas, dacitas y andesitas están asociados a la mineralización. Otra serie de diques pórfido-andesíticos también afloran en la región, tal como la del prospecto Erika, pudiendo formar parte un depósito de Cu-Mo existente en el batolito del sur del país, y es necesario considerarla como un área prospectable.

Nº de Muestra	Au gr/TM	Ag ppm	Zn ppm	Pb ppm	Cu ppm	Mo ppm	Ubicación
Cav-Q-231	38,67	70	42	36	73	12	Veta San Juan
Cav-Q-232	12,17	-	330	48	69	7	Veta Diagonal
Cav-Q-238	14,67	1,5	52	30	22	12	Split San Juan
Cav-Q-248	3,75	<0,5	31	11	23	117	Stock Sta.
Cav-Q-252	0,18	2,5	22	17	68	13	Veta Sta. Clarita
Cav-Q-256	0,12	2,5	40	20	235	229	Pórfido Erika

Su extensión total es de 10,5 por 4,2 km.

### Rosa María

Ubicación: Se encuentra en el distrito de Acarí, provincia de Caravelí, departamento de Arequipa, a 1680 m de altitud y en las coordenadas UTM 8 313 442 N y 536 245 E. Hay dos maneras de llegar a la mina: se sigue el acceso a las minas de hierro Acarí o desde la ciudad de Acarí hasta Otapava (carretera afirmada), y luego se continúa por una trocha carrozable de 15 km aproximadamente.

Marco geológico: La veta tiene rumbo N 47° O, buzamiento 65° NE y potencia de 0,50 m. Los minerales de mena son malaquita, cuprita, calcosina y covelina, propios de la zona de oxidación y enriquecimiento supergénico. La ganga está constituida por pirita en finos cristales, lentes de cuarzo lechoso y delgadas láminas de yeso.

Las labores consisten en un pique de 60 m aproximadamente, en el cual se han desarrollado varios niveles para explotar principalmente la calcopirita y óxidos de cobre. Este sistema vetiforme está emplazado en las monzonitas Cobrepampa.

Los análisis de las muestras proporcionaron estos resultados:

Código de muestra	Pot. (m)	Cu ppm	Pb ppm	Zn ppm	Fe %	Co ppm	Au gr/TM
208299 veta	0,50	72 754	85	1 643	5,96	97	0,32

### Huiscoro

Ubicación y acceso: Está ubicado en la margen derecha de la quebrada del mismo nombre, 5 km al NO del pueblo de Caravelí, en el distrito de Huiscoro, provincia de Caravelí, departamento de Arequipa. Se encuentra a 2000 m de altitud y en las coordenadas 8.258.056 N y 669.911 E. Se accede por la carretera Panamericana Sur hasta la localidad de Atico (km 705), desde donde se continúa hacia Caravelí por una carretera afirmada y desde esa última se camina 5 km para llegar al área de Huiscoro.

Marco geológico: Afloran principalmente rocas intrusivas granodioríticas que sirven de roca-caja a dos vetas. La principal tiene rumbo N 74° E, buzamiento 80° NE, potencia 0,60 m y un afloramiento de 200 m. La otra veta aflora casi perpendicularmente al lado oeste de la anterior, con rumbo N 50° O, buzamiento 72° SO, potencia 0,55 m y longitud de 70 m. El relleno de las vetas está compuesto por pirita, calcopirita, oro libre y malaquita en ganga de cuarzo (Foto 30).

Estos son los resultados de los análisis de las muestras recogidas:

Nº de muestra	Au gr/TM	Ag gr/TM	Cu %
TM-CA-049	50,5	22	0,01



**Foto N° 30** Mina actualmente reactivada por mineros artesanales. La veta principal tiene una potencia de 0,55 m con leyes alta de oro y malaquita en ganga de cuarzo.

### Ishihuinca

**Ubicación y acceso:** Está ubicado 6 km al oeste de la localidad de Caraveli, ocupa gran parte del cerro Suñihuilca, en el distrito y provincia de Caraveli, departamento de Arequipa, a 1990 msnm y en las coordenadas UTM 8.252.143 N y 671.674 E. Se accede por la Panamericana Sur hasta Atico (km 705), donde se toma un desvío a Caraveli (78 km) y luego se recorren 5 km hacia el SE para llegar a la mina.

**Marco geológico:** Se han reconocido rocas del complejo Bella Unión (igneas y metamórficas), intrusiones hipabisales y rocas del batolito de la costa, que contienen dos sistemas importantes de fracturas con dirección NE-SO y NO-SE. Las vetas cortan rocas plutónicas del batolito (edades de 97 a 70 Ma) de la superunidad Tiabaya, y diques del batolito, y están cubiertas por la formación Caraveli.

Las estructuras mejor desarrolladas tienen potencia promedio de 1,50 m, buzamiento 75° NO y hasta 1 km de longitud. La mineralización se presenta en 16 vetas, siendo El Milagro la principal y trabajada con rumbo N 45° E, buzamiento 70° NW, potencia hasta de 12 m y exhibe una paragénesis de cuarzo lechoso fracturado, con óxidos de hierro, hematita y limonita como relleno de las fracturas.

Este es el resultado del análisis de las muestras:

Código de muestra	Ancho de veta	Au gr/TM	Ag ppm	Cu ppm	Hg ppm	As ppm	Sb ppm	Sn ppm
CA-Q-065	1,20	8,25	5,5	9 378	1,22	3 294	518	5

### Sunca Nueva (Au)

**Ubicación y acceso:** Está ubicada en el distrito de Chuquibamba, provincia de Condesuyos, departamento de Arequipa, a 2768 m de altitud y en las coordenadas UTM 8.250.292 N y 726.785 E. Se accede por la carretera Panamericana Sur, con rumbo hacia Condesuyos y luego hasta Andaray (276 km) y de allí se recorren 10 km de carretera afirmada hasta la mina.

**Marco geológico:** La litología de esta zona está representada por rocas intrusivas granodioríticas de la superunidad Tiabaya del Cretáceo Superior, en contacto con rocas de la superunidad Incahuasi, también del Cretáceo Superior, la cual ha sido intruida por numerosos cuerpos y diques, subvolcánicos de rocas que gradan de básicas a intermedias. La alteración en este contacto es débil y las vetas presentan sericita y óxidos de hierro a mayor profundidad.

En esta mina se observa una falla regional y las fracturas que ésta origina conforman vetas angostas con potencias promedio de 0,40 m y rumbo N 70° O.

El análisis geoquímico dio los siguientes resultados:

Código de muestra	Au g/TM	Ag g/TM	Pb ppm	Zn ppm	Cu ppm
TM-CHU-057	10,8	0,5	5	11	33

## SECTOR V CHUQUIBAMBA

Este sector se encuentra ubicado al este del área estudiada, entre las coordenadas UTM 8.238.000 N y 771.000 E, y abarca un área de 24 por 13 km. El sector mineralizado se halla en rocas del complejo Basal de la Costa (gneises).

Entre los yacimientos y ocurrencias minerales metálicas visitadas se cuentan las siguientes:

### Zona Cerro Rico (Au, Cu)

Ubicación y acceso: Está ubicada en el distrito de Chuquibamba, provincia de Condesuyos, departamento de Arequipa, a 2315 msnm y en las coordenadas UTM 8.250.250 N y 719.024 E. Se accede por la carretera Panamericana Sur hasta Arequipa y desde ahí se sigue una carretera asfaltada a Aplao (188 km), donde se toma el camino a Yanaquihua (73 km) y de allí hasta el cerro Rey (20 km), donde se localiza la mina.

Marco geológico: El sistema de vetas se emplaza en rocas granodioríticas de la Superunidad Tiabaya, este yacimiento es de tipo filoniano y se ha formado por relleno de fracturas a partir de

soluciones hidrotermales; se le puede considerar entre meso y epitermal. Las cajas se caracterizan por presentar piritización, silicificación, oxidación y limonitización.

En la zona Cerro Rico existen tres fallas regionales paralelas con orientación NO-SE y una serie de fallas cortantes con rumbos NE-SO y E-O. Las fracturas están rellenas con cuarzo blanco lechoso a gris rojizo, con presencia de pirita.

En la zona existen varias minas abandonadas y en la quebrada El Rey, hacia la margen derecha, se encuentra la mina Nueva Esperanza, donde trabajan actualmente 500 pequeños mineros artesanales.

La veta Esperanza tiene orientación N 60° E, buzamiento 60° NO y potencia 0,25 m. En esta franja la mayoría de minas están agotadas y abandonadas; la explotación de oro se presentó a una profundidad de 150 a 300 m. Algunos mineros están explotando artesanalmente sulfuros de cobre a cierta profundidad. La mina está atravesada por una falla regional con orientación NO-SE (Foto 31).

El análisis geoquímico dio el siguiente resultado:

Código de muestra	Au g/TM	Ag g/TM	Pb ppm	Zn ppm	Cu ppm
TM-CHU-055	103,6	8,8	13	14	43 000
TM-CHU-056	8,65	1,0	5	14	3 500



**Foto N° 31** Vista de operaciones antiguas en actual recuperación por mineros artesanales. La mineralización está emplazada en rocas granodioríticas de las Super Unidad Tiabaya. Este sistema de vetas auríferas es explotado por mas de 500 mineros artesanales.



### Cateo Torrepampa (Au, Cu)

Ubicación y acceso: Está ubicado al sur de Arirahua, en el distrito de Chuquibamba, provincia de Condesuyos, departamento de Arequipa, a 3777 msnm y en las coordenadas UTM 8.264.780 N y 721.400 E. Se accede hasta Arequipa por la carretera Panamericana Sur, luego se sigue por una carretera asfaltada hasta Aplao (188 km), y de allí a Chuquibamba (50 km), luego se continúa por carretera afirmada hasta Arirahua (72 km) y aproximadamente 2 km al sur se localiza el cerro Torrepampa.

Marco geológico: Las vetas están emplazadas en tobas volcánicas del grupo barroso y son silicificadas, brechadas, con limonita, óxidos hierro y oro; las tobas son dacíticas a riodacíticas, del Neógeno al Plioceno; y también afloran rocas volcánicas con intercalaciones de tobas dacíticas y brechoides de la formación Alpacabamba. Se localizaron 2 trincheras.

El análisis geoquímico de una muestra de trinchera dio el siguiente resultado:

Código de muestra	Au g/TM	Ag g/TM	Pb ppm	Zn ppm	Cu ppm
TM-CHU-060	0,47	12,0	5,3	5	8 800

### Proyecto Gandolfo (Au, Cu)

Ubicación y acceso: Está ubicado en el distrito de Chuquibamba, provincia de Condesuyo departamento de Arequipa, a 900 msnm y en las coordenadas UTM 8.239.120 N y 765.507 E. Se accede desde Chuquibamba por una carretera afirmada que recorre 67 km hasta Huatiapia, de allí se siguen aproximadamente 2 km en línea recta hacia el NO, donde se encuentra el cerro Gandolfo. Este proyecto está abandonado. La compañía encargada de los trabajos realizó varias carreteras en el cerro.

Marco geológico: Se encuentra en gneises bandeados y anfibolitas del complejo basal del Precámbrico. La mineralización está emplazada como relleno de fracturas con cuarzo y oro libre, se observa oxidación en superficie. Las fallas regionales tienen orientación N-S y NO-SE. También se observa una estructura mineralizada con rumbo N 65° O, buzamiento 60° NE y potencia 0,35 m.

El análisis geoquímico reportó los siguientes valores:

Código de muestra	Au g/TM	Ag g/TM	Pb ppm	Zn ppm	Cu ppm
TM-CHU-061	139,2	7,6	14	5	85

### Rey Felipe (Au, Cu, Pb)

Ubicación y acceso: Está ubicado en el distrito de Aplao, provincia de Castilla, departamento de Arequipa, a 1348 msnm y en las

coordenadas UTM 8.238.579 N y 766.325 E. Se accede desde Chuquibamba, recorriendo una carretera afirmada hasta Huatiapia (67 km) y de allí se sigue aproximadamente 1,5 km en línea recta hacia el Norte, donde se localiza la mina Rey Felipe.

Marco geológico: Contiene vetas de cuarzo emplazadas en rocas metamórficas con pizarras y esquistos; las vetas tienen rumbo N 25° O, buzamiento subvertical y potencia entre 0,35 y 0,50 m.

En este yacimiento trabajan solamente 3 pequeños mineros artesanales.

Una muestra referencial proporcionó los siguientes resultados:

Código de muestra	Au g/TM	Ag g/TM	Pb ppm	Zn ppm	Cu ppm
TM-CHU-062	1,98	1,0	7,1	14	450
TM-CAR-063	51,67	7,5	200	17	71

### La Huaca

Ubicación y acceso: Se encuentra en la margen derecha del río Ocoña, en el distrito de Chuquibamba, provincia de Condesuyo, departamento de Arequipa, a una altitud de 436 m y en las coordenadas UTM 8.233.220 N y 698.710 E. Se accede por Camaná, tomando la carretera afirmada a Ocoña (60 km) y de allí se recorren 61 km hasta la mina La Huaca. Marco geológico: A nivel local se presentan rocas precámbricas, compuestas de gneises bandeados y anfibolitas. Las vetas en superficie contienen pirita, óxidos de hierro y oro libre. Existen dos sistemas de vetas-falla, el rumbo de la más importante es E-O y el de la otra es NO-SE.

### Cerro Encanto

Ubicación y acceso: Está ubicado en el distrito de Chuquibamba, provincia de Condesuyo, departamento de Arequipa, a 1018 msnm y en las coordenadas UTM 8.255.032 N y 709.703 E. Se llega desde Camaná, siguiendo la carretera afirmada a Ocoña (60 km) y de allí hasta la quebrada Encanto (92 km).

Marco geológico: La estructura filoniana de este yacimiento está emplazada en rocas granodioríticas de la superunidad Incahuasi del Cretáceo Superior. La mina se caracteriza por un sistema de fracturamiento donde se emplaza una veta con rumbo N 30° E y potencia 0,20 m. Las fracturas están rellenas con cuarzo blanco lechoso a gris rojizo, con presencia de oro, pirita, pirrotita, calcopirita, calcita y limonita.

El análisis geoquímico de una muestra tomada de la veta proporcionó el siguiente resultado:

Código de muestra	Au g/TM	Ag g/TM	Pb ppm	Zn ppm	Cu ppm
TM - CAR - 063	51,67	7,5	200	17	71

## SECTOR VI LA JOYA

Este sector se encuentra ubicado al norte del distrito de La Joya, en el departamento de Arequipa, en las coordenadas UTM 8.190.048 N y 34.045 E, y comprende un área de 18 por 54 km.

Se caracteriza por la presencia de rocas ígneas intrusivas (tonalitas y dioritas) del Cretáceo Superior. Además existen rocas precámbricas metamórficas (esquistos) en contacto con intrusivos (mina Gloria 2000).

Los pequeños mineros están explorando el área sureste de este sector, zona donde continúa el intrusivo, y posiblemente se encuentren otros afloramientos de rocas metamórficas, donde se emplazarían vetas auríferas.

### Gloria 2002 (Au)

Ubicación y acceso: Está ubicada al oeste de la ciudad de Arequipa, en el distrito de Vitor, provincia de Camaná, departamento de

Arequipa, a 1892 msnm y en las coordenadas UTM 8.190.038 N y 34.029 E. Se accede partiendo de Arequipa por Camaná y La Joya, siguiendo 40 km al norte en línea recta.

Marco geológico: La veta principal se denomina Gloria, tiene rumbo N 35° O, buzamiento 85° NE y potencia 1 m; se encuentra emplazada en rocas metamórficas y esquistos, y en ella existe una galería (cortada) de 56 m de longitud. La veta de cuarzo aurífero fue cortada a los 50 m y en ella se observa pirita, limonita y óxidos de hierro; esta veta presenta aproximadamente 5 m de longitud.

Las muestras tomadas dieron los siguientes resultados:

Código de muestra	Au g/TM	Ag g/TM	Pb ppm	Zn ppm	Cu ppm
TM – Y – 066	15,9	0,8	100	54	330
TM – Y – 067	0,42	0,5	40	110	100



**Foto N° 32** Estructura filoniana emplazada en rocas granodioríticas de la Super Unidad Incahuasi del Cretáceo Superior. Se aprecia un sistema de fracturamientos orientado N 30° E y 0.20 m de potencia.



**Foto N° 33** Veta principal Gloria con cuarzo y oro, emplazada en rocas metamórficas, con rumbo N35°O, buzamiento 85° NE y potencia 1 m.

