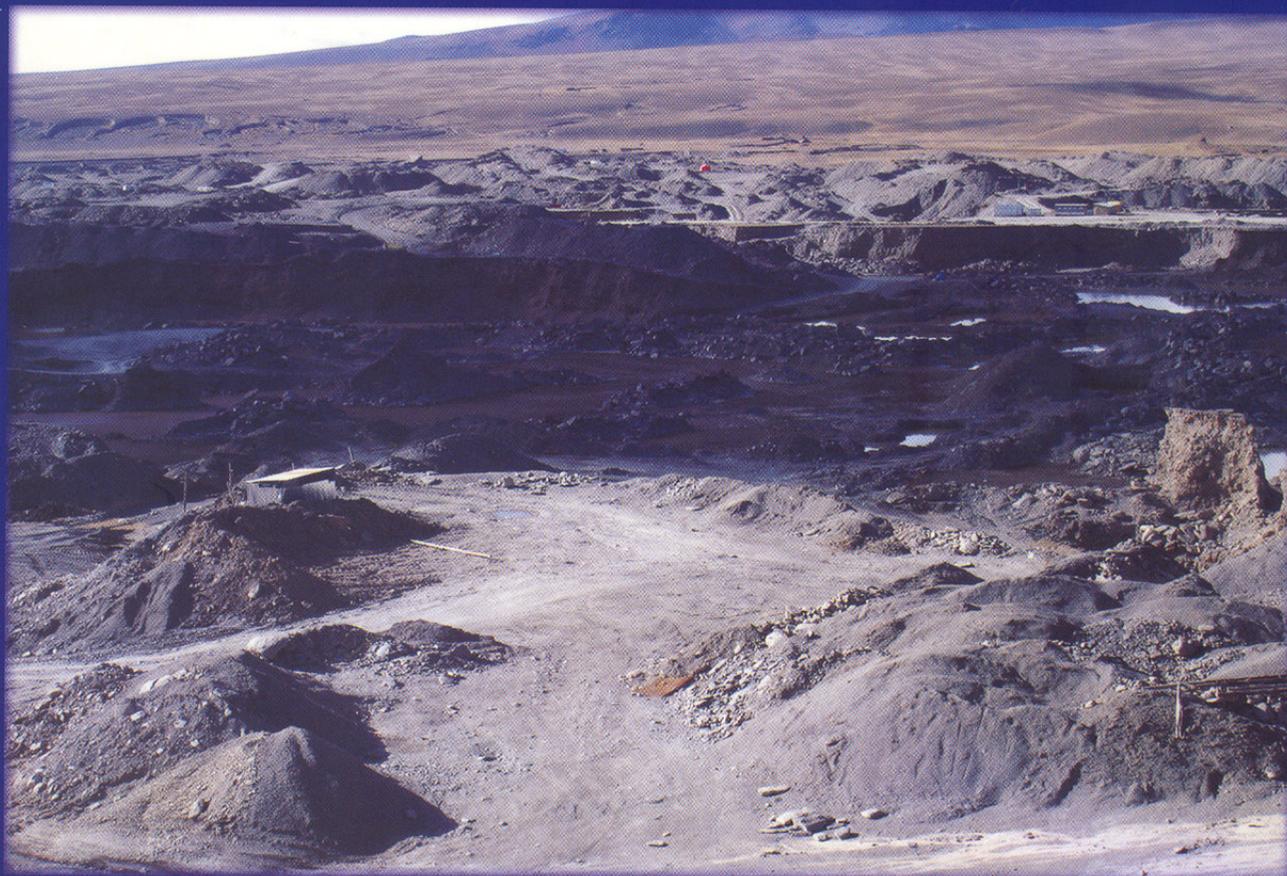


Implicancias Ambientales por la Actividad Minera de la Zona de Ananea en la Cuenca del Río Ramis

Boletín N° 5 Serie E
Minería



Edwin Loaiza Choque

Por:

Armando Galloso Carrasco



Dirección de Recursos Minerales y
Energéticos

Institución Geocientífica al Servicio del País

Lima-Perú
2008

Implicancias Ambientales por la Actividad Minera de la Zona de Ananea en la Cuenca del Río Ramis

Boletín N° 5 Serie E

Minería



Edwin Loaiza Choque

Por:

Armando Galloso Carrasco



Dirección de Recursos Minerales y
Energéticos

Institución Geocientífica al Servicio del País

Lima-Perú
2008

MINERÍA
N° 5, Serie E, 2008.