### Base de Datos de los Sectores Mineralizados

#### 1. Sector I, Ica (Au-Ag)

N°	Nombre	Dpto	Hoja	Coordenadas UTM		Tipo de Yacimiento	Elemento	Minerales		Roca Caja	Formación Geológica	Edad	Comentarios
				Norte	Este			Mena	Ganga				
1	Monterrosas	Ica	29 -I	8 452 465	434 401	Filoniano	Au,Cu	Ccopy	Hem., Calc.	Granodiorita	Batolito de la Costa	(K-Ti)	Mantos en concordancia con estratificación
2	Mina César	Ica	29 -I	8 396 805	490 250	Filoniano	Au	Au	Hem., Lim.	Granodiorita	Batolito de la Costa	(K-Ti)	Veta mineralizada, Rb N 50°O, Bz 70°NE
3	Mina El Dorado	Ica	29 -I	8 434 065	418997	Filoniano	Au	Au	Ox. Fe, Lim.	Arenisca	Guaneros	(Js - gu)	Contacto, intrusivo con la Fm. Guaneros

#### 2. Sector II : Palpa- Nasca (Ag-Au-Cu)

N°	Nombre	Dpto	Hoja	Coordenadas UTM		Tipo de Yacimiento	Elemento	Minerales		Roca Caja	Formación Geológica	Edad	Comentarios
				Norte	Este			Mena	Ganga				
1	Samarca	Ica	30-m	8 397 514	489 088	Filoniano	Au	Au	Lim, cz,Ox.Fe	Andesita porfirítica	Bella Unión/Gpo. Yura	(Ks-Bu/JsKi-yu)	Veta de cz, contacto intrusivo aguilizado
2	Luz de Sol -Mina	Ica	30-m	8 386 007	493 980	Filoniano	Au-Cu	Au, mlq, crc	Cz, ARCS	Andesita	Gpo. Copara	(Kis-c)	Vetas paralelas, con óxidos de cobre
3	Santa Rita-Mina	Ica	31-ñ	8 388 920	494 233	Filoniano	Au	Au	Cz, py, LIMs	Andesita	Gpo. Copara	(Kis-c)	Vetas paralelas, fracturadas, zona de falla
4	Pongo-Mina	Ica	30-n	8 365 727	517 876	Filoniano	Au, Cu	Au, Ccopy cz,	Cz, py, lim	Andesitas	Gpo. Yura/Guaneros	(Js-Ki-yu/Js-gu)	Vetillas de cz, falla regional
5	Sol de Oro-Mina	Ica	30-n	8 359 645	518 522	Filoniano	Au, Cu	Ccopy, Au	cz, LIMs, OXs	Andesitas	Guaneros/Tiabaya	(Ju-gu/K-tgd-t)	Andesitas silicificadas cerca al intrusivo Tiabaya
6	Los Incas-Mina	Ica	31-n	8 345 666	534 361	Filoniano	Au, Cu	Au	py, crc	Cuarцитas	Súperunidad Tiabaya	(K-tgd-t)	Pizarras inter.. con cuarcitas
7	Huarangullo	Ica	31-n	8 344 718	542 042	Filoniano	Au, Cu	Au	py, cz, LIMs	Granodiorita	Súperunidad Tiabaya	(Ju-gu/K-tgd-t)	Veta Rb N 70°O, Bz 50° SO. Pot. 1,50 m
8	Huarasaca	Ica	31-n	8 377 823	513 678	Filoniano	Au, Ag, Cu	Au	Cz,OxFe,py	Andesita	Bella Unión/Gpo. Yura	(ks-Bu/JsKi-yu)	Rb N 58° O, Bz 85° NE, pot. 0.55 m
9	Copara	Ica	31-n	8 336 805	510 141	Filoniano	Au, Cu	Au, Ccopy	Cz, Lim, py	Andesitas	Bella Unión/Gpo. Y.	(ks-Bu/JsKi-yu)	Veta tiene Rb, N 65° O, Bz 80°NE

#### 3. Sector III, Jaqui-Chala-Chaparra (Au)

N°	Nombre	Dpto	Hoja	Coordenadas UTM		Tipo de Yacimiento	Elemento	Minerales		Roca Caja	Formación Geológica	Edad	Comentarios
				Norte	Este			Mena	Ganga				
1	Cerro Canchete	Arequipa	31-ñ	8 321 000	562 000	Filoniano	Au	cr,py,OXs	cz,LIMs,py	Cuarzodiorita	Súperunidad Tiabaya	(K-di-t)	Estruct. Rb NO-SE y E-O Bz Sub vertical
2	San Luis	Arequipa	31-ñ	8 305 574	577 344	Filoniano	Au	CBs,cp,py	cz,LIMs, jar	Cuarzodiorita	Súperunidad Tiabaya	(K-di-t)	Veta de Rb N50°O, Bz 45°NE Pot. 1,20 m
3	Santa Filomena	Arequipa	31-ñ	8 301 981	578 830	Filoniano	Au	cr,OXs,py	cz,cac.cp	DioritaAnfibolitica	Complejo Santa Rita	(Kti-csr)	Veta de Rb N85°E, Bz 54°-60°NE, Pot0,20m
4	Orion	Arequipa	32-ñ	8 275 062	578 619	Filoniano	Au	cp, py, OXs	cz, py	R.Vol. Alterada	Comp. Bella Unión	(Kms-bu)	Veta Francia Rb N54°O, Bz76°NE Pot0,50-1,50m
5	Capitana	Arequipa	31-ñ	8 272 050	601 858	Filoniano	Au	cp,py,gn,pf	Ys,ep,cz,LIMs	R.Vol. Alterada	Súperunidad Tiabaya	(K-di-t)	Veta de Rb N40°E, Bz 10°NO, Pot.de 0.50m
6	Torrecillas	Arequipa	31-ñ	8 258 799	626 455	Filoniano	Au	py, OXs	Cz	R.Vol. Alterada	Comp. Bella Unión	(Kms-bu)	Estructura de Rb N 70° O, Bz. 80° NE, 0.45 m de pot.
7	ProspectoHuayllacha	Arequipa	31-ñ	8 281 000	640 000	Filoniano	Au, Ag	Py, cz, mt	cz, cr, Oxs.	Granodiorita	Súperunidad Tiabaya	(K-tgd-t)	Fallas de N-S y E-O, originando la mineralización
8	Calpa	Arequipa	31-ñ	8 252 589	659 480	Filoniano	Au	py, Au, cp	cz, cr, cac	Andesita Porfirítica	Comp. Bella Unión	(Kms-bu)	Vetas Rb N70° O, Bz. 65-75° N

N°	Nombre	Dpto	Hoja	Coordenadas UTM		Tipo de Yacimiento	Elemento	Minerales		Roca Caja	Formación Geológica	Edad	Comentarios
				Norte	Este			Mena	Ganga				
9	Porvenir	Arequipa	31-ñ	8 276 316	582 529	Filoniano	Au, Ag, Cu	Au,Ccpy,Oxs	Cz, Lim	Granodiorita	Súperunidad Tiabaya	(K-di-t)	Veta, Rb N 15° E, Bz 25° NO, pot. 0.25 m
10	María Auxiliadora	Arequipa	31-ñ	8 269 446	588 748	Filoniano	Au,Ag,	Au, Ccpy	Lim, py, cz	Volcánico	Volcanico chocolate	(Js - vch)	Rb N 12° E, Bz 75° O, pot. 0.75 m

#### 4. Sector IV, Caravelí (Au-Ag, Cu)

N°	Nombre	Dpto	Hoja	Coordenadas UTM		Tipo de Yacimiento	Elemento	Minerales		Roca Caja	Formación Geológica	Edad	Comentarios
				Norte	Este			Mena	Ganga				
1	Ishihuinca	Arequipa	32-p	8 252 143	671 674	Filoniano	Au-Cu-Ag	Au-Teluros	cz, SULs	Granodiorita	Batolito de la Costa	(K-Ti)	Dos sistemas de fracturas, NE-SO y NO-SE
2	Mishky	Arequipa	32-p	8 234 524	695 489	Filoniano	Au, Cu	Au, Cu	cz, py, SULs	Subvolcanica	Coplejo Bella Unión	(K-Ti)	Veta, rumbo N 60°- 80° E,Bz 70°-88° SE
3	Mina Chorunga-Veta	Arequipa	32-p	8 441 000	709 000	Filoniano	Au	Au nativo,	cz, py	Granodiorita	Batolito de la Costa	(K-Ti)	Vetas principalesNO-SE, NE-SO y E-O
4	Sunca Nueva	Arequipa	32-p	8 250 292	726 785	Filoniano	Au	Au nativo,	cz, LIMs	Granodiorita	Batolito de la Costa	(K-Ti)	Rumbo de la veta N 70° O y pot. 0.40 m
5	Rosa María	Arequipa	32-p	8 313 442	536 245	Filoniano	Au, Cu	malaq,Cuprit.	Py, cz	Monzonita	Batolito de la Costa	(Kti - Ti)	Veta Rb N 47°O, Bz. 65° NE, y pot.0.50 m.
6	Huiscoro	Arequipa	32-p	8 258 056	669 911	Filoniano	Au, Ag	Ccpy, malaq	Cz, py	Granodiorita	Batolito de la Costa	(K-Ti)	Veta Rb N 50°O, Bz. 72° SO, y pot. 0.55 m.

#### 5. Sector V, Chuquibamba-La Joya (Au)

N°	Nombre	Dpto	Hoja	Coordenadas UTM		Tipo de Yacimiento	Elemento	Minerales		Roca Caja	Formación Geológica	Edad	Comentarios
				Norte	Este			Mena	Ganga				
1	Proyecto Gandolfo	Arequipa	32 - q	8 239 120	765 507	Filoniano	Cu, Au	Cu, Au	Cz,Ccpy,Oxs	Gnéis	Complejo Basal	PE-gn	Rumbo N 65° O, Buz. 60°NE, pot. 0.35 m
2	Mina Rey Felipe	Arequipa	32 - q	8 238 579	766 325	Filoniano	Au, Cu, Pb	Au, Cu, Pb	Cz, Sulf.	Pizarras Esquistos	Indiferenciado	Pal.-indife.	Rumbo N 25° O, Buz. Sub-Vertical, y pot. 0.35 - 0.50 m.
3	Cateo Torrepampa	Arequipa	32 - q	8 264 780	721 400	Filoniano	Au, Cu	Au,Cu	Ccpy,Ox Fe	Volcánicas	Gpo. Barroso	NQ - ba	De dos trincheras se extrajo la muestra
4	La Huaca	Arequipa	32 - q	8 233 220	698 710	Filoniano	Au	Au	Py, Oxs.	Gnéis	Complejo Basal	PE - gn	Dos sistemas de vetas-fallas regionales
5	Cerro Encanto	Arequipa	32 - q	8 255 032	709 703	Filoniano	Au, Cu	Au, Cu	Py,Ccpy,Oxs.	Granodioritas	Súperunidad Tiabaya	Ks - ti	Veta principal rumbo N 30°E, pot. 0.20 m

#### 6. Sector VI, La Joya (Au)

N°	Nombre	Dpto	Hoja	Coordenadas UTM		Tipo de Yacimiento	Elemento	Minerales		Roca Caja	Formación Geológica	Edad	Comentarios
				Norte	Este			Mena	Ganga				
1	Mina Gloria 2002	Arequipa	32 - q	8 190 038	340 029	Filoniano	Au	Au nativo	Cz, Ox Fe,	Esquisto	Complejo Basal	PE-Gn	Rumbo N 35°O, Buz. 85° NE y de pot. 1 m



# CAPÍTULO III

## METALURGIA DEL ORO

### GENERALIDADES

Los factores que influyen en la selección del método de tratamiento de un depósito de mineral aurífero involucran limitaciones técnicas y económicas, y las correspondientes ventajas comparativas y competitivas, las mismas que deberán ser estudiadas y evaluadas en detalle de acuerdo a las exigencias de la situación particular de cada proyecto. Debido a las características particulares del oro (alto valor unitario, gran densidad y resistencia a agentes químicos comunes, abundancia relativa como elemento, brillo y color fácilmente reconocibles, entre otros), la variedad de métodos disponibles de recuperación razonablemente eficientes, la diversidad de tipo de minerales y yacimientos, las diferentes condiciones geográficas y naturales, y aún las diferentes condiciones socioeconómicas y regulaciones ambientales, los costos de inversión y operación y el rendimiento operacional varían notablemente para cada situación. Por tanto, la mejor alternativa solo puede ser establecida después de una etapa de pruebas metalúrgicas diseñadas y evaluadas por profesionales experimentados.

Las principales consideraciones en la selección del proceso minero-metalúrgico son las siguientes:

- Naturaleza de los minerales valiosos y ganga.
- Comportamiento de los minerales valiosos frente a los métodos de tratamiento y efecto de los minerales de ganga.
- Reservas de mineral y potencial justificable de mineral prospectivo.
- Costo comparativo de tratamiento según los diferentes métodos.
- Costos comparativos de mercado.
- Costos comparativos de instalación de planta.
- Costo de manejo ambiental (relaves, efluentes cianuro, drenaje ácido).
- Métodos disponibles de financiamiento y costos comparativos.

Por ejemplo, para el tratamiento de minerales oxidados de oro-plata, los esquemas de proceso (diagramas de flujo) comprenden desde la simple amalgamación con una recuperación casi del 60%,

a la cianuración directa con una recuperación superior al 95%, donde la selección de la mejor alternativa puede estar influenciada notablemente por factores ambientales además de los usuales factores económicos.

Las propiedades del oro en el proceso minero-metalúrgico son las siguientes:

- Su alto peso específico (15,5 a 19,3, dependiendo de la cantidad de mezcla del metal de aleación).
- El mercurio amalgama rápidamente al oro en presencia de agua.
- En condiciones apropiadas, su solubilidad es relativamente rápida en soluciones acuosas diluidas de cianuros alcalinos para formar compuestos relativamente estables de la forma  $\text{Na}\cdot\text{Au}(\text{CN})_2$ .
- La gran capacidad de adsorción que el carbón activado tiene por el complejo  $\text{Na}\cdot\text{Au}(\text{CN})_3$ .
- Su comportamiento aceptable, particularmente como aleación natural, frente a los colectores de flotación.

El oro en forma de telururo no es amalgamable, y tampoco puede ser recuperado mediante un proceso simple de cianuración.

### CARACTERÍSTICAS

Desde la perspectiva de las propiedades, características mineralógicas y otras para el beneficio minero-metalúrgico, los minerales de oro y plata se pueden clasificar de la siguiente manera:

#### a. Depósitos de placeres

En estos depósitos el oro ocurre sustancialmente libre en forma de pepitas, escamas y granos finamente divididos. Este oro libre se recupera por lavado de la grava y arena a través de canaletas provistas de listones transversales (denominados también «sluices con rifles»), por tamizado del material grueso estéril seguido por bateado en bateas de geometría peculiar (*mechanical gold pans*) o concentración en *jigs*, y por amalgamación de los concentrados resultantes de canaletas, bateas o *jigs*.

### b. Minerales simples de tratamiento dócil

Son aquellos depósitos en los cuales el oro es relativamente grueso y amalgamable, el contenido de sulfuros es bajo y no arsenical, sin la presencia de compuestos oxidados de bismuto y antimonio, y la ganga está prácticamente libre de constituyentes talcosos, arcillosos y grafiticos.

El tratamiento es por amalgamación, generalmente se complementa por concentración gravimétrica con amalgamación del concentrado, y con frecuencia seguida por la cianuración de los relaves resultantes. La recuperación solamente con amalgamación después del chancado a 35 mallas puede ser del 50 a 70%, con incremento a 75 u 85% si se complementa con concentración gravimétrica. Se debe tener en cuenta que los minerales de tratamiento simple ocurren por lo general en las zonas de óxidos, subyacentes a la superficie, y que su carácter amalgamable puede cambiar marcadamente cuando se alcance la zona inalterada.

### c. Minerales simples no amalgamables

Comprenden también a los minerales no sulfurados o con bajo contenido de sulfuros, en los cuales el oro es de tamaño suficientemente grueso para la amalgamación, pero la superficie se encuentra cubierta por una pátina de oxidación que no permite que sea humedecido por el mercurio. También puede ocurrir que el oro, aun cuando liberado es brillante, se encuentre tan fino que no se hunda lo suficiente en una pulpa fluida para entrar en contacto con el mercurio.

En el primer caso, el tratamiento suele ser de concentración gravimétrica para recuperar el oro con recubrimiento superficial; el concentrado se somete a molienda con o sin químicos, para remover la cubierta superficial, y entonces se amalgama. Si existe suficiente oro fino para justificar el costo, el relave de gravimetría se somete a cianuración. En el segundo caso, el mineral se somete a molienda fina y luego a cianuración en tanques agitadores.

### d. Sulfuros bajos en metales-base

Los sulfuros pueden contener minerales refractarios a la cianuración, y el oro puede estar asociado con uno de los sulfuros, sustancialmente con todos, con la ganga solamente, o con ambos. Los principios generales de tratamiento comprenden aquella concentración que deberá separar sulfuros de la roca madre de minerales, y luego la cianuración disolverá el oro, y aquella de tostación que deberá eliminar los cianicidas y/o liberar/exponer el oro encapsulado dentro de una matriz de sulfuros. La aplicación de estos principios resulta en:

- Cianuración total para minerales con oro distribuido tanto en los sulfuros como en la ganga, sin la presencia de cianicidas.
- Separación de sulfuros de los no sulfuros cuando los valores se concentran en los sulfuros, o cuando los valores se encuentran en la ganga y los sulfuros contienen cianicidas, con tratamiento apropiado de las partes separadas, el cual puede ser fundición de sulfuros, cianuración de sulfuros con o sin tostado previo, o cianuración de los no sulfuros.