Hecho el Depósito Legal N° 2008-06770
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: César Egocheaga
Revisión científica: Miguel Páez
Corrección gramatical y de estilo: Glenda Escajadillo
Diagramación: Zoila Solis

Referencia bibliográfica

Loaiza, E.; Galloso, A.
Implicancias Ambientales por la Actividad Minera de la Zona de
Ananea en la Cuenca del Río Ramis.
INGEMMET, Serie E. Minería, N° 5, 110p.,
12 mapas escala 1:250 000

Portada: Vista panorámica de operaciones mineras en la zona de
Ananea.

RELACIÓN DE MAPAS E ILUSTRACIONES

Mapa escala 1:250 000

Mapa N° 1	Mapa de Ubicación. Esc. 1:10 000 000.
Mapa N° 2	Mapa Geomorfológico de los Sectores de Putina y La Rinconada. Esc. gráfica.
Mapa N° 3	Mapa Geológico con Muestreo de Aguas y Sedimentos.
Mapa N° 4	Imagen Satelital Landsat TM Bandas 7,4,2 (RGB).
Mapa N° 5	Mapa de Muestreo de Terrazas por Zinc.
Mapa N° 6	Mapa de Muestreo de Aguas por Arsénico.
Mapa N° 7	Mapa de Muestreo de Aguas por Cromo.
Mapa N° 8	Mapa de Muestreo de Aguas por Mercurio.
Mapa N° 9	Mapa de Muestreo de Aguas por Plomo.
Mapa N° 10	Mapa de Muestreo de Sedimentos por Arsénico.
Mapa N° 11	Mapa de Muestreo de Sedimentos por Cobre.
Mapa N° 12	Mapa de Muestreo de Sedimentos por Cromo.
Mapa N° 13	Mapa de Muestreo de Sedimentos por Níquel.
Mapa N° 14	Mapa de Muestreo de Sedimentos por Mercurio.

Figuras

Fig. 7.1	Distribución del muestreo de acuerdo a cota ascendente.
Fig. 7.2	pH en aguas de puntos de muestreo.
Fig. 7.3	Conductividad eléctrica en aguas.
Fig. 7.4	TDS en aguas de la cuenca del Ramis.
Fig. 7.5	As en aguas de la cuenca del Ramis.
Fig. 7.6	As en aguas de la cuenca del Ramis (Ln As).
Fig. 7.7	As en aguas de la cuenca del Ramis.
Fig. 7.8	Cu en aguas de la cuenca del Ramis.
Fig. 7.9	Zn en aguas de la cuenca del Ramis.
Fig. 7.10	Cd en aguas de la cuenca del Ramis.
Fig. 7.11	Cd en aguas de la cuenca del Ramis en escala logarítmica.
Fig. 7.12	Cr en aguas de la cuenca del Ramis.
Fig. 7.13	Cr en aguas de la cuenca del Ramis en escala logarítmica.
Fig. 7.14	Pb en aguas de la cuenca del Ramis.
Fig. 7.15	Pb en aguas de la cuenca del Ramis (Ln Pb).

Fig. 7.16	Hg en aguas de la cuenca del Ramis.
Fig. 7.17	Hg en aguas de la cuenca del Ramis en escala logarítmica (Ln Hg).
Fig. 7.18	Mn en aguas de la cuenca del Ramis.
Fig. 7.19	Mn en aguas de la cuenca del Ramis en escala logarítmica (Ln Mn).
Fig. 7.20	Cu en aguas.
Fig. 7.21	Pb en aguas.
Fig. 7.22	Zn en aguas.
Fig. 7.23	Cd en aguas.
Fig. 7.24	Cr en aguas.
Fig. 7.25	As en aguas.
Fig. 7.26	Hg en aguas.
Fig. 7.27	Fe en aguas.
Fig. 7.28	Cu en sedimentos en la cuenca del Ramis.
Fig. 7.29	Pb en Sedimentos en la cuenca del Ramis.
Fig. 7.30	Zn en sedimentos en la cuenca del Ramis.
Fig. 7.31	Cd en sedimentos en la cuenca del Ramis.
Fig. 7.32	As en sedimentos en la cuenca del Ramis comparado con la tabla holandesa.
Fig. 7.33	As en sedimentos en la cuenca del Ramis comparado con la tabla sueca.
Fig. 7.34	Hg en sedimentos en la cuenca del Ramis.
Fig. 7.35	Hg en sedimentos en la cuenca del Ramis en escala logarítmica.
Fig. 7.36	Cr en sedimentos en la cuenca del Ramis.
Fig. 7.37	Ni en sedimentos en la cuenca del Ramis.
Fig. 7.38	Distribución de elementos en terrazas (1).
Fig. 7.39	Distribución de elementos en terrazas (2).
Fig. 7.40	Distribución de elementos en terrazas (3).
Fig. 7.41	Distribución media de elementos en terrazas.

Cuadros

Cuadro 1.1	Granulometría promedio de la morrena Vizcachani.
Cuadro 4.1	Resumen de reservas geológicas de grava aurífera cubicada en el área de Ananea por zonas.
Cuadro 4.2	Concesiones mineras del Proyecto San Antonio de Poto.
Cuadro 5.1	Parámetros de operación de los equipos mineros.
Cuadro 5.2	Resultados de las operaciones diarias del módulo cargador-volquete.
Cuadro 6.1	Ubicación de las estaciones de muestreo de aguas.
Cuadro 6.2	Ubicación de las estaciones de muestreo de sedimentos.
Cuadro 7.1	Límites de detección de método para la determinación de elementos en aguas (absorción atómica-flama).
Cuadro 7.2	Límites de calidad de aguas para consumo y estándares de la Ley General de Aguas del Perú (D.L. 17752) y parámetros internacionales.

Cuadro 7.3	Límite máximo permisible en sedimentos según la tabla de Suecia.
Cuadro 7.4	Límite máximo permisible en sedimentos según la tabla holandesa.
Cuadro 7.5	Límites de detección para la determinación de elementos en sedimentos.
Cuadro 7.6	Parámetros físicos de aguas en muestreo sistemático.
Cuadro 7.7	Clasificación de aguas para riego según su CE.
Cuadro 7.8	Estándares para la medición de TDS para irrigación y ganado.
Cuadro 7.9	Concentración de arsénico en sedimentos. Muestreo en terrazas.
Cuadro 7.10	Resultado de muestras de terrazas.
Cuadro 7.11	Distribución media de elementos en terrazas.
Cuadro 8.1	Contenidos de cobre en cada fracción ($\mu\text{g/g}$) y contenidos totales espesados como suma de fracciones.
Cuadro 8.2	Contenidos de plomo en cada fracción ($\mu\text{g/g}$) y contenidos totales espesados como suma de fracciones.
Cuadro 8.3	Contenidos de Zinc en cada fracción ($\mu\text{g/g}$) y contenidos totales espesados como suma de fracciones.
Cuadro 8.4	Contenidos de cadmio en cada fracción ($\mu\text{g/g}$) y contenidos totales espesados como suma de fracciones.
Cuadro 8.5	Contenidos de cromo en cada fracción ($\mu\text{g/g}$) y contenidos totales espesados como suma de fracciones.
Cuadro 8.6	Contenidos de níquel en cada fracción ($\mu\text{g/g}$) y contenidos totales espesados como suma de fracciones.
Cuadro 8.7	Contenidos de aluminio en cada fracción ($\mu\text{g/g}$) y contenidos totales espesados como suma de fracciones.
Cuadro 8.8	Contenidos de arsénico en cada fracción ($\mu\text{g/g}$) y contenidos totales espesados como suma de fracciones.
Cuadro 8.9	Orden de seguimiento del contenido de metales pesados en las fases químicas
Cuadro 8.10	Contenido mineralógico de muestras de materia en suspensión