La recuperación por cianuración normalmente será de 90% hasta 98%; las recuperaciones de flotación cubren generalmente entre 80 y 90%, pero se puede alcanzar recuperaciones mayores.

### e. Sulfuros relativamente altos en metales-base

Cuando los minerales tienen un importante contenido de oro, o si el oro es un constituyente menor. Desde la perspectiva económica generalmente se requiere recuperación del metal-base o metales (ej. Pb, Cu, Zn) y, puesto que el oro estará contenido en estos concentrados en mayor o menor extensión, y la fundición de tales concentrados proporciona los más altos resultados económicos de los valores combinados, el concentrado se embarca a la fundición. Si el relave contiene suficiente metal precioso, se procede a la cianuración de este material.

### f. Características de comportamiento

Algunos componentes del mineral a menudo tienen un determinado efecto sobre el método de tratamiento:

- Los telururos no son directamente amalgamables.
- Arsénico, antimonio, y en menor extensión los minerales de bismuto debilitan al mercurio por el recubrimiento de la superficie con una película sólida que impide al oro tener un contacto efectivo con el metal líquido, con lo cual se promueve el flotamiento.
- Los sulfuros rejalgar y oropimente y, parcialmente oxidados, la estibina, arsenopirita y otros minerales complejos de arsénico y antimonio son particularmente ofensivos.
- Pirrotita y calcopirita tienden también a debilitar al mercurio en el barril de amalgamación.

Estos componentes también reaccionan con el cianuro y lo consumen, transformándolo en formas incapaces de disolver el oro, y siendo rápidamente susceptibles a oxidación, estas sustancias desoxidan las soluciones de cianuro y de esta forma se elimina un constituyente esencial en la reacción cianuro-oro.



- Los minerales oxidados de metales pesados, particularmente aquellos de cobre y hierro, reaccionan también con el cianuro para formar iones complejos, los cuales convierten al cianuro en sustancialmente inactivo.
- Los materiales carbonosos, abarcando en antigüedad desde material viviente en el agua, lubricante derramado, hasta grafito en el mineral, tienden a consumir cianuro, malograr soluciones, y precipitar prematuramente el oro disuelto. En algunos casos son adsorbidos por el carbón activado y reducen su capacidad para recuperar oro disuelto.
- Los minerales talcosos y arcillosos, particularmente en presencia de lubricante introducido en minería, tienden a debilitar al mercurio, acompañan al concentrado en flotación, y causan asentamiento y filtración lenta en cianuración. Las lamas retienen gran proporción de agua de proceso que contiene cianuro.

La práctica que se aplica generalmente a los minerales arsenicales consiste en someter a cianuración directa, si el contenido de arsénico es bajo, en la forma de arsenopirita fresca, y si no hay demasiada pirrotita presente. En caso de alto contenido de As, minerales que se recubren de óxido rápidamente, o que se encuentran ya notablemente oxidados en la mina, el procedimiento consiste en flotar, tostar el concentrado y cianurar la calcina. En numerosas instalaciones se procede a tostar todo el mineral. Puesto que el oro más grueso que 40 mallas (425  $\mu$ ) no se recupera por flotación, alguna forma de concentración gravimétrica debe aparecer en los diagramas de flujo; la práctica usual consiste en poner esta operación en el circuito de molienda primaria.

#### g. Minerales refractarios

El pretratamiento de las llamadas menas refractarias está generalmente orientado a la liberación del oro encapsulado en partículas de sulfuros (siendo la pirita con o sin arsenopirita la matriz más común en el oro refractario), ya sea físicamente por molienda o bien químicamente por oxidación de los minerales sulfurados.

Los constituyentes carbonosos activos pueden también hacer que una mena sea refractaria, activando el enlace con el cianuro complejo de oro soluble, por el fenómeno de retención por adsorción. Incluso después de la oxidación de los sulfuros puede quedar algo de carbono sin oxidar y mantener sus características de retención por adsorción; para resolver este problema puede ser necesario aumentar las condiciones de oxidación de los sulfuros.

Una mena de oro puede también considerarse refractaria si los minerales solubles de metales comunes determinan un

consumo de cianuro en cantidades antieconómicas y obstaculizan el proceso de disolución de oro.

En la apropiada elección de la tecnología de pretratamiento influyen el tamaño y ley del yacimiento, el método de explotación empleado, la distribución de la recuperación metalúrgica dentro del yacimiento y la naturaleza refractaria del mineral. Como regla general, la selección del proceso debe basarse en el método de tratamiento que ofrece la máxima rentabilidad económica.

La elección definitiva de un esquema de proceso adecuado dependerá de muchos factores, los más importantes son los siguientes:

- Recuperación de oro.
- Costo de operación.
- Costo de capital.
- Aceptación ambiental.

#### PALLAQUEO Y CHANCADO

El mineral de mina (ROM) se somete generalmente a una operación de chancado, seguido por un proceso de escogido manual (pallaqueo). Luego se continúa con la molienda tipo «batch» para la reducción al tamaño conveniente para la siguiente etapa.

El «pallaqueo» consiste en seleccionar manualmente el material con mayor ley antes de ser procesado o comercializado, aumentando las ganancias por la calidad del material y la reducción en el costo de transporte y procesamiento. El pallaqueo de los minerales auríferos, acumulados en canchas de desmonte o mineral, es difícil y poco eficiente, y de ninguna manera reemplaza al minado selectivo. Es más bien una alternativa intermedia o complementaria a la labor principal y por ello la realizan principalmente mujeres, niños y ancianos, como un complemento de otras obligaciones, como preparar alimentos, o debido a limitaciones físicas.

Muchas canchas de desmonte resultantes de operaciones formales anteriores, usualmente con contenidos de solo 0,1 oz/t, han permitido a los mineros recién llegados obtener con relativa facilidad lotes con leyes de 1 a 2 oz/t y financiar su estadía mientras exploraban una labor. Estas mismas canchas han sido utilizadas repetidamente para el pallaqueo pero con un rendimiento cada vez menor y marginal.

El pallaqueo del desmonte fresco es más común en lugares como Huanca y Santa Filomena, que son mecanizados y extraen gran cantidad de desmonte. El promedio que extraen las mujeres que pallaquean en este lugar es de 0,5 lata/día, con un contenido de 0,6 gr/lata, obteniendo así un ingreso promedio de US\$ 3 por día



**Foto N° 34** Trabajadoras mineras en operación de Pallaqueo Mina Km 30 Atico.



**Foto N° 35** Chancadora de quijadas para la trituración de mineral de mina. Mina Paraíso Tulin.

de trabajo que se considera aceptable para una actividad complementaria.

El chancado del mineral es el proceso de reducción de tamaño de grano y se realiza en chancadoras mecánicas, pero la práctica generalizada es que los mismos mineros lo hagan manualmente con una comba, llegando a reducir el mineral hasta menos de 1/2 pulgada.

## MOLIENDA Y AMALGAMACIÓN

La amalgamación es el proceso que emplea el minero artesanal para recuperar metales preciosos. El oro, la plata y algunas de sus combinaciones tienen la propiedad de juntarse con el mercurio. Estas aleaciones se llaman amalgamas.

En la mayoría de casos, la amalgamación se realiza en un sistema de quimbaletes de fabricación casera con separación simultánea del material fino (arcillas, limos y otros) en pozas adyacentes. Luego de un proceso de sedimentación-decantación se recupera el agua con alto contenido de sólidos en suspensión para su reciclaje; la pulpa de material fino, que constituye el relave de amalgamación, se extrae de las pozas en forma manual mediante el uso de palas y se evacúan en carretillas hacia los patios de secado, donde el material es apilado para destinarlo al comercio o a un nuevo tratamiento por cianuración, después de un proceso de molienda adicional y aglomerado con cal y cemento. Se estima que para producir un kilogramo de oro (contenido en la amalgama)

por el sistema de quimbaletes, se consume un promedio de 18 m<sup>3</sup> de agua.

Una de las alternativas siguientes se elige según la ley del mineral:

- a. Cuando el mineral se considera de alta ley (más de 2 g por lata), el tratamiento se realiza directamente en el sistema de quimbaletes con el material previamente reducido a menos de 1/2 pulgada. La tasa promedio por tandas es de 30 kg (una lata aproximadamente) por espacio de 45 minutos o incluso un tiempo mayor. El chancado del mineral se efectúa en una chancadora de quijadas o bien mediante el uso de comba y mortero de piedra.
- b. Si el mineral se considera de baja ley, antes del proceso de amalgamación en el sistema de quimbaletes es necesario realizar la molienda en seco para facilitar su descarga y manipulación, y especialmente para evitar que parte del mineral se quede pegado a las paredes y bolas del molino, pues éste es usado por varios mineros el mismo día. Esta actividad se realiza en tandas de 7 a 15 latas en molinos de bolas accionados por motores eléctricos o que funcionan con diesel. El período de molienda dura entre media y una hora para alimento de mineral chancado menor de 1/2 pulgada y se llega a tamaños de menos malla 200.

Es común que el propietario del sistema de quimbaletes proporcione el mercurio y el agua para el proceso de



Foto N° 36 Molienda por tandas en seco, usando molino de bolas para proceso de amalgamación. Mina Chaparral – Atico.

amalgamación. El sistema es puesto en marcha por el dueño del mineral, quien se queda con la amalgama de los metales preciosos, dejando como pago del alquiler del quimbaleta el relave de amalgamación y el precio equivalente del mercurio no devuelto. La pérdida de mercurio oscila entre 20 y 400 g por lata de mineral procesado. El contenido de oro en los relaves de amalgamación oscila ampliamente desde 10 g hasta valores tan altos como 50 g/t.

El beneficio de minerales auríferos por el sistema de quimbaleta ofrece al productor minero las siguientes ventajas relativas:

- Tratamiento inmediatamente disponible en lugares muy próximos a las labores mineras, obteniendo liquidez inmediata y alta rotación de ingresos por el ahorro en gastos adicionales de transporte.
- Posibilidad de procesar cantidades muy pequeñas de mineral (desde 1/2 lata o 13 kilos), lo que permite al minero obtener liquidez inmediata para afrontar cualquier eventualidad.
- Posibilidad de procesar minerales con relativamente bajos tenores de oro. La comercialización convencional exige la entrega de lotes de mineral con ley mínima de 1,5 oz/t.
- Los propietarios del sistema de quimbaleta están mejorando progresivamente sus condiciones económicas y financieras en favor del productor minero, ofreciéndoles ventajas y servicios adicionales para asegurar una producción continua.

### Separación selectiva de la amalgama

Concluido el periodo de molienda en el molino amalgamador, sigue la etapa de separación selectiva («elutriación») de la amalgama y mercurio residual del resto de material de pulpa. La práctica tradicional consiste en descargar el material en baldes, a los cuales se agrega agua ejerciendo presión e intentando eliminar por rebose forzado todo el material que constituye el relave de amalgamación, procurando que la amalgama y el mercurio residual permanezcan en el fondo del recipiente.

Existen dispositivos hidráulicos («elutriadores») con diversos diseños y formas de operación, que permiten mejorar las condiciones de separación selectiva.

### Tratamiento de la amalgama

La siguiente etapa del proceso de amalgamación consiste en el tratamiento de la amalgama para separar el mercurio por volatilización a temperaturas superiores a 360 °C, dejándose libres los metales valiosos como el metal dore (aleación de plata-oro). El tratamiento común de la amalgama es el proceso de destilación en un sistema de retorta donde se realiza la fundición-vaporización/

condensación de mercurio. El diseño prototipo comprende tres componentes: horno de calentamiento, retorta de destilación y quemador o soplete.

La práctica tradicional en la región de Nasca-Ocoña consiste en la «quema» de la amalgama utilizando un soplete; los vapores de mercurio se emiten directamente al medioambiente, dejando a los metales valiosos («oro refogado») en el fondo del recipiente.

### Sistema integral de destilación

Para alcanzar un uso correcto y eficiente del sistema de destilación en retorta es necesario que el diseño y la construcción del sistema se encuentren funcionalmente integrados con todos sus componentes y respondan a las siguientes condiciones generales:

- Estabilidad física del sistema y sus elementos accesorios en el lugar de emplazamiento y montaje.
- Ubicación funcional para la operación del quemador o soplete.
- Disponer de elementos de regulación y control para alcanzar y mantener las temperaturas adecuadas hasta completar la vaporización del mercurio y la fundición de los metales valiosos.
- Cierre hermético de la tapa del crisol y las conexiones entre los componentes del sistema, a fin de evitar toda posibilidad de fuga del vapor de mercurio al medioambiente.
- Elementos de refrigeración con dimensiones y capacidad necesaria y suficiente, en concordancia con las tasas esperadas de generación de vapor de mercurio.
- Funcionalidad de montaje y desmontaje en los casos de cambios de ubicación del sistema y operaciones de mantenimiento.

### Pérdida de mercurio durante la amalgamación

La pérdida de mercurio durante la amalgamación ocurre por las siguientes razones:

- Contenido de pirita en el mineral.
- Contenido de minerales oxidados de cobre y sales solubles.
- Cantidad y calidad de agua.
- Cantidad de lamas.
- pH y Eh de la pulpa.
- Calidad de mercurio empleado.
- Adición o presencia de agentes químicos.
- Tiempo de contacto.

Lamentablemente la mayor parte de estos factores son desconocidos o no son tomados en cuenta por los mineros y aún por algunos profesionales. Por ello no es extraño que se pierdan grandes cantidades de mercurio durante este tratamiento.



Foto N° 37 Sistema quimbalete con rebose que posibilita la pérdida de mercurio. Mina Eugenia

Es importante destacar que el minero prefiere explotar los minerales auríferos dóciles a la amalgamación porque éste es el proceso por el cual obtiene el oro. Un caso común de pérdida es el oro de granulometría muy fina y escamosa que el mercurio no atrapa.

Cada quimbalete trabaja 4 a 5 latas/día y utiliza 1 a 2 kg de mercurio, recuperándose 800 g de mercurio con una pérdida de 200 g a 1200 g de mercurio/día; con el refogeo se obtiene un 11% como producto económico y una pérdida de 89% como vapor de mercurio.

#### Intervención de los quimbaleteros en la operación

En el contexto actual de la actividad minera artesanal de la zona estudiada, la intervención de los quimbaleteros en la operación es importante porque sirve a los mineros de fuente de financiamiento y abastecimiento. Muchos quimbaleteros apoyan a los mineros durante las etapas iniciales proporcionándoles agua y garantizándoles crédito en alimentos y explosivos, entre otras cosas. Asimismo, el informal es sujeto de crédito para comerciantes, transportistas, compradores de oro, etc.

Cuando los quimbaletes están algo alejados, es el quimbaletero quien se hace cargo del transporte de mineral. Las plantas y compradores de oro por lo general pagan un adelanto del 70% recién una semana después de que el material ha salido de la mina. La diferencia es cancelada después.

Aunque los quimbaleteros obtienen menos utilidades que las comercializadoras formales, ellos brindan un apoyo al minero que

difícilmente éstas le ofrecerían. Por ejemplo, con el fin de asegurar el abastecimiento continuo de mineral aurífero, los propietarios del sistema de quimbalete ofrecen al productor minero créditos para la adquisición de víveres, explosivos, herramientas y otros insumos.

Estudios realizados con anterioridad han estimado la existencia de un total de 2400 quimbaletes en la zona, de los cuales unos 1700 se encuentran operando con regularidad. Considerando un tratamiento promedio de 5 latas por día, la producción diaria de relaves auríferos es de 250 t/d.

#### Parámetros del proceso de amalgamación

En el proceso de amalgamación por uso de barriles o molinos amalgamadores, se debe tener en cuenta los siguientes aspectos:

##### a. Calidad del mercurio

Para lograr la amalgamación de metales valiosos contenidos en el concentrado de mineral, se necesita que tanto la superficie del oro y la plata como la de mercurio se encuentren libres de impurezas. A través del proceso, el mercurio puede sufrir degradación por la presencia de metales nocivos (arsénico, antimonio, otros), creándose una película de óxido que cubre su superficie, perdiendo la afinidad para combinarse con metales valiosos y tornándose inestable en su cohesión (atomización). Adicionalmente elementos tales como: arsénico, azufre, lubricantes y algunas sales metálicas (como el cloruro de calcio) producen el mismo efecto degradante sobre el

mercurio, además del recubrimiento pelicular (pátina) de la superficie de los elementos metálicos valiosos.

Un recurso común para eliminar la pátina consiste en añadir soda cáustica, amoníaco y/o carbonato de sodio disueltos en agua. Para eliminar la película de los óxidos metálicos nocivos, se adiciona amalgama de sodio previa obtención por hidrólisis. Esta técnica es conocida como «activación de mercurio por electrólisis», en la cual se utiliza como electrolito una solución de cloruro de sodio al 10% en peso. El paso de la corriente eléctrica produce la descomposición del electrolito, permitiendo que el mercurio absorba al ión sodio y el desprendimiento de cloro gaseoso se elimine al ambiente. El sodio le confiere mayor reactividad al mercurio, pero este efecto dura solo un corto periodo.

En resumen, la adición de amalgama de sodio al proceso propicia un doble efecto beneficioso al entrar en contacto con el agua: por un lado, se produce la soda cáustica que elimina el recubrimiento pelicular tanto del mercurio como de los elementos metálicos valiosos, y por otra parte, la liberación de hidrógeno reduce los óxidos de metales nocivos de la superficie del mercurio.