Contenido

RESUMEN	1
INTRODUCCIÓN	3
CAPÍTULO I	5
ASPECTOS GENERALES	5
CAPÍTULO II	9
GEOLOGÍA REGIONAL	9
CAPÍTULO III	13
GEOLOGÍA LOCAL DEL SECTOR DE ANANEA	13
CAPÍTULO IV	21
ESTUDIO DE LAS AGUAS Y SEDIMENTOS DEL RÍO RAMIS, AFLUENTE DEL LAGO TITICACA, EN EL CONTEXTO DE LA MINERÍA ARTESANAL	21
CAPÍTULO V	25
OPERACIONES MINERAS	25
CAPÍTULO VI	27
CALIDAD DE AGUA SUPERFICIAL Y SEDIMENTOS	27
CAPÍTULO VII	31
PROCEDIMIENTO DE LABORATORIO Y ANÁLISIS DE	31
LOS RESULTADOS	31
CAPÍTULO VIII	51
ANÁLISIS QUÍMICO POR EL MÉTODO DE ESPECIACIÓN SECUENCIAL PARA METALES EN SEDIMENTOS	51
OBSERVACIONES, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	63
BIBLIOGRÁFICAS	67

RESUMEN

Los yacimientos auríferos del área de Ananea se encuentran dentro de la cordillera Oriental y la precordillera de Carabaya. Esta zona se localiza en el distrito de Ananea, provincia de San Antonio de Putina y departamento de Puno, a 4 600 msnm, dentro de una unidad morfoestructural denominada depresión de Crucero-Ananea.

Los yacimientos están enmarcados en sedimentos pleistocenos y recientes, de origen glacial y fluvioglacial, que contienen oro nativo libre con una pureza de 900 a 925/1 000.

Las morrenas están constituidas por un aglomerado consolidado formado por bloques, gravas, arenas y arcilla. El oro presente en el aglomerado está distribuido aleatoriamente; su forma es irregular, moderadamente achatada y su granulometría varía de 0,1 mm a 2 cm.

Desde una perspectiva geológica más amplia en el tiempo, las precipitaciones que ocurren en esta zona de altura (nieve, glaciares, fluvioglaciales y lluvias) tienen gran capacidad de arrastre del material morrénico y pueden tener efecto catastrófico en la remoción de los estratos mineralizados.

Existen aproximadamente 2 500 operadores artesanales que realizan labores de explotación minera en Ananea, y llegan a movilizar hasta 45.000 m³/día de material morrénico aurífero, actividad que es responsable de la concentración de metales tóxicos en el medioambiente.

Los problemas de contaminación en la cuenca hidrográfica del río Ramis se derivan principalmente de la remoción de minerales contaminantes como As, Hg, Cu, Pb, Zn, Co y otros desde las zonas de alteración y explotaciones mineras de gran altitud, como los sectores de Ananea y La Rinconada.

Las áreas que son explotadas por los mineros artesanales se encuentran dentro de las antiguas concesiones de Minero Perú (Proyecto San Antonio de Poto), en la zona de Pampa Blanca y Vizcachani, que en total suman 7 120 ha con reservas de 89,38 MM m³, ley 0,33 g/m³ y profundidad hasta de 30 m, mientras que en la zona de Chaquiminas suman 2 000 ha, con reservas de 14,68 MM m³, ley 0,31 g/m³ y profundidad de 15 m. Todas las zonas representan un total de 9120 ha. (FRNU, 1990).

Los trabajos de minado y transporte se llevan a cabo con el apoyo de módulos conformados por cargadores frontales, camiones volquete y excavadoras, mientras que el beneficio del material aurífero se realiza mediante «chutes» instalados cerca del área de minado, complementado con un sistema de canaletas con mantas y «riflería».

Luego del lavado se obtiene grava de clastos mayores de ¼ de pulgada, acondicionados en forma de pilas con alturas hasta de 10 m, acomodados en cachas, mientras que los sedimentos finos menores de ¼ de pulgada constituyen los relaves y son transportados como sólidos en suspensión directamente al curso de los ríos que conformarán el río Grande y luego el río Ramis.

Entre los meses de marzo y abril de 2006 se realizó un muestreo sistemático de todo el recorrido del río más importante de la cuenca del Ramis —siguiendo los procedimientos para muestreo de prospección geoquímica de aguas superficiales— y se tomaron 40 muestras de sedimentos y 45 de aguas superficiales.

Los análisis fueron realizados en los laboratorios del INGEMMET y permitieron determinar los elementos y sus niveles de concentración de metales tóxicos.

El método de elección de las zonas explotables fue el muestreo por selección de valores económicos de oro, de tal forma que las áreas con bajos tenores fueron descartadas y se delimitaron las áreas de interés económico, que pueden observarse en la imagen de satélite adjunta.

En época de estiaje (mes de junio), y luego de la paralización durante un mes de las operaciones de explotación minera en la zona, se recolectaron 5 muestras de control de aguas en la cuenca del río Ramis. Los resultados de estas muestras fueron muy distintos a aquellos obtenidos en época de lluvias.

También se realizó un estudio de especiación secuencial o fraccionación geoquímica, que proporciona información respecto a la biodisponibilidad de los metales en el ambiente. La técnica de especiación secuencial ofrece información sobre el comportamiento y movilidad de los metales pesados en los sistemas acuáticos, y así se puede realizar una oportuna intervención.

A lo largo del río, los metales Cu, Pb, Zn, Cr, Ni, Al y As presentan una proporción mayor de su contenido total en la fase residual (origen litogénico). En cambio, el Cd se halla en las fases de origen antropogénico (f-1, f-2, f-3) a lo largo de todo el sistema acuático.

La evidencia de los resultados de microscopía para determinar la mineralogía, en muestras de materia en suspensión, revela que la mayoría de testigos superan el 99% en ganga, y se encuentran trazas de esfalerita, oropimente, rejalgar, pirita, calcopirita, arsenopirita, óxidos de hierro de diversas formas, e incluso oro nativo, distribuido en menos del 1%.

El estudio de difracción de rayos X ayuda a determinar la composición de los minerales que contienen las muestras de materia en suspensión, y se concluye que la mayor dispersión de metales pesados y arcillas ocurre en temporadas de trabajos de minería en la parte alta de la cuenca (zona de Ananea), y que la mayor fuente de contaminación se encuentra en los sólidos en suspensión.

No obstante, la distribución de metales pesados no alcanza los límites máximos permitidos, pero es conveniente considerarlos puesto que son bioacumulables y se encuentran en directa relación con el grado de movimiento de material morrénico de la parte alta y el grado de concentración de todo material contaminante.

INTRODUCCIÓN

La aparición y el explosivo crecimiento de la minería en pequeña escala son algunas de las expresiones menos conocidas del desplazamiento social ocurrido en nuestro país. Esta respuesta autogestionaria a la necesidad de supervivencia ha tenido un efecto adicional importante al actuar como catalizador de los problemas sociales y ambientales, y propiciar conflictos locales.

La influencia económica de la minería en el contexto de la macrorregión sur del país se ha convertido en un punto álgido puesto que resulta evidente la contaminación de las aguas del río Ramis que desembocan en el lago Titicaca.

Los reportes más recientes indican que en la zona de Ananea existen aproximadamente 2 500 operadores mineros que movilizan cada día 45 000 m³ de material morrénico, mientras que los niveles de producción de oro superan las estimaciones conservadoras que regían hasta la fecha.