Mediante las campañas de capacitación intensiva de los operadores mineros y de la comunidad minera en general, se espera lograr la aplicación rutinaria de la reactivación electrolítica de mercurio en todas las unidades con instalaciones de amalgamación de la Región Nasca-Ocoña.

#### b. Calidad del concentrado

El mineral enviado a las plantas de amalgamación proviene generalmente de alguna etapa previa de concentración. Dependiendo de la técnica seleccionada se obtienen concentrados de diferente calidad y tenor, presentándose por lo general situaciones de comportamiento refractario en el proceso que solo conducen a grandes pérdidas de mercurio y baja recuperación de los metales valiosos.

En estas situaciones se debe tener en consideración la presencia en los concentrados de especies minerales que originan la formación de óxidos de metales nocivos sobre la superficie del mercurio durante la molienda en los molinos amalgamadores o quimbaletes, y/o que los concentrados se encuentren de alguna forma ya contaminados con lubricantes u otras sustancias formadoras de pátinas sobre la superficie de los metales valiosos y posteriormente en los molinos amalgamadores, sobre la superficie del mercurio. Como resultado de estas situaciones se reduce en gran medida la intensidad y la extensión de la acción de contacto superficial del mercurio; acción necesaria y fundamental del proceso para la formación de la amalgama de oro y plata.

#### c. Variables de operación

Las variables de operación de mayor incidencia y control sobre los resultados del proceso de amalgamación son las siguientes:

- Tiempo de amalgamación: Los tiempos o periodos de amalgamación por tandas (tipo *batch*) en molinos o barriles de amalgamación son de unas tres horas, dependiendo de la calidad del concentrado. Se debe cuidar de no exceder innecesariamente el grado de liberación requerida, y evitar al mismo tiempo toda posibilidad de harinamiento (atomización) del mercurio.
- Volumen de carga moledora: Se recomienda utilizar barras de acero en lugar de las bolas tradicionales como elementos moledores del mineral. En ambos casos se debe mantener un volumen aproximado de carga moledora equivalente al 20% del volumen interno del molino.
- Densidad de pulpa: La carga de mineral presente en la pulpa de molienda debe representar aproximadamente 30 a 40% del peso.
- Velocidad de rotación: A fin de reducir la posibilidad de harinamiento del mercurio, se recomienda mantener la velocidad de rotación del molino alrededor del 30% de su velocidad crítica.
- Dosificación de mercurio: Esta variable presenta amplios rangos de fluctuación que dependen de la calidad del concentrado de mineral, principalmente en lo concerniente a las características de textura y ensamble mineralógico que definen el grado de liberación requerida.

## CIANURACIÓN

### Caracterización del cianuro

La industria minera, en particular la del oro, utiliza cianuro en el proceso productivo desde hace un tiempo, aunque su uso en la pequeña minería es bastante nuevo. Aunque se teme al cianuro como una sustancia mortal, en realidad es una sustancia química ampliamente utilizada y esencial para el mundo moderno. La clave para su uso seguro es la implementación de prácticas seguras de manejo.

El cianuro es uno de los pocos reactivos químicos que disuelven el oro en agua. Es una sustancia química industrial común que se consigue fácilmente a un precio razonable. Por razones técnicas y económicas, el cianuro es la sustancia química elegida en la recuperación de oro del mineral. Ha sido utilizada en la extracción de metales desde 1887 y actualmente se emplea en forma segura en la recuperación de oro en todo el mundo. Las operaciones mineras para la extracción de oro utilizan soluciones muy diluidas

de cianuro de sodio, típicamente entre 0,01% y 0,05% de cianuro (100 a 500 partes por millón).

El cianuro se transforma en otras sustancias químicas menos tóxicas mediante procesos físicos, químicos y biológicos naturales. Dado que se oxida cuando es expuesto al aire o a otros oxidantes, se descompone y no persiste. Aunque es un veneno mortal cuando es ingerido en una dosis suficientemente elevada, no causa problemas crónicos en la salud o en el ambiente cuando está presente en concentraciones bajas.

El cianuro utilizado en las soluciones mineras se acopia, ya sea para ser reciclado o destruido, después de haber extraído el oro. El manejo de los riesgos asociados al uso del cianuro implica una ingeniería sólida, un monitoreo cuidadoso y buenas prácticas con el fin de evitar o mitigar los posibles escapes de cianuro al ambiente. Además, con el transcurso del tiempo, los procesos naturales (exposición a luz del sol) pueden reducir la concentración de las formas tóxicas del cianuro en soluciones con valores muy bajos.

### Uso de cianuro en la producción de oro

El cianuro de sodio se disuelve en agua y en condiciones ligeramente oxidantes disuelve el oro contenido en el mineral. La solución resultante que contiene oro se denomina «solución cargada» y a ella se agrega zinc o carbón activado para recuperar el oro.

La solución residual o «estéril» (es decir, carente de oro) puede ser recirculada para extraer más oro o enviarse a una instalación para el tratamiento de residuos.

Se utilizan tres formas de cianuración que se describen a continuación:

#### a. Lixiviación en pila (por percolación)

Los recientes avances técnicos permiten la lixiviación en pila de algunos minerales auríferos. Con este método, el mineral se tritura, se reduce a unos pocos centímetros de diámetro y se coloca en grandes pilas o montones. Una solución de cianuro se hace pasar lentamente a través de estas pilas para disolver el oro. Cuando se utiliza esta tecnología para extraer oro, la solución estéril se colecta en un tanque que generalmente se recarga con cianuro y se recicla de regreso al sistema de lixiviación.

La cianuración por percolación se practica en el ámbito artesanal y tiene las siguientes ventajas:

- Proceso simple.
- Reducido capital de inversión.
- Alta seguridad de funcionamiento.

Las desventajas son:

- Prolongado tiempo de lixiviación.
- Modesta recuperación.

#### b. Lixiviación en tanque

La lixiviación en tanque es el método convencional por el cual el mineral aurífero se tritura y se muele hasta reducirlo a menos de un milímetro de diámetro. En algunos casos se puede recuperar parte del oro de este material finamente molido como partículas discretas de oro mediante técnicas de separación por gravedad. En la mayoría de los casos, el mineral finamente molido se lixivia directamente en tanques donde se disuelve el oro en una solución de cianuro. Cuando el oro es recuperado en una planta convencional de lixiviación en tanque, la solución estéril se acopia junto con los residuos sólidos en un sistema de depósitos de relaves. Allí, una parte de la solución permanecerá dentro de los poros de los relaves sedimentados y otra parte se decantará y acopiará en un tanque ubicado encima de los relaves, donde posteriormente se recicla y se envía nuevamente a la planta. En la mayoría de las plantas, debido a la acumulación de impurezas, las soluciones que contienen cianuro deben ser bombeadas a un sistema de tratamiento para su eliminación.

El proceso de disolución es ayudado por agitación y se realiza de una manera rápida y efectiva; en el aspecto económico, los costos de inversión y de operación son definitivamente más altos que los de la percolación.

#### c. Aglomeración y percolación

El proceso de cianuración mediante aglomeración y percolación es rentable incluso para capacidades reducidas y relaves de baja ley. En 1982 este proceso fue utilizado en Trujillo, en 1989 se utilizó en Caraveli y hoy en día existen varias plantas de 10 a 30 t/d de capacidad, ubicadas principalmente alrededor de Nasca.

El proceso de aglomeración con cemento Portland tipo I ofrece las siguientes ventajas frente al proceso convencional de cianuración con recuperación de carbón activado en pulpa:

- Bajo costo de inversión y operación.
- Bajo requerimiento de energía.
- Menor consumo de agua, cianuro y carbón.
- Menor costo de mantenimiento.
- Mayor simplicidad y menor supervisión.
- Menor contaminación.

Estas ventajas son apropiadas para complementar la minería artesanal y su difusión podría contribuir directamente al

tratamiento in situ de los relaves de quimbaleta y/o minerales. Además, una planta de «peletización» para 20 t/d y con alto grado de mecanización no cuesta más de US\$ 18.000.

Es necesario contar con supervisión profesional para el proceso de cianuración, así como para los aspectos de seguridad contra intoxicación y envenenamiento.

#### d. Carbón en pulpa (Carbon in Pulp-CIP)

Una de las ventajas decisivas del carbón activado es que puede trabajar directamente en la pulpa de mineral, después o simultáneamente con la disolución del oro en cianuro. Este proceso se realiza, por ejemplo, colocando la pulpa en reactores tipo Pachuca dispuestos en serie, donde una cantidad fija de carbón es retenida en cada tanque mediante tamices que permiten la entrada y salida de la pulpa de mineral (usualmente se emplean tamices con abertura de malla 24). Para este efecto la pulpa de cianuración tiene que ser tamizada en malla 30 antes de ingresar al circuito de adsorción.

La mayor parte del oro disuelto es adsorbida en los primeros tanques, de modo que se genera un gradiente de concentración en los carbones de cada tanque y la concentración de oro en el carbón va desde 5 kg/t en el primer tanque hasta 0,5 kg/t en el último.

Cuando el carbón del primer tanque ha alcanzado la concentración establecida (usualmente cada 15 días) se descarga éste, pasando toda la pulpa por un tamiz externo, y el carbón se envía a la etapa de desorción. Se transfiere el carbón del segundo tanque al primero y así sucesivamente, mientras que el carbón fresco (o reactivado) se adiciona al último tanque. La frecuencia de descarga del carbón activado y su concentración final pueden ser adecuadas para la economía del propietario; en el caso de la minería de pequeña escala, se reduce el número de tanques incrementando su capacidad o se reduce la concentración final para «cosechar» con mayor frecuencia el carbón y disponer de liquidez. Debe tenerse en cuenta sin embargo que el servicio de desorción cuesta alrededor de US\$ 1/kg carbón y no es conveniente desorber carbones con poco contenido de oro. El proceso tiene la ventaja de no requerir la separación líquido/sólido para recuperar el oro.

Es importante indicar que la independización de los procesos de cianuración y adsorción permite ejecutarlos en condiciones óptimas que son diferentes para cada uno; por ejemplo la agitación intensa favorece la disolución de oro pero ocasiona abrasión del carbón, y el exceso de cianuro libre y oxígeno aceleran la disolución de oro pero retardan significativamente su adsorción en carbón. El tiempo normal de cianuración está

en el orden de 24 a 48 horas mientras que el de adsorción es normalmente 8 horas (Figura 3.1).

#### e. Carbón en lixiviación (Carbon in Leach-CIL)

Debido a que la reacción de lixiviación requiere mayor tiempo de residencia que la de adsorción, es posible reducir los requerimientos de equipo en el circuito usando, en forma simultánea, los tanques de agitación tanto para la cianuración como para la adsorción. Por lo general los primeros tanques son empleados únicamente para cianuración y solo los últimos se emplean para ambos procesos; si existe carbón orgánico en el mineral tratado se adiciona el carbón activado desde el primer tanque para evitar que aquél adsorba el oro disuelto. La mayor parte de las plantas de la minería de pequeña escala que cianuran mineral molido o relaves de amalgamación emplean circuitos CIL por su menor costo de inversión, operación y simplicidad (Figura 3.2).

#### f. Proceso de desorción

El carbón cargado de oro y plata debe ser sometido a un proceso de desorción para recuperar los metales preciosos (Figura 3.3). Los fines y objetivos de este proceso son:

- Recuperar la mayor cantidad de valores metálicos en un volumen de solución rica, tan pequeño como sea posible.
- Producir una solución concentrada con el tenor más alto posible de metales preciosos.
- Dejar la menor cantidad de oro y plata posible en el carbón después de la desorción.
- Dejar el carbón listo para retornar al sistema de adsorción.
- Operar con seguridad y en forma económica en un desarrollo industrial.

Hay varios métodos para efectuar este proceso: la desorción con hidróxido de sodio en caliente, a presión atmosférica o bajo presión, con acetona, con soluciones alcohólicas alcalinas, con agua deionizada, etc.

El proceso de desorción de mayor aplicación es el ZADRA. Consiste en el uso de una solución de 1% de hidróxido de sodio y 0,1 a 0,2% de cianuro de sodio, a temperatura de ebullición, en reactor a presión atmosférica o bajo presión (autoclave). Esta solución es puesta en circulación continua durante 72 horas a través del manto de carbón enriquecido; también se emplea soluciones más concentradas (10% NaOH y 1% NaCN). El sistema funciona en circuito cerrado con el sistema de electrodeposición. Una variante notable consiste en la aceleración de la cinética de desorción del oro (5-6 horas) mediante la adición de 10 a 20% de alcohol (etanol o metanol) en una solución de 0,1% de cianuro y 2% de hidróxido de sodio, y temperaturas moderadas (80 °C).



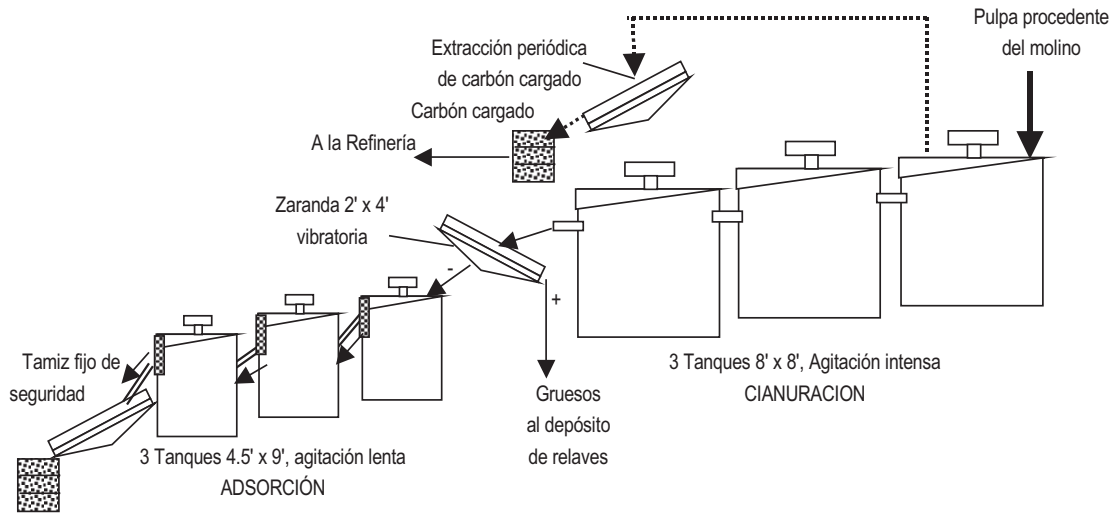


Fig. N° 3.1 Típico circuito «Carbón en Pulpa» (CIP). 25 TM/d.

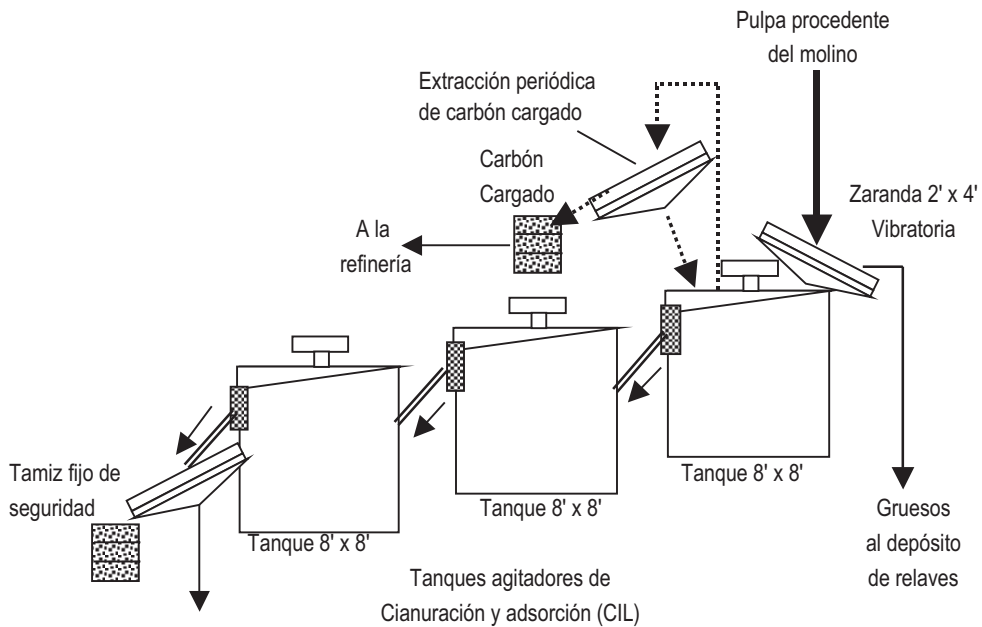


Fig. N° 3.2 Circuito «Carbón en Lixiviación» (CIL), Planta Aurelsa 25 TM/d, en Relave, Pullo, Ayacucho.