La zona baja del flanco occidental del río Ramis se caracterizaba por ser una cuenca ganadera pero la producción pecuaria se ha visto muy disminuida; probablemente ello se deba a los posibles impactos negativos en el ambiente, generados por la remoción de material aurífero en las antiguas concesiones de Minero Perú, ubicadas en la zona de Ananea y conocidas como San Antonio de Poto. Este tema adquiere destacada importancia porque se están poniendo en práctica las recomendaciones incluidas en el informe final de la Comisión Especial conformada por D.S. N.º 028-2005-EM, que fue presentado en el mes de diciembre pasado.

Distintos factores coyunturales, a nivel local, nacional e internacional, y de orden político y social, han propiciado las

condiciones para una explosiva aparición de nuevos operadores mineros, lo que ha dado como resultado la renuncia del Estado a sus derechos sobre las concesiones que hasta entonces administraba.

La investigación sobre las implicancias ambientales de la actividad minera de la zona de Ananea para la cuenca del río Ramis forma parte del Proyecto GE-7 Asistencia técnica a la minería de pequeña escala en la zona norte de la Región Puno. Se ha previsto desarrollar el monitoreo de la zona más crítica para la contaminación ambiental y el informe servirá como fuente de información para la evaluación del impacto en la zona de estudio.

Asimismo se desarrollaron talleres en los cuales se intercambiaron conocimientos sobre tecnologías para la gestión ambiental, con otras entidades como el Gobierno Regional de Puno y el Proyecto Especial Binacional Lago Titicaca. En estas reuniones surgió la posibilidad de establecer convenios de gestión interinstitucional y la Universidad Nacional del Altiplano expresó su interés en ampliar su ámbito de intervención como agente de desarrollo tecnológico y organizacional.

Para entender adecuadamente las evidencias de contaminación no basta con realizar campañas de muestreos sistemáticos para su estudio geoquímico; es necesario considerar una serie de factores ambientales que a la larga influyen en una posible contaminación puesto que en muchos casos se trata de metales bioacumulables. Además se considera de manera bastante amplia el ambiente geológico y por supuesto el tipo de yacimiento, considerando su origen primario y secundario (placer aurífero), así como la metodología de explotación.

CAPÍTULO I

ASPECTOS GENERALES

UBICACIÓN Y EXTENSIÓN

El área de estudio comprende la cuenca del río Ramis, está situada en el departamento de Puno, al norte del lago Titicaca, y comprende las provincias de Juliaca, Lampa, Huancané, Moho, Azángaro, Sandía, Macusani y San Antonio de Putina, y los distritos de Calapuja, Taraco, Arapa, Huatasani, Cojata, Pucará, Putina, Namaniri, Ananea, San Antón, Crucero, Antauta, Ajoyani, Limbani, Phara, San Juan del Oro y Massiapo.

Asimismo, está delimitada por las coordenadas 69° 00' 00" a 70° 30' 00" longitud oeste y 14° 00' 00" a 15° 30' 00" latitud sur.

DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DEL ESTUDIO

Comprende la cuenca alta del río Carabaya, afluente del Ramis. En esa zona toma el nombre de río Grande, que recibe los deshielos del nevado Ananea y los reboses de las lagunas Rinconada, Sillacunca, Huicha y Chullpacocha. Pertenece a las provincias de Sandía y Carabaya del departamento de Puno. El río Ramis es el principal afluente del lago Titicaca y aporta cerca del 40% de la escorrentía que ingresa a éste (MINEM 1998).

Esta cuenca limita por el norte con la del río Inambari, cuyos afluentes son los ríos Limbani, Patambuco, Sandía y Huari Huari.

La zona de estudio está ubicada en la unidad morfoestructural Cordillera Oriental. En el área del proyecto, esta unidad se manifiesta en cuatro subunidades denominadas (de oeste a este) Precordillera de Carabaya, Depresión longitudinal de Crucero-Ananea-Cojata, Cadena de nevados y Vertiente Amazónica (Laubacher 1978).