Las desventajas de esta variante incluyen el alto riesgo de incendio asociado con el alcohol y mayores costos de operación debido a las pérdidas de alcohol por volatilización, pero la mayor desventaja del método es que el alcohol adsorbido por el carbón reduce notablemente su capacidad de adsorción de oro, obligando a reactivar el carbón luego de cada etapa de desorción. Por el contrario, cuando no se emplea alcohol, el carbón desorbido no pierde mucho de esta capacidad y puede retornar a la etapa de CIP o CIL aun después de varios ciclos y antes de requerir la reactivación. Es oportuno indicar que las plantas que brindan el servicio de desorción en el país emplean alcohol, y si bien algunas brindan el servicio de reactivación, esta etapa encarece el proceso para el minero de pequeña escala, además de ocasionar pérdidas de carbón.

La desorción es un proceso simple que puede ser ejecutado por los mineros de pequeña escala con apropiada asesoría profesional; una instalación para desorción con 50 kg de carbón de capacidad puede ser construida a un costo de US\$ 400, que incluye el sistema de calentamiento y transferencia de solución; en tal caso se emplea el mismo tanque para el calentamiento y la desorción (véase Figura 3.4). El costo adicional de la celda de electrodeposición y rectificador está en el orden de US\$ 200 para lotes de hasta 100 kg de carbón con 5 kg Au/t.

### Extracción por cianuración en la zona de estudio

La extracción por cianuración se está aplicando en el reprocesamiento de relaves de amalgamación procedentes de operaciones en pequeña escala; solo en algunos casos se usa directamente en los minerales de mina (ROM) o concentrados de flotación. La solución impregnada, rica en oro, pasa a la etapa de recuperación mediante el uso de polvo de zinc (Merrill Crowe), o de carbón activado, seguido de electro-deposición. El cemento resultante se colecta para enviarlo a la etapa de refinación; en tanto que la solución de cianuro empobrecida se colecta en pozas para su reajuste y reciclaje en la etapa de extracción, o bien se procede a su descarga y disposición final. Los relaves de cianuración (ripios) son descargados de los tanques o bateas para su transporte y almacenamiento en depósitos improvisados.

En varios lugares del sur del país se instalaron plantas de beneficio para el tratamiento de los relaves de amalgamación, especialmente en la ciudad de Nasca, donde llegaron a operar alrededor de 20. Estas plantas, con capacidad diaria de 3 a 10 t de relaves de amalgamación, utilizaron el método de cianuración en pulpa (CIP) para obtener un producto enriquecido de 3 a 10 g de oro por kg de carbón. La mayoría de estas plantas se encuentra actualmente fuera de operación debido a la instalación de plantas con mayor capacidad y flexibilidad de tratamiento (Laitaruma y Belén, entre

**Cuadro N° 3.1**  
**Relación de plantas de beneficio por el sistema de cianuración existentes en la zona de franja Nasca-Ocoña**

Nombre de la Planta	Emplazamiento	TM/d
Belén	Chala-Caravelí	100
Laitaruma	Jaqui-Caravelí	80
Cía. Ccorijaqui S.A.	Jaqui-Caravelí	30
Cía. Minera Caravelí S.A.	Tocota-Caravelí	50
Cía. Aurífera San José S.A.	Tocota-Caravelí	15
María-Orión	Tocota-Caravelí	20
Cía. Minera Eureka S.A.*	Chaparra-Caravelí	30
Manchas Verdes-Yaber	Poroma-Nasca	12
Piedras Gordas-Ureyra	Nasca-Nasca	12
Huanca-Massa	Huanca-Lucanas	20
Tulin-Palos Verdes	Ingenio-Nasca	20
Wachuca-Nasca*	Nasca-Nasca	12
Tulin-Paraiso	Ingenio-Nasca	30
CORMINDU S.A.	Nasca-Nasca	30
Santa René S.A.	Poroma-Nasca	20
OPERMIN S.A.**	Huanta-Lucanas	15
Arequipa-Varios	Arequipa	15
Total, capacidad instalada		424

\* Plantas con operaciones paralizadas

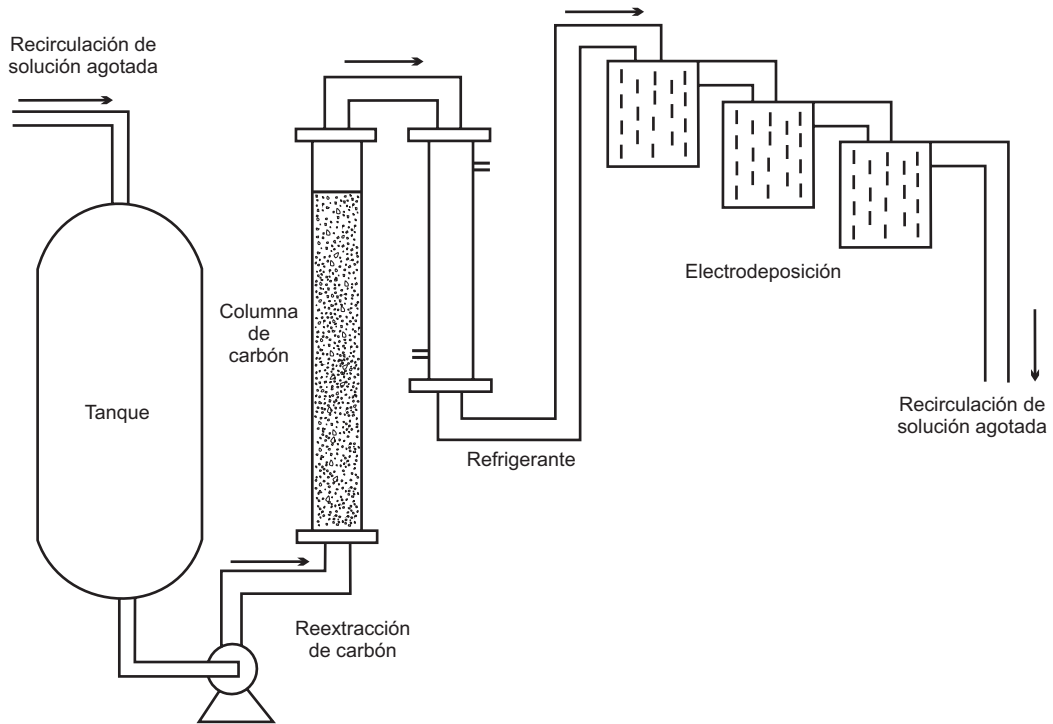
\*\* Planta de inicio reciente de operación

otras), lo que ha ocasionado una mayor demanda de material aurífero y el consecuente incremento del precio. Por ejemplo, el precio del relave de amalgamación se incrementó de un promedio de US\$ 15/t a US\$ 120/t.

La introducción del proceso de cianuración por aglomeración-percolación en bateas o pozas ha permitido mejorar la economía en inversión y costos de operación, aun con materiales de bajo tenor de oro, permitiendo la instalación de plantas con capacidad reducida, de 10 a 30 t/día. La construcción y la implementación de una planta de aglomeración-percolación cuestan alrededor de US\$ 900 por tonelada de capacidad diaria instalada; y en el caso de una planta que utiliza el método de carbón en pulpa el costo es de US\$ 4000 t/día, para una capacidad similar.

Se ha podido constatar que varios grupos de mineros asociados venden directamente la producción del mineral a propietarios de plantas de cianuración. Es el caso de la agrupación Ccori-Huanca que envía lotes de mineral de 25 t/semana desde Huanca a las plantas de Laitaruma y Belén, ubicadas en Jaqui y Chala respectivamente, con ley promedio de 1,43 oz/tc Au. Casos similares ocurren con las agrupaciones de Los Incas, Santa Filomena y Otoca.

La relación de plantas de beneficio por cianuración existentes en la zona de la franja Nasca-Ocoña se presenta en el Cuadro 3.1. En conjunto tratan un promedio de 400 t/día de una mezcla de



Fuente: Jarufe, K & Mucha, N. (1980)

Fig. N° 3.3 Proceso de adsorción para recuperar los metales preciosos

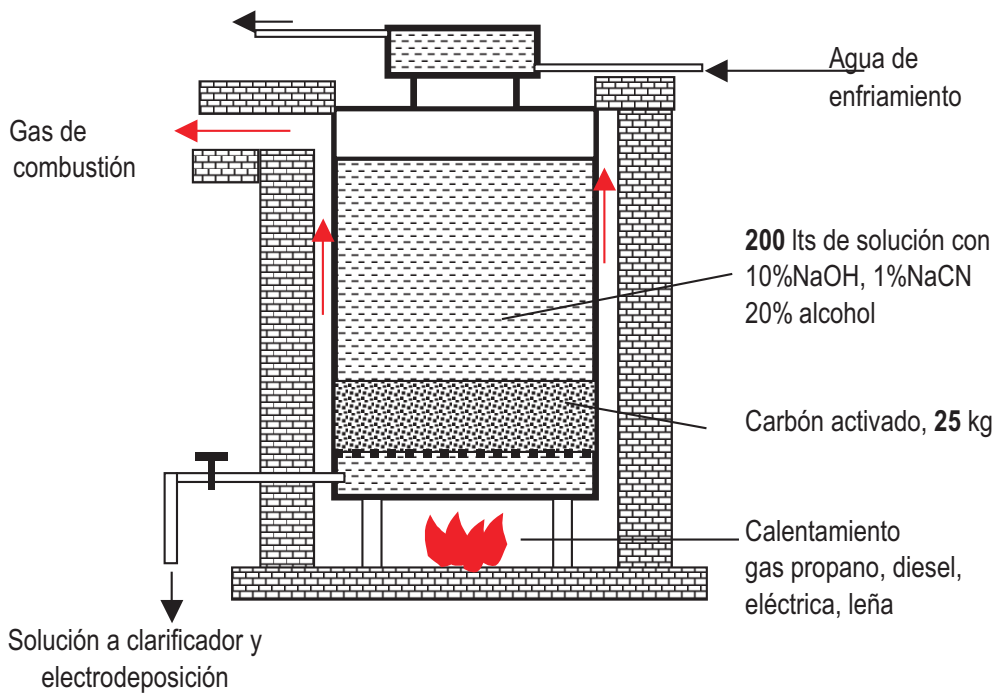


Fig. N° 3.4 Tanque de Desorción de Carbón activado para minería artesanal capacidad : 25 Kg por ciclo

relaves de amalgamación y mineral fresco de mina (ROM), con un contenido promedio de oro de 24 g/t. El estimado anual correspondiente es de 132.000 t de material aurífero tratado para producir 3,71 t de oro.

### **Beneficio de relaves de amalgamación**

El relave de amalgamación se genera por el tratamiento del mineral ROM mediante el sistema de quimbalete; el contenido de oro es variable, con un promedio de 0,4 a 0,8 oz/t, y contenido importante de mercurio. Este material normalmente se procesa por lixiviación en plantas de cianuración que utilizan el método de carbón en pulpa (CIP) o el de peletización-percolación en bateas o pozas. En ambos métodos, los metales valiosos se recuperan con carbón activado, seguido de las etapas de desorción y electro-deposición, para luego proceder con la fundición de barras de oro doré. Desde el año 1995, las plantas de Belén y Laitaruma han

implementado las etapas de desorción y electro-deposición; el resto de plantas entregan el carbón cargado de metales valiosos a las plantas ubicadas en la ciudad de Lima: Refinadora Sudamericana S.A. y Finnesse S.A.

Se considera que los propietarios de las plantas de beneficio por cianuración son parte directa o indirecta de la cadena de informalidad en las operaciones de explotación-beneficio y comercialización de la minería aurífera en la zona. En efecto, son ellos quienes a través de sus representantes o intermediarios financian a los operadores del sistema de quimbalete para la amalgamación de los minerales de mina (ROM) y éstos, a su vez, ofrecen créditos a los productores mineros para la adquisición de explosivos, materiales, herramientas, insumos en general, e incluso víveres, de manera que aseguran el abastecimiento continuo y sostenido de mineral fresco o relave de amalgamación.

# CAPÍTULO IV

## ASUNTOS AMBIENTALES

### GENERALIDADES

En el área estudiada se ha constatado una compleja red de relaciones reflejadas por la presencia de sociedades mineras en las operaciones de explotación, cadenas de propietarios y abastecedores de servicios necesarios para la molienda y beneficio, así como redes de comerciantes que forman un mosaico muy interesante y poco investigado, mediante el cual la pequeña minería reparte su riqueza, genera problemas ambientales a la sociedad local, y dificulta la planificación y la solución de problemas.

Por tal razón es necesario proporcionar la información que permita conocer y comprender los riesgos para la seguridad, la salud, el ambiente y la naturaleza que genera una operación minera manejada sin criterios técnico-ambientales. Por ello es necesario documentar los procesos minero-productivos, interpretarlos y difundir sus resultados, para facilitar el planteamiento de soluciones con participación de los propios actores sociales.

Al margen de los efectos positivos para el desarrollo socioeconómico de la región estudiada, la pequeña minería y la minería artesanal ocasionan o pueden ocasionar daños considerables al medioambiente, sobre todo por el desarrollo de actividades mineras sin control, que responden solamente a necesidades y condiciones de coyuntura por carencia de una tecnología apropiada, y por la falta de una conciencia y cultura en seguridad y sanidad ambiental.

Los estudios sobre los efectos ambientales de la industria minera han determinado la existencia de problemas agudos en la pequeña minería y minería artesanal que muestran un alto riesgo para la seguridad y salud pública. También existen problemas que incorporan riesgos para el medioambiente.

La minería, como actividad que se dedica a la obtención de georecursos (materias primas y metales), genera cambios y la destrucción parcial o total de ciertos ecosistemas, por lo que es preciso desarrollar proyectos de explotación con tecnologías limpias y de recuperación de los terrenos afectados, en equilibrio con la conservación de la naturaleza.

Un caso particular es el uso inadecuado de mercurio y cianuro en la extracción de oro, así como de ácido sulfúrico en la lixiviación de

cobre, que pueden ocasionar la contaminación de aguas, aire y suelos, así como perjudicar la salud de los mineros y de la población ubicada en la cercanía de estas operaciones.

Otros impactos negativos provocados por la pequeña minería y minería artesanal son la destrucción del paisaje, erosión inducida del suelo, polución de aire con polvos y gases de mucho riesgo para la flora y fauna, eliminación inadecuada de los desechos industriales y domésticos, riesgos a corto y largo plazo por la construcción inadecuada de depósitos de relaves, así como la acumulación de estériles y rípios en botaderos sin planificación de cierre y abandono técnico.

Las investigaciones relacionadas con las evidencias de contaminación por mercurio en la sangre y orina de mineros y comerciantes de oro de algunas zonas específicas (por ejemplo en la comunidad minera Santa Filomena, véase cuadros adjuntos) ponen en evidencia la seriedad del problema social derivado de la pobreza y precariedad de las poblaciones asentadas en los alrededores de los campamentos mineros, y que se manifiesta también en la presencia de alcoholismo, prostitución, desnutrición, etc.

**Cuadro N° 4.1**

**Niveles de Mercurio presentados por Rangos de Edad de los trabajadores, hombres, mujeres y niños mineros expuestos a mercurio en la Comunidad Minera Santa Filomena (muestras de orina)**

Grupo de Edades	(0 a < 0,04 mg/l) %	Casos Encontrados	(0,04 a 0,09 mg/l) %	Casos Encontrados
2-12	12,90%	4	19,35%	6
13-23	3,22%	1	9,68%	3
24-34	9,68%	3	29,03%	9
35-45	6,45%	2	9,68%	3

Fuente: *Evaluación de la Contaminación por mercurio en población de mineros artesanales de oro de la comunidad de Santa Filomena – Ayacucho – Perú durante el período agosto – setiembre 2001 – Tesis. (Niveles normales de mercurio en orina es de < 0,02 mg/l - Límite referencial en humanos España, Español S. 2001).*

**Cuadro N° 4.2**  
**Niveles de mercurio según proporción porcentual de la población evaluada en trabajadores, hombres, mujeres y niños mineros expuestos mercurio de la comunidad minera Santa Filomena**

Nivel de Hg	Porcentaje	Casos Encontrados
0 a < 0,04 mg/l	32,25%	10
0,04 a < 0,09 mg/l	67,74%	21

*Fuente: Evaluación de la Contaminación por mercurio en población de mineros artesanales de oro de la comunidad de Santa Filomena – Ayacucho – Perú durante el período agosto – setiembre 2001 - Tesis*

## USO DE MERCURIO EN EL PROCESO DE AMALGAMACIÓN

La contaminación por mercurio proveniente del proceso de amalgamación en la minería aurífera a pequeña escala es un problema ambiental muy serio para la zona. En la etapa de tratamiento piro-metalúrgico de la amalgama de oro se produce la emisión promedio anual de 12,6 t de vapor de mercurio y su consecuente condensación-precipitación a la superficie en finísimas gotas. Esta situación representa una fuente de alto riesgo para la salud humana, el medio biótico y el medio físico ambiental. Así mismo, se ha estimado que un promedio anual de 200 t de mercurio se encuentran contenidas en el material de los relaves producido por los procesos de amalgamación en quimbaletes.

Se desconoce con exactitud la presencia y distribución del volumen anual de mercurio residual y sus compuestos derivados. Entre los potenciales receptores y vías de conducción y transporte de las emisiones residuales de mercurio y sus compuestos, se pueden mencionar la escorrentía, cuerpos y cursos de agua superficial y subterránea, suelos/ sedimentos y fauna acuática.

En el Cuadro 4.3 se muestran los resultados de los análisis de mercurio y oro de muestras referenciales de los relaves de amalgamación obtenidas por el sistema de quimbaletes; se incluye también el contenido de mercurio en una muestra de tierra agrícola de Saramarca. Se estima que el promedio de pérdidas de mercurio es del orden de 6,5 g/lata de mineral tratado por el sistema de quimbaletes o 100 a 200 g-Hg/quimbaletes-día (VASTER 2001).

Las principales áreas afectadas por la contaminación de mercurio en el sur medio son las cuencas de los ríos Grande, Acarí, Yauca, Chala, Cháparra, Atico, Caravelí y Ocoña. La contaminación y acumulación de mercurio tienen como principal medio de instalación al sedimento y la biota.

**Cuadro N° 4.3**  
**Contenido de mercurio y oro en muestra referenciales de relaves de amalgamación obtenidos del sistema quimbaletes**

Centro Minero	Mercurio ppm	Oro g/TM
Mollehuaca	376	20.8
Relave	341	20.9
Saramarca	191	11.5
Nasca	1101	--
Otoca	270	--
Tulín	10	33.6
Santa Filomena	48	43.2
Huanca	486	19.6
Chaparra	174	19.7
La Joya	141	10.9
Eugenia	1622	23.4
Atico	757	11.7
Caravelí	1796	31.5
Chala	104	--
Cerro Rico	211	18.1
Saramarca (Tierra agrícola)	38	

*Fuente: GRADE – Minería Informal y Medio Ambiente*

El mercurio presente en los concentrados de oro o relaves de amalgamación (comprados por las plantas de beneficio de la región) se evapora en el proceso de fundición, donde una parte del vapor de mercurio se precipita en el sistema de filtros de polvo y la parte restante es emitida a la atmósfera por la chimenea de la fundición u otras fuentes.

En el proceso de separación física del oro de la amalgama, sin retorta, el mercurio se evapora y el vapor va a la atmósfera con la consecuente difusión de gases y afectación de la salud de la población circundante. Lamentablemente, el uso de la retorta en las etapas de beneficio y comercialización se encuentra restringido por la creencia de que en este dispositivo se «pierde» parte del oro, y por tal razón, los vendedores y compradores de oro prefieren «mirar» la quema de la amalgama.

El amplio rango de valores registrados para el mercurio se debe a la diferencia en el contenido de oro en el mineral de mina y a la destreza del operador del sistema de quimbaletes.

La presencia de mercurio en los materiales de ingreso y aquellos generados en las plantas de cianuración, queda demostrada a través de los resultados de los análisis de muestras referenciales que se indican en el Cuadro 4.4.

**Cuadro N° 4.4**  
**Resultados de análisis por mercurio total y mercurio soluble sobre muestras**  
**referenciales obtenidas de diversas plantas de cianuración**

Planta de Cianuración	Procedencia del material recibido	Descripción de la Muestra	Mercurio Total ppm	Mercurio Soluble ppm	Oro g/TM
Cerro Rico	Yanaquihua	Relave cianuración	165		7,8
Cerro Rico	Encarnación	Relave cianuración	57		5,3
Cerro Rico	Ispacas	Relave cianuración	66		1,2
Nasca	Depósito abandonado	Relave cianuración	79		2,1
Planta Belén		Rlve. Cian./ sólidos	414		1,5
Planta Belén		Rlve. Cian./ líquido		102,1	
Planta Cormindu S.A.		Pozo de agua		<0,001	
Planta Saresa		Solución impregnada		6,17	
Planta Saresa		Rlve. Cianuración		1,17	

Fuente: GRADE – Minería Informal y Medio Ambiente

### Perdida de mercurio en el proceso de amalgamación

Las condiciones operativas que generan grandes pérdidas de mercurio y bajas recuperaciones de oro son las siguientes:

- Deficiente preparación del mineral y consecuente ausencia o reducida selectividad en el proceso de amalgamación.
- Adición excesiva y/o baja calidad de mercurio.
- Aplicación de altas velocidades de rotación de los barriles amalgamadores, normalmente por encima de la velocidad crítica.
- Relación inadecuada entre la carga de mineral y el cuerpo molidor en el barril amalgamador.
- Inadecuada densidad de pulpa de mineral, normalmente por debajo de la densidad óptima.
- Períodos excesivos de remolienda, que muchas veces exceden el tiempo óptimo de amalgamación.
- Proceso de elutriación deficiente para la separación selectiva entre la amalgama y el relave de amalgamación.
- Incorrecta selección y/o deficiente operación del proceso para la recuperación de elementos valiosos contenidos en la amalgama.

La amalgamación en un futuro próximo seguirá siendo el método preferido y aplicado en la pequeña minería aurífera.

Por todo ello, es importante mejorar las condiciones técnicas del proceso mediante la utilización de tecnologías sencillas y equipos de fácil manejo a bajo costo y de manufactura local. Igualmente, es necesario contemplar el incremento de recuperación de oro y la disminución de pérdidas de mercurio, en el sentido que su reducción no debe ir en detrimento de la producción de metal precioso

Estudio para mejorar el proceso de quimbalteo minimizando las pérdidas altas de mercurio (Proyecto GAMA, Wotruba y Vasters 2002)

En comparación con otros procesos metalúrgicos que concentran el oro libre sin uso de mercurio o utilizando un circuito cerrado de amalgamación, el proceso de quimbalteo tiene una recuperación relativamente alta y destaca por sus bajos costos de inversión y operación. Esto hace difícil pensar en un cambio de tecnología para reemplazar el proceso de quimbalteo tradicional con un proceso de producción limpia. Por otro lado, la situación de contaminación del medioambiente en las zonas donde se trabaja amalgamando con quimbaletes es preocupante y hace deseable una disminución del nivel de mercurio disipado en el medio ambiente.

El objetivo del estudio ha sido una evaluación técnico-metalúrgica del proceso de quimbalteo in situ, considerando el rendimiento del proceso, la cuantificación de mercurio aplicado y perdido, así como la determinación del estado de mercurio en colas.

La siguiente tabla resume las recomendaciones simples para reducir la contaminación a corto plazo.

Descripción	Efectos	Actores
Piso de cemento para cancha de secado de relaves y área alrededor del quimbalete	Reducción de pérdidas de material de proceso, derrames de Hg pueden ser recogidos, reducción de contaminación del suelo se evita filtraciones.	Implementación por el dueño del quimbalete
Protección, del viento; de los relaves secados	Reducción de la generación de polvo, de la contaminación de suelo y del medio ambiente, disminución de pérdidas del concentrado	Implementación por el dueño del quimbalete
Mesa de fierro o tina de cemento para el trabajo de ahorcar Hg	Reducción del peligro de derrames de Hg	Implementación por el dueño del quimbalete
Deslame suave de los quimbaletes	Reducción de pérdida de Hg en el proceso	Operador del quimbalete
Preconcentración en canaleta y amalgamación del concentrado en quimbalete	Menos material en contacto con Hg trabajo sin deslame posible	Operador del quimbalete
Mejora constructiva del quimbalete	Reducción de la pérdida de Hg en el proceso	Constructor y dueño del
Utilización trampas de Hg (canaleta scavenger, otras)	Recuperación del Hg perdido en el proceso	Operador del quimbalete
Capacitación en el manejo de la amalgamación	Reducción de la contaminación del ambiente laboral	Dirigido al operador y dueño Quimbalete
Trabajo limpio con el mineral	Reducción de pérdida y contaminación de mineral	Dirigido al operador y dueño quimbalete y molino

La utilización de la canaleta en la preconcentración de oro y la posterior amalgamación del concentrado abre la posibilidad para los mineros artesanales de procesar minerales con bajas leyes, que en el quimbaletaje tradicional no hubieran sido económicamente procesables. Eso se debe a la alta tasa de producción posible en la operación con canaleta.

Utilizando un quimbalete para empulpar el polvo seco de mineral que proviene del molino de bolas se logró incrementar la productividad tres veces en comparación con el proceso tradicional de amalgamación por el quimbaletaje. Además, mediante el trabajo en un circuito cerrado se logró reducir las pérdidas de mercurio de aproximadamente 500 g/t (proceso tradicional) a un nivel tan bajo como 4 g/t (proceso modificado).

Comparando los méritos de la nueva estrategia de concentrar gravimétricamente minerales de baja ley en una canaleta que fue probada en Huanta, con la desventaja de recuperar aproximadamente solo el 90% del oro recuperable en el proceso tradicional, se muestra claramente la superioridad económica y ambiental del trabajo con canaleta y amalgamación en circuito cerrado.

Así se presenta una situación en que todos los actores pueden ganar. Así, los mineros ganan por:

- Reducción de costos en el proceso.
- Posibilidad de reprocesar desmontes de las minas.
- Factibilidad de explotar vetas de leyes más bajas que antes no eran económicamente explotables, mejorando así sus reservas probadas de mineral.

- Mejor utilización de los recursos mineros.
- Capacitación en nuevas tecnologías productivas.

Los «planteros» o dueños de los quimbaletes ganan por:

- Aumento de producción en sus plantas.
- Menor ley de relaves.
- Reducción de concentración de mercurio en los relaves.
- Capacitación en nuevas tecnologías productivas.
- Mejor utilización de los quimbaletes e inversiones.

Las empresas que compran los relaves ganan por:

- Más productividad de planta.
- Menos contaminación con mercurio.
- Mejora de las leyes.
- Mejor utilización de la planta e inversiones.

El pueblo gana por:

- Más trabajo en las minas y plantas de quimbaletes.
- Capacitación en tecnología productiva
- Menor contaminación con mercurio.

El medioambiente gana por:

- Disminución de las pérdidas de mercurio
- Mejor utilización de los recursos mineros



## **MANEJO DE DEPÓSITOS DE RELAVES MINEROS**

En la región existen actualmente plantas paralizadas o abandonadas y otras activas, con uno o varios depósitos de relaves y rípios. Los residuos depositados provienen de procesos de flotación, lixiviación o amalgamación.

El diseño, la construcción y la operación/mantenimiento de la pequeña minería y minería artesanal, así como la planificación del abandono técnico de sus depósitos, no garantizan la estabilidad física y química necesarias para excluir cualquier riesgo para la salud pública y el medioambiente a largo plazo.

En el entorno de los depósitos se encuentran derrames de relaves, derrumbes de los muros e infiltraciones en el suelo y, favorecida por el clima desértico, una erosión eólica de la superficie seca de los depósitos. Los relaves y rípios pueden contener contaminantes de reactivos como cianuro e hidrocarburos, así como metales nocivos como arsénico, mercurio, cadmio y cobre, en altas concentraciones. En esos casos es imprescindible tomar las medidas apropiadas para evitar cualquier derrame o infiltración de los relaves, así como prevenir la generación de polvos provenientes de la superficie seca de los depósitos abandonados.

## **USO DE ENERGÍA, AGUA E INSUMOS**

Durante la molienda de mineral, el mayor consumo energético en las plantas tradicionales ocurre normalmente en molinos de bolas, con poca capacidad. A menudo se encuentra en el análisis de los procesos metalúrgicos de minería artesanal que la molienda es más fina que la necesaria y esto corresponde a un gasto de energía muy alto. Además, los equipos y sistemas eléctricos, mecánicos y neumáticos suelen encontrarse en mal estado, resultando en un bajo rendimiento.

El agua es un bien escaso por el que compiten la agricultura, la minería y otras industrias, así como las poblaciones. Por ello es importante tener un uso racional del recurso. El agua utilizada en los procesos de la pequeña minería y minería artesanal no se recupera, ocasionando una pérdida doble porque este recurso aún contiene reactivos que pueden ayudar en el proceso de concentración en el caso de ser recuperado. No obstante, en la minería aurífera a pequeña escala se afirma que los reactivos presentes en el agua recuperada pueden perjudicar el proceso de amalgamación. Además, en muchos casos, la densidad de la pulpa está demasiado diluida en las etapas de molienda y flotación, con un alto consumo específico de agua y reactivos.

## **GENERACIÓN DE POLVOS**

Existen cinco procesos en la pequeña minería y minería artesanal que pueden generar polvo. Estos son: perforación, voladura,

transporte, trituración de mineral y erosión de la superficie seca de los depósitos de relaves.

La perforación y voladura ocurren generalmente en minas subterráneas, donde no suelen ocurrir emisiones grandes de polvo fuera de la mina. Sin embargo, la salud de los trabajadores podría estar muy comprometida por la generación de polvo en las operaciones de perforación, voladura y acarreo, sin medidas de control. En términos generales, la pequeña minería no realiza muchos esfuerzos para combatir la generación del polvo, tanto por negligencia en el control como por desconocimiento de los peligros que acarrea.

La erosión eólica de la superficie seca de los depósitos de relaves representa un problema grave en las cercanías de las poblaciones o zonas agrícolas, tal es el caso de la planta Otoa, cuyos depósitos están ubicados en la zona urbana. En la zona desértica de la región resulta difícil estabilizar la superficie del depósito con vegetación, salvo si se utiliza un sistema continuo de riego; en términos generales no hay actividades de remediación ambiental.

## **MANEJO DE DESECHOS MINEROS, ABANDONO Y CIERRE DE MINAS**

El manejo de desechos por la pequeña minería y minería artesanal es casi siempre inadecuado. La chatarra, basura doméstica, lubricantes e hidrocarburos residuales son desechos desordenadamente en las concesiones mineras o en el terreno de operaciones, generando perturbaciones estéticas y sin tomar medidas de protección en la etapa de cierre para prevenir que terceras personas se accidenten o el medioambiente sea perjudicado.

A menudo se puede observar la práctica de regar con aceite usado los caminos sin pavimento, para estabilizar la superficie y suprimir la generación de polvo. Esta práctica puede ocasionar daños considerables al agua subterránea si ocurre una infiltración a los acuíferos. Además, en la mayoría de operaciones mineras se quema indistintamente basura doméstica junto con desechos industriales combustibles, lo que resulta en polución del aire.

Las labores mineras con accesos de agua a la zona primaria de sulfuros dan lugar a condiciones favorables para la generación de drenaje ácido de roca (DAR). Este efecto se produce por la oxidación directa de sulfuros (especialmente pirita) y/o por intervención de la acción de bacterias (biooxidación). El inicio de la generación del DAR y su propagación en intensidad y caudal a través del tiempo pueden causar impactos severos al medioambiente, incluyendo al medio socioeconómico, si no se han tomado las medidas técnico-ambientales de prevención y las consecuentes acciones y medidas de mitigación y control.



**Foto N° 38** Relaves arrastrados a quebradas, contaminándolas en épocas de avenidas Quebrada San Luis Jaquí



**Foto N° 39** Disposición de relaves de operaciones antiguas. Zona de Jaquí Mina San Luis



**Foto N° 40** Depósito de relaves antiguos. Zona de Jaquí



**Foto N° 41** Infraestructura de mina abandonada. Mina Monterrosas - Ica



**Foto N° 42** Efluentes líquidos residuales de interior mina. Mina Chapi - Arequipa



**Foto N° 43** Disposición de desechos orgánicos y basura en una quebrada. Zona Cháparra



Foto N° 44 Contaminación de quebrada con desechos plásticos y orgánicos en la mina Puruja.

## SALUD MINERA

Los principales efectos de la contaminación en la salud humana están relacionados con enfermedades de la sangre, sistema nervioso, sistema urinario y sistema respiratorio.

Según reportes médicos de estudios realizados, el mercurio deprime los mecanismos enzimáticos celulares mediante su combinación con los grupos sulfhídrico (-HS); por esta razón, las sales solubles del mercurio son tóxicas para las células. El mercurio se une también a otros ligandos como grupos amino y forosorilo e interfiere en el metabolismo celular. Las grandes concentraciones alcanzadas durante la excreción renal provocan lesión específica de los glomérulos y túbulos renales.

Estudios realizados respecto a la contaminación auditiva indican la probabilidad de sufrir hipoacusia neurosensorial profesional (un daño definitivo e irreversible que ocurre por la exposición cotidiana a niveles sobre los 85 dB como resultado de los ruidos de máquinas).

Además, los mineros están expuestos a exceso de polvo silíceo, con alta fracción respirable, lo cual hace posible que presenten disnea de esfuerzo y silicosis.

## CALIDAD AMBIENTAL EN LA PRODUCCIÓN

La pequeña minería y la minería artesanal peruanas no tienen la capacidad de incorporar en sus actividades la calidad ambiental

en la producción como variable de competitividad, que es requerida por las políticas del Estado y también por el mercado internacional.

Las causas principales de esa incapacidad son:

- Falta de conciencia y cultura en seguridad y sanidad ambiental, incluyendo conceptos de ecología, así como legislación y normativa ambiental.
- Deficiencias en la evaluación de los impactos ambientales ocasionados por las actividades de la pequeña minería y minería artesanal.
- Falta de herramientas de gestión ambiental que abarquen la reducción y el control de emisiones, el manejo de residuos, el cierre y abandono de la unidad de operación minera, la explotación-beneficio eficiente, así como el uso racional de los recursos de agua y energía.
- Falta de tecnología limpia, incluyendo la ausencia de alternativas de financiamiento y de adaptación cultural a nuevas tecnologías.

En este contexto es necesario desarrollar un plan que contenga efectos sociales y económicos positivos para la pequeña minería y minería artesanal, proponiendo las medidas y acciones necesarias para reducir sus problemas ecológicos. Este plan debe estar enfocado en las metas siguientes:

- Procurar que el sector involucrado cuente con conocimientos básicos de medioambiente, protección y el impacto de la minería sobre el medio socioambiental.

- Promover a través de un grupo piloto de empresas de la pequeña minería y minería artesanal la disponibilidad de herramientas apropiadas de gestión ambiental.
- Destacar que la minería a pequeña escala en el ámbito nacional e internacional cuenta con valiosas experiencias de producción limpia que son ampliamente reconocidas y pueden servir de base como proyecto piloto para la difusión de una tecnología apropiada.
- Demostrar que el sector está en capacidad para utilizar adecuadamente el instrumento de la Declaración de Impacto Ambiental para sus proyectos nuevos con el fin de ingresar al Sistema Nacional de Evaluación de Impacto Ambiental (Ley N.º 27446), que requiere la legislación de medioambiente en el país.

## GESTIÓN DEL RIESGO EN SEGURIDAD, HIGIENE MINERA Y MEDIOAMBIENTE

### Normatividad legal

La Ley N.º 27446 «Ley del Sistema Nacional de Evaluación de Impacto Ambiental» del 20 abril de 2001 dice: Quedan comprendidos en el ámbito de aplicación de esta Ley, los proyectos de inversión públicos y privados que impliquen actividades, construcciones u obras que puedan causar impactos ambientales negativos, según disponga el Reglamento de dicha Ley.

A partir de la entrada en vigencia del Reglamento de la citada Ley, no podrá iniciarse la ejecución de proyectos incluidos en el párrafo anterior y ninguna autoridad nacional, sectorial, regional o local podrá aprobarla, autorizarla, permitirla, concederla o habilitarla si no cuentan previamente con la certificación ambiental contenida en la Resolución expedida por la respectiva autoridad competente.

El Sistema Nacional de Evaluación de Impacto Ambiental garantiza:

- Instancias formales de difusión y participación de la comunidad en el proceso de tramitación de las solicitudes y de los correspondientes estudios de impacto ambiental.
- Instancias no formales que el proponente debe impulsar, para incorporar en el estudio de impacto ambiental, la percepción y la opinión de la población potencialmente afectada o beneficiada con la acción propuesta.

### Protección ambiental en actividades mineras y metalúrgicas

El reglamento de protección ambiental en actividades mineras y metalúrgicas (aprobado por D.S. N.º 016-93-EM, y su modificatoria por D.S. N.º 059-93-EM) incorpora aspectos tales como la

prohibición de hacer minería en áreas naturales protegidas, la obligatoriedad de presentar los estudios de impacto ambiental a las comunidades comprendidas en las áreas de influencia, y las correspondientes precisiones para su elaboración. Asimismo, propicia el debate sobre conceptos como cierre de minas, garantías ambientales y consultas a la comunidad, permitiendo sensibilizar a mineros y no mineros en la necesidad de un uso racional de los recursos naturales, respetando y cuidando el ambiente.

### Aspectos ambientales en la pequeña minería y minería artesanal

La Ley de Formalización y Promoción de la Pequeña Minería y la Minería Artesanal (Ley N.º 27651), y su reglamento aprobado por D.S. N.º 013-2002-EM, establecen reglas y consideraciones específicas respecto a los aspectos ambientales.

Para el inicio o reinicio de actividades, los pequeños productores mineros y productores mineros artesanales deberán presentar la Declaración de Impacto Ambiental o Estudio de Impacto Ambiental Semidetallado, según sea su caso, para la obtención de la certificación ambiental referida en la Ley N.º 27446, Ley del Sistema Nacional de Evaluación de Impacto Ambiental. La declaración o estudio de impacto ambiental deberá contener la identificación de los compromisos ambientales y sociales individuales o colectivos, según sea la naturaleza de éstos.

El incumplimiento comprobado por la autoridad minera de las normas en materia de seguridad e higiene minera, ocurridas dentro del área identificada en el contrato o acuerdo de explotación, es responsabilidad del productor minero artesanal.

### Límites máximos permisibles

#### a. Emisiones gaseosas

La Resolución Ministerial N.º 315-96-EM/VMM, del 16 de julio de 1996, aprueba los niveles máximos permisibles de los elementos y compuestos presentes en emisiones gaseosas, así como para las partículas y elementos metálicos arrastrados por éstas y provenientes de las unidades minero-metalúrgicas, con la finalidad de controlar las emisiones que son producto de sus actividades y contribuir efectivamente a la protección ambiental.

Esta Resolución Ministerial también establece que las concentraciones de gases y partículas presentes en el ambiente de zonas habitadas y localizadas dentro del área de influencia de la unidad minero-metalúrgica, no deberán superar los niveles de calidad de aire vigentes en el país, por efecto de las emisiones de dicha unidad. En consecuencia, los titulares mineros deberán asegurar que los parámetros no regulados por esta Resolución Ministerial, no excedan los niveles

máximos permisibles establecidos por las disposiciones legales vigentes sobre calidad de aire.

#### b. Efluentes líquidos

La Resolución Ministerial N.º 011-96-EM/VMM, del 10 de enero de 1996, aprueba los niveles máximos permisibles de los elementos contenidos en los efluentes líquidos de la industria minero-metalúrgica, con la finalidad de controlar los vertimientos que son producto de sus actividades y contribuir efectivamente a la protección ambiental.

Esta Resolución Ministerial también establece que los titulares mineros deberán asegurar que las concentraciones de los parámetros no regulados por dicha resolución, tales como cadmio, mercurio, cromo y otros, cumplan con las disposiciones legales vigentes en el país, o demostrar técnicamente ante la autoridad competente que su vertimiento al cuerpo receptor no ocasionará efectos negativos a la salud humana y al ambiente.

### Clasificación de los cursos de agua en el país

El Reglamento de los Títulos I, II y III de la Ley General de Aguas, aprobado por Decreto Supremo N.º 261-69-AP del 12 de diciembre de 1969, en su Artículo 81º establece la clasificación de los cursos de agua del país. Para este propósito se toman en consideración las características físicas, químicas y bacteriológicas de los cursos de agua o tramos de ellos.

### Manejo de sustancias tóxicas/peligrosas

#### a. Resolución Directoral N.º 113-2000-EM/DGM del 27 de julio de 2000

Esta Resolución Directoral dispone que los titulares de la actividad minera presentarán, ante la Dirección General de Minería, los manuales de procedimientos que se deben emplear para el transporte, carga y descarga, almacenamiento, control y manipuleo de cianuro y otras sustancias tóxicas o peligrosas correspondientes a sus procesos minero-metalúrgicos, así como los respectivos planes de contingencia que se emplearán en caso de ocurrencias que puedan poner en riesgo la salud y el medioambiente.

#### b. Resolución Directoral N.º 134-2000-EM/DGM del 25 de agosto de 2000

Mediante esta Resolución Directoral se aprueban los lineamientos para la elaboración de los planes de contingencia que se emplearán en las actividades minero-metalúrgicas relacionadas con la manipulación de cianuro y otras sustancias tóxicas o peligrosas. Entre estos lineamientos se mencionan los siguientes:

a. Misión y política de la empresa referente a contingencias.

- b. Organización del sistema de respuesta a la contingencia.
- c. Elaboración y difusión de cartillas de respuesta-Comité de crisis (responsables)-Definición de áreas críticas-Comunicaciones.
- d. Entrenamiento y simulacros.
- e. Operaciones de respuesta.
- f. Procedimientos de notificación-Identificación de áreas críticas-Procedimiento de respuesta-Actividades de mitigación-Planes de disposición y eliminación.
- g. Evaluación de la contingencia.
- h. Procedimientos para actualización y revisión del plan.

### Evaluación y declaración de impacto ambiental

El objetivo principal de una evaluación de impacto ambiental (EIA) en el sector minero-metalúrgico es identificar, predecir y prevenir las alteraciones ambientales producidas por las actividades extractivas y de transformación primaria, desde la exploración, investigación y explotación minera hasta el procesamiento de las sustancias minerales que se beneficiarán.

La evaluación de impactos debe basarse en los proyectos de explotación, y debe efectuarse en forma simultánea con los de restauración y cierre. Esta forma de proceder es la más lógica y racional, ya que permite mantener coherencia entre todas las labores previstas, incorporando determinadas modificaciones y criterios en las mismas, a fin de conseguir la recuperación de los terrenos en un tiempo más corto y al menor costo, y de esta forma garantizar la viabilidad del proyecto.

El proceso de evaluación debe tener un carácter interactivo con el fin de alcanzar la solución óptima o la alternativa más favorable para armonizar los diferentes objetivos: mineros, ecológicos, metalúrgicos, económicos y socioculturales. Debe considerarse que una acción o proyecto no produce siempre los mismos efectos medioambientales y ello dependerá:

- Del medio receptor.
- Del tipo de yacimiento (minerales y estériles).
- Del método de explotación y el proceso de recuperación metalúrgica que se empleará (productos y residuos).
- Del entorno natural del lugar.

### Identificación de alteraciones ambientales

Al identificar las posibles alteraciones ambientales se puede incorporar a los proyectos minero-metalúrgicos las restricciones de ciertas actuaciones sobre determinados elementos y factores que constituyen el medioambiente, de forma que quede garantizado el funcionamiento integral del ecosistema; es decir, las alteraciones

que se produzcan inexorablemente en los subsistemas ambientales serán detectadas y las que revisten un carácter grave para el medio se atenuarán o corregirán en lo posible.

- a. Los problemas que puedan surgir en el medioambiente durante la implantación y desarrollo de la actividad minero-metalúrgica dependen de las características de estas acciones y del lugar en el que se proyectan.
- b. Para llegar a conocer el origen y la condición de los efectos es conveniente trabajar en forma sistemática eligiendo entre uno o varios métodos, como la confección de listas o tablas (basados en la matriz de Leopold). En estas tablas se reflejan las actividades minero-metalúrgicas que se realizarán y las alteraciones que pueden producir en el medioambiente.

### Mitigación de impacto ambiental

#### a. Aplicación de medidas correctivas

La adopción de medidas preventivas o correctivas de impacto ambiental sirve para eliminar o minimizar los efectos negativos producidos por los proyectos minero-metalúrgicos.

Se debe partir de la premisa que siempre es mejor no producir la alteración que establecer una medida correctiva, porque aparte de suponer un incremento adicional de tiempo y de dinero, en la mayoría de los casos solamente eliminan una parte de la alteración y en otros ni siquiera eso.

Otro aspecto a considerar sobre las medidas correctivas es la escala temporal (oportunidad) de su aplicación, pues es conveniente llevarlas a la práctica lo antes posible a fin de evitar impactos secundarios. Por ejemplo, una escombrera sin revegetar puede erosionarse, producir polvo, contaminar las aguas, etc.

#### b. Cierre y abandono técnico de minas

El plan de cierre y abandono técnico de la operación minero-metalúrgica comprende dos apartados:

- Plan de Abandono y Recuperación/Restauración.

Este plan involucra el área de explotación e instalaciones del proyecto y en él se detallarán todas aquellas labores que se deben realizar para recuperar el área que ha sido alterada y el uso que se dará a los terrenos recuperados (Proyecto de Restauración).

- Programa de Vigilancia (seguimiento) y Control.

Este programa pretende:

- i. Controlar el cumplimiento de todas las medidas correctivas que se hayan adoptado al realizar la evaluación del impacto.

- ii. Instrumentar un plan a mediano plazo, estableciendo controles que detecten las desviaciones de los efectos previstos, o el incumplimiento de las medidas correctivas indicadas en la evaluación.

Se debe tener en cuenta que muchos de los efectos son estimados de manera predictiva y la eficacia de las medidas correctivas propuestas no está probada en todas las situaciones. Por tanto, el programa de vigilancia y control debe funcionar como un sistema abierto con capacidad para modificar, cambiar o adaptar el proyecto a las situaciones que se planteen.

#### c. Rehabilitación de terrenos afectados

La mayor parte de las actividades que desarrolla el hombre son, en mayor o menor medida, agresivas para la naturaleza. La actividad minero-metalúrgica reviste especial interés por cuanto después de proceder con la extracción de los recursos minerales y metales, si no existe una rehabilitación posterior, los terrenos abandonados quedan en una situación de degradación sin posibilidades reales de aprovechamiento.

La sociedad actual es consciente de esta situación y ha comenzado a considerar la explotación de recursos minerales en el marco del ordenamiento del territorio, contemplando las operaciones extractivas como de uso transitorio y no terminal. Por tanto, cree que es necesario reacondicionar (rehabilitar) los terrenos afectados para alcanzar un equilibrio entre el desarrollo económico y la conservación de la naturaleza.

El reacondicionamiento de los terrenos afectados puede abarcar desde la replicación exacta de las condiciones originales, para hablar con rigor de restauración, hasta el intento de conseguir un aprovechamiento nuevo y sustancialmente diferente al que correspondía a la situación primitiva, que es lo que se entiende por rehabilitación o recuperación. Cualquiera sea el camino seguido, se trata de una obligación social cuya viabilidad es a todas luces factible y que, en algunos casos, supone un valor añadido al propio proyecto.

Los trabajos de recuperación son parte de una operación minera e implican gastos que integran los presupuestos de las compañías mineras. La significación o impacto económico de la recuperación es generalmente pequeña, llegando a representar entre el 1 y 2 % del precio de venta del producto.

Todo proyecto minero-metalúrgico debe ir acompañado de un plan de rehabilitación que debe ejecutarse simultáneamente y en forma coordinada con el proyecto de explotación/extracción-beneficio.



#### d. Usos potenciales de terrenos recuperados

Los usos posibles de los terrenos recuperados son diversos y amplios, cambian según la empresa o tipo de explotación/extracción, incluso para zonas diferentes de una misma instalación o propiedad.

Los factores a tener en cuenta antes de tomar una decisión y que reducen el número de posibilidades de uso, hasta llegar a determinar la opción más adecuada, son los siguientes:

- Características de las alteraciones.
- Condicionantes técnicos y económicos de las compañías explotadoras.
- Variantes del entorno social, ecológico y paisajístico.
- Normativa vigente.

Entre las diversas alternativas de utilización de los terrenos recuperados destacan las siguientes:

- Reserva secundaria de minerales u otros productos.
- Agropecuario y forestal.
- Reserva natural y recuperación de hábitat.
- Recreo, investigación y educativo.
- Industrial y urbanístico.
- Vertederos controlados.

Independientemente del uso previsto para los terrenos afectados por las labores mineras y metalúrgicas, en algunos casos cuando las condiciones lo permitan, la revegetación juega un papel importante ya que posibilita:

- Restauración de la producción biológica del suelo.
- Reducción y control de la erosión.
- Estabilización de los terrenos sin consolidar.
- Protección de los recursos hidráulicos.
- Integración paisajista.

#### e. Disposición de residuos en labores mineras

Las labores mineras son consideradas zonas preferentes para ubicar bajo superficie los residuos de las plantas concentradoras. Estas labores pueden ser subterráneas, próximas a yacimientos en explotación, así como minas a cielo abierto abandonadas.

El empleo de residuos mineros para el relleno de labores en minas subterráneas explotadas por métodos que requieran relleno ha logrado reducir los costos de producción porque: se elimina la obtención en superficie del material para relleno; y se envía menor cantidad de residuos de planta a la presa de

relaves, prolongando la vida de estas relaveras y disminuyendo la contaminación del entorno. En todos los casos es preciso efectuar un exhaustivo estudio hidrogeológico para evaluar el impacto ambiental producido por las filtraciones de los efluentes en los acuíferos de la zona.

El aprovechamiento de una mina abandonada como depósito o vertedero controlado de residuos de centrales eléctricas controla y reduce el volumen de almacenamiento de residuos en los embalses, y recupera ambientalmente los terrenos abandonados una vez concluido el ciclo.

#### f. Recuperación y reciclado de residuos

La recuperación y el reciclado de residuos provenientes de plantas metalúrgicas pueden incrementar el valor de los productos y mejorar el aprovechamiento de los recursos naturales, así como reducir el volumen de estériles y residuos contaminantes, pues de otra manera su almacenamiento ocasiona un gasto adicional.

En muchos casos la recuperación o tratamiento de residuos ha dado lugar a la obtención y comercialización de otros productos secundarios. Por ejemplo la recuperación de chatarra, la obtención de metales de equipos en desuso, la elaboración de abono a partir de residuos siderúrgicos y otros, que lejos de representar un gasto para la empresa generan un beneficio económico.

#### g. Auditorias ambientales

Hasta hace poco tiempo era más rentable para las empresas hacer frente a sanciones por contaminar que adoptar medidas medioambientales que implicaban costos importantes. Esto porque no existía una legislación al respecto.

A finales de la década de los ochenta la presión social motivó la promulgación de leyes específicas de protección del medioambiente. Una forma de evaluar el cumplimiento de estas normativas es la realización de una auditoria medioambiental.

Los efectos y repercusiones beneficiosas que puede tener una auditoria medioambiental son las siguientes:

- Permite a la empresa reconocer sus áreas problema e implementar las medidas correctivas, antes que algún organismo medioambiental detecte el incumplimiento de las leyes.
- Aunque toda auditoria implica costos, también permite mejorar la gestión de la empresa y aprovechar mejor sus recursos.

- Las empresas mineras desarrollan actividades de protección del medioambiente porque las normativas lo exigen, pero también porque la protección ambiental representa una ventaja competitiva.
- Las empresas identificadas como respetuosas del entorno y que siguen un código ético medioambiental tienen mejor imagen entre los consumidores, clientes, usuarios y ciudadanos en general.

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### CONCLUSIONES

- La zona sur media del Perú está clasificada como una provincia metalogenética que abarca de Norte (departamento de Ica) a Sur (departamento de Arequipa). Esta ampliación reemplaza a la tradicional franja Nasca-Ocoña.
- Los depósitos en la zona sur media del Perú contienen vetas de cuarzo-oro y están relacionadas a soluciones hidrotermales que provienen de fuentes magmáticas.
- Las características geológicas de los yacimientos filonianos de escasa potencia y alta ley determinan el éxito de la minería artesanal
- El costo de producción de la minería artesanal oscila entre US\$ 140 y 170 por onza de oro que, comparado con el precio internacional y el costo de producción de la minería convencional subterránea (US\$ 175/onza), demuestra que es una alternativa para el alivio de la pobreza en esta región.
- El ingreso promedio de un minero artesanal es de US\$ 200 mensuales y con perforadoras eléctricas se obtienen ingresos bastante más altos.  
La minería artesanal en la zona estudiada proporciona empleo directo a 13.000 mineros, que mantienen a 32.500 personas. En la medida que el desempleo y pobreza continúen, la minería artesanal informal seguirá existiendo.
- Los esfuerzos por ordenar la situación informal son importantes. Luego de la dación de la Ley 27651 (ley de la formalización y promoción de la pequeña minería y la minería artesanal), se observó avances en la legalización. La implementación de la formalización está en proceso y debe continuar.
- La minería a pequeña escala se caracteriza por demandar mucha mano de obra, genera conflictos sociales y legales, tiene bajo desarrollo tecnológico, contribuye al deterioro ambiental y ofrece precarias condiciones de seguridad e higiene. Por otro lado, tiene bajo costo de producción, genera proyectos mayores, explora nuevos yacimientos, dinamiza economías locales, es una alternativa laboral para sectores afectados por la pobreza y tiene amplia distribución geográfica.

- La minería artesanal, con poca inversión y trabajo intenso, explota yacimientos marginales o minas abandonadas donde la minería convencional no es rentable; utiliza tecnologías sencillas, llegando en algunos casos a niveles de mecanización incipiente. Estas características reflejan un gran potencial y de esta manera la actividad minera artesanal contribuye a la generación de empleo, reducción de la pobreza, desarrollo local, obtención de divisas e ingresos fiscales; pudiendo coexistir con la minería convencional como una actividad que podría desarrollarse de manera sostenible, contribuyendo al desarrollo nacional, siendo imprescindible para ello que se formalice.
- Las características de la minería informal a pequeña escala ponen en evidencia que la política estatal ha permitido que los actores de esta actividad se multipliquen al haberse dinamizado áreas donde el Estado no tiene presencia.
- En los yacimientos explotados por pequeños mineros y mineros artesanales, la actividad productiva se caracteriza por desarrollarse de manera individual o en pequeños grupos, desde la extracción hasta el beneficio. Estas condiciones dificultan una explotación sostenible y un control ambiental adecuado.
- Por lo general los mineros artesanales explotan zonas sin tener denuncias mineras ni contratos con los titulares, invadiendo propiedades ajenas y usando explosivos e insumos de dudosa procedencia.
- El carácter espontáneo y temporal de la pequeña minería y minería artesanal ha dado paso a centros poblados desordenados y hacinados, sin servicios básicos ni condiciones de vivienda adecuadas, donde se realizan las operaciones de beneficio en condiciones que afectan la salud de la población.

### RECOMENDACIONES

- El crecimiento de la actividad minera artesanal ha creado algunas tecnologías poco sofisticadas y adecuadas a la realidad. Es necesario crear una tecnología minera con incorporación y combinación de tecnología moderna.

- Promover la investigación para crear una tecnología propia, adecuada a nuestra realidad y dirigida al aprovechamiento racional sin contaminación. Es fundamental que las innovaciones sean de tecnología sencilla con bajo costo.
- Es importante dar capacitación promoviendo la formalización, dando asistencia técnica en salud, seguridad, control ambiental, marco legal y otros.
- Fortalecer y consolidar las experiencias exitosas de algunas ONG en comunidades mineras organizadas y gobiernos locales, en términos de monitoreo y vigilancia ambiental.
- Es recomendable que el proceso de beneficio se realice directamente a través de plantas de cianuración, teniendo un mejor control de las normas ambientales. La legislación actual contempla medidas para vigilar los procesos de cianuración. En este caso bastaría que las Direcciones Regionales de Minería fiscalicen que las plantas cumplan con las normas ambientales. Este sistema es más sencillo que controlar a miles de mineros artesanales con quimbaletes refogando oro.
- Los órganos pertinentes deben intensificar sus programas de formalización de minería artesanal «informal», con la finalidad no solo de ordenar el sistema de concesiones sino también para involucrar a los mineros artesanales en los programas de capacitación.
- Es deseable que los mineros decidan voluntariamente sustituir el uso de quimbaletes por plantas concentradoras. Esto podría llevar a que inviertan en plantas de cianuración directa de mineral (y no de relaves). Una de las principales ventajas para el minero informal de quimbaletes es que puede tener efectivo muy rápido, sin acumular grandes volúmenes de mineral.
- Con la capacitación adecuada los mineros artesanales podrían dedicarse solamente a extraer mineral y ahorrar el esfuerzo y tiempo que representa usar quimbaletes. De hecho esto ya está sucediendo en ciertas áreas de la región.

## BIBLIOGRAFÍA

- BARTASSON, M., FALEIRO, P., MONTEIRO, M., RENNO, C. & CARRUSCA, E. (2001). «Projeto Paracatu. Concepção e resultados preliminares». En: *Memorias de la Jornada internacional sobre el impacto ambiental del mercurio utilizado por la minería aurífera artesanal en Iberoamérica*. Lima, CYTED, GAMA. Disponible en web: <[http://www.gama-peru.org/jornada-hg/bartasson\\_faleiro.pdf](http://www.gama-peru.org/jornada-hg/bartasson_faleiro.pdf)>
- BELLIDO, E. y DE MONTREUIL, L. (1972). Aspectos generales de la metalogenia del Perú. *Servicio de Geología y Minería, Boletín, Serie B: Geología Económica*, 1.
- BUSTILLO, M. y LOPEZ, C. (1997). *Manual de evaluación y diseño de explotaciones mineras*. Madrid, Entorno Gráfico.
- CHACÓN, N., CANCHAYA, S., MORCHE, W. & ARANDA, A. (1996). *Metalogenia como guía para la prospección minera en el Perú*. Lima, INGEMMET.
- CHACÓN, N., GALLOSO, A. y QUISPE, L. (1988). *Informe del Proyecto Chuquibamba*, informe inédito. Lima, INGEMMET, Dirección General de Geología (Informes Técnicos Ingemmet A4293)
- ESPAÑOL, S. (2001). Toxicología del mercurio. Actuaciones preventivas en sanidad laboral y ambiental. En: *Memorias de la Jornada Internacional sobre el impacto ambiental del mercurio utilizado por la minería aurífera artesanal en Iberoamérica*. Lima: CYTED, GAMA. Disponible en web: <<http://www.gama-peru.org/jornada-hg/espanol.pdf>>
- EXSA (2001). *Manual práctico de voladura*. Lima, 3.ra ed.
- GALLOSO, A. y SANCHES, J. (1997). Reconocimiento geológico-minero de la franja aurífera Nasca-Ocoña, informe inédito. Lima: INGEMMET, Dirección de Prospección Minera, Proyecto MAPEM: Minería Artesanal y Pequeña Minería, Sub Proyecto Ica-Arequipa.
- HARTMAN, H.L. ed. (1992). *SME Mining Engineering Handbook, 2° edition vol. 1*. Littleton, CO: Society for Mining Metallurgy and Exploration.
- HRUSCHKA, F. (2001). El Proyecto GAMA, una propuesta integral para la minería artesanal del Perú. En: *Memorias de la Jornada Internacional sobre el impacto ambiental del mercurio utilizado por la minería aurífera artesanal en Iberoamérica*. Lima, CYTED, GAMA. Disponible en web: <<http://www.gama-peru.org/jornada-hg/hruschka.pdf>>
- INSTITUTO GEOGRAFICO NACIONAL (1989). *Atlas del Perú*. Lima: Proyecto Especial Atlas del Perú, Ministerio de Defensa.
- INSTITUTO GEOLÓGICO MINERO Y METALÚRGICO (2000). Estudio de los recursos minerales del Perú, Franja N.° 1. *Boletín, Serie B: Geología Económica*, 8.
- INSTITUTO GEOLÓGICO MINERO Y METALÚRGICO (2002). Estudio de riesgos geológicos del Perú, Franja N.° 2. *Boletín, Serie C: Geodinámica e Ingeniería Geológica*, 27.
- INSTITUTO TECNOLÓGICO GEOMINERO DE ESPAÑA (1997). *Manual de evaluación técnico-económico de proyectos mineros de inversión*. Madrid: ITGE.
- JESSEN, A. (1995). *Subproyecto Promoción Minera Aurífera Artesanal, Zona: Madre de Dios, plan de trabajo y presupuesto analítico*, informe inédito. Lima: Ministerio de Energía y Minas, Programa de Asistencia Técnica al Sector Energía y Minas (Informes Técnicos Ingemmet A5045).
- LATINOMINERÍA (1997). Evaluación del impacto ambiental en la minería (I parte); informe técnico preparado por expertos españoles. *Latinominería* 23): 59-64.
- LATINOMINERÍA (1997). Evaluación del impacto ambiental en la minería (II parte y final); informe técnico preparado por expertos españoles. *Latinominería* 26): 59-70.
- LLANQUE, O., NAVARRO, V., DURANDT, J., COILA, Y., CALDERON, R., TAPIA, H., CUENTAS, M. & CAMAC, E. (1999) *Explotación subterránea: métodos y casos prácticos*. Puno: Universidad Nacional del Altiplano, Instituto de Ingenieros de Minas del Perú.

- LOAIZA, E. y CÁNEPA, C. (2004). *Problemática de la pequeña minería y minería artesanal en la costa sur media del Perú*, informe inédito. Lima: INGEMMET
- LOGSDON, M.J.; HAGELSTEIN, K. y MUDDER, T.I. (2001). *El manejo del cianuro en la extracción de oro*. Ottawa, Ontario: International Council on Metals and the Environment.
- MARTÍNEZ, P. (1996). Yacimientos auríferos relacionados al Batolito de la Costa en la Franja Nasca-Ocoña, Ica y Arequipa. En: *Perú: Segundo Simposium Internacional del Oro*. Lima: Sociedad Nacional de Minería y Petróleo, 1996.
- MEDINA, G. (2001). Mitigación del mercurio en la minería artesanal y pequeña minería aurífera del Perú. En: *Memorias de la Jornada internacional sobre el impacto ambiental del mercurio utilizado por la minería aurífera artesanal en Iberoamérica*. Lima: CYTED, GAMA. Disponible en web: <<http://www.gama-peru.org/jornada-hg/medina.pdf>>
- MENDÍVIL, S. y CASTILLO, W. (1960). Geología del cuadrángulo de Ocoña. *Comisión Carta Geológica Nacional* 3.
- MINING, MINERALS AND SUSTAINABLE DEVELOPMENT (AMERICA DEL SUR) PROJECT (2002). *Minería, minerales y desarrollo sustentable en América del Sur*. CIPMA, IDRC/IIPM.
- MONTEAGUDO, F. (2001). *Evaluación de la contaminación por mercurio en la población de mineros artesanales de oro de la comunidad de Santa Filomena-Ayacucho-Perú durante el periodo agosto-septiembre 2001*. Tesis Químico Farmacéutico. Lima, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Facultad de Farmacia y Bioquímica, Disponible en web: <[http://www.cybertesis.edu.pe/sisbib/2002/monteagudo\\_mf/html/index-frames.html](http://www.cybertesis.edu.pe/sisbib/2002/monteagudo_mf/html/index-frames.html)>
- MONTOYA, M., GARCIA, W. y CALDAS, J. (1994). Geología de los cuadrángulos de Lomitas, Palpa, Nasca y Puquio. *Boletín del INGEMMET, Serie A: Carta Geológica Nacional* 53.
- OLCHAUSKI, E. (1980). Geología de los cuadrángulos de Jaqui, Coracora, Chala y Chaparra. *Boletín del INGEMMET, Serie A: Carta Geológica Nacional* 34.
- OLCHAUSKI, E. y DAVILA, D. (1994). Geología de los cuadrángulos de Chuquibamba y Cotahuasi. *Boletín del INGEMMET, Serie A: Carta Geológica Nacional* 50.
- ORGANIZACIÓN INTERNACIONAL DEL TRABAJO (2002). *Condiciones de trabajo, seguridad y salud ocupacional en minería del Perú*. Lima: OIT.
- PANTOJA, F. y CORONADO, J. (2001). Tecnologías apropiadas para disminuir la contaminación ocasionada por mercurio en la minería del oro. En: *Memorias de la Jornada internacional sobre el impacto ambiental del mercurio utilizado por la minería aurífera artesanal en Iberoamérica*. Lima: CYTED, GAMA. Disponible en web: <<http://www.gama-peru.org/jornada-hg/pantoja.pdf>>
- PECHO, V. (1983). Geología de los cuadrángulos de Pausa y Caravelí. *Boletín del INGEMMET, Serie A: Carta Geológica Nacional* 37.
- PÉREZ, C. y VILLACHICA, C. (2003). Beneficio económico de minerales auríferos. *Boletín del INGEMMET, Serie G: Metalurgia*, 6.
- PÉREZ, C., CASTRO, C. y LOAIZA, E. (2003). *Reconocimiento de las actividades mineras y metalúrgicas en la Franja Nasca-Ocoña-Arequipa; informe de visita técnica de campo*. Lima: INGEMMET.
- PONZONI, E. (1980). Metalogenia del Perú. *Boletín del INGEMMET, Serie B: Geología Económica*, 4
- ROQUE, D. (1997). Experiencias prácticas en el control de emisiones de mercurio en la pequeña minería aurífera boliviana. En: Simposio Nacional de Medio Ambiente y Seguridad Minera, 1, *Trabajos técnicos*, t. 3, p. 187-194. Lima: Colegio de Ingenieros del Perú
- VARGAS, A. (1978). *Estudio geológico minero de la faja aurífera Nazca-Ocoña*, informe inédito. Lima: Instituto de Geología y Minería (Informes Técnicos Ingemmet A3849).
- VARGAS, J. (1998). Oro, pequeña minería y desarrollo humano. *Minería* 252: 10-13.
- VASTERS, J. (2001). Los avances de ECOMIN: Programa de manejo ambiental en la pequeña y mediana minería. En: *Memorias de la Jornada internacional sobre el impacto ambiental del mercurio utilizado por la minería aurífera artesanal en Iberoamérica*. Lima: CYTED, GAMA. Disponible en web: <<http://www.gama-peru.org/jornada-hg/vasters.pdf>>
- VILCAPOMA, O. (1992). Explotación de filones auríferos de poco buzamiento. En: Simposio Nacional de Minería Aurífera, 2, Cerro de Pasco, *Trabajos técnicos*, p. 93-103. Cerro de Pasco: Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión, Facultad de Ingeniería.

- WILLS, B.A. (1987). *Tecnología de procesamiento de minerales*. México, D.F.: LIMUSA.
- WOTRUBA, H. y HRUSCHKA, F (1998). *Manejo ambiental en la pequeña minería: aspectos y estrategias generales; medidas técnicas para reducir la contaminación tomando como ejemplo el uso del mercurio en la pequeña minería aurífera*. La Paz: MEDMIN, Agencia Suiza para el Desarrollo y Cooperación (COSUDE).
- WOTRUBA, H y VASTERS, J (2002). *Estudio para mejorar el proceso de quimbaleteo minimizando las pérdidas altas de mercurio*. Proyecto GAMA, Lima. Disponible en web:
- WOTRUBA, H y VASTERS, J (2002). *Estudio para mejorar el proceso de quimbaleteo minimizando las pérdidas altas de mercurio*. Proyecto GAMA, Lima. Disponible en web: <http://geco.mineroartesanal.com/tiki-index.php?page=Mejoras+del+proceso+de+amalgamacion+en+el+quimbalete&bl> (consulta: 15 marzo 2004).
- ZÁRATE, H. y GALLOSO, A. (1988). *Estudio geológico-minero de la franja aurífera Nazca-Ocoña*, informe inédito. Lima: INGEMMET, Dirección General de Geología (Informes Técnicos Ingemmet A385.3