La producción agrícola es típica del altiplano y disminuye desde 3 812 hasta 4 000 msnm; entre los principales cultivos destacan la cebada, ciertas especies de papa, quinua, oca, maíz duro, avena, cebada de forraje y pastos cultivados, entre otros. Las zonas que comprenden el recorrido del río Crucero y Azángaro son las más productivas: desde pastos naturales para alimentar a los camélidos y ovinos, hasta alfalfa y otros tipos de pastos cultivados para la alimentación de los abundantes vacunos, además de los productos de panllevar. En general, la zona norte del departamento de Puno es territorio reconocido por el intensivo uso agropecuario, llegando en algunos casos a niveles de sobrepastoreo, lo que involucra la degradación de los suelos (Zavala 2006).

ACCESO

Se accede al área de estudio desde la ciudad de Juliaca, siguiendo una de tres carreteras:

- Juliaca-Huancané-Moho-Vilquechico-Cojata-Trapiche-Ananea, en un recorrido aproximado de 150 km.
- Juliaca-Huancané-Putina-Ananea, que representan 143 km.
- Juliaca-Arapa-Azángaro-Muñani-Putina-Ananea, recorrido de 220 km.

La geografía altiplánica ha permitido la construcción de carreteras carrozables que están vinculadas a todas las rutas principales, y permiten acceder a diferentes localidades y caseríos. Sin embargo, a los lugares más alejados o de relieve muy accidentado, solamente se puede llegar siguiendo caminos de herradura y generalmente a pie.

CLIMA

La zona de estudio comprende tres tipos de clima:

a. Clima frío

Corresponde a las zonas de Putina, Toco – Toco y Trapiche. El período seco va de abril a noviembre y se caracteriza con un clima frío, principalmente por la noche, con descensos de temperatura muy fuertes que llegan hasta -10 °C y favorecen las heladas. En contraste, los días son soleados y tibios, aunque los vientos provenientes del sur son intensos.

Los meses de diciembre a marzo se caracterizan por fuertes precipitaciones pluviales, acompañadas de tempestades, nevadas y granizos, con temperatura media de 3 a 12 °C.

b. Clima frío glacial

Este clima corresponde a las zonas más altas, con presencia de nieves perpetuas, propia de las regiones de altas cumbres. Hay glaciares perpetuos y derretimiento parcial de nieve.

Las temperaturas son muy bajas, principalmente en invierno. Entre los meses de abril y noviembre el clima es seco, pero de diciembre a marzo es lluvioso, con precipitaciones fuertes.

El pueblo minero de La Rinconada y Ananea, son representativos para este clima.

c. Clima templado

Corresponde a la zona circundante del lago Titicaca, donde el clima es seco y frío entre los meses de abril a setiembre, muy lluviosa entre los meses de diciembre a marzo, pero bastante templado, alcanzando temperaturas de 12 a 20°C en el día y durante la noche alcanza los cero grados centígrados, pero no es frecuente en esta temporada, temperaturas bajo cero. Así mismo en el flanco Este de la Cordillera oriental, con valles profundos y en forma de V, presenta clima seco, entre abril y noviembre, y lluvioso entre diciembre y marzo, con precipitaciones muy fuertes, siendo su temperatura promedio de 8 °y 15 °C.

VEGETACIÓN

La mayor parte del área se encuentra por encima de 3 800 msnm y por ello crece solamente el ichu y algunas plantas de tallo corto, así como pastos naturales, musgos y líquenes. Durante la época de lluvias se aprovechan las depresiones y faldas de los cerros para cultivar papas, cañihua, quinua, avena y arbustos como tola, que se encuentran muy dispersos y se concentran principalmente en las partes bajas. Las gramíneas se desarrollan solamente en lugares con agua permanente, como los bofedales.

El clima que caracteriza al sector que alcanza los 4 000 m hace improductiva la agricultura intensiva.

HIDROGRAFÍA

El Ramis es el río más importante de los que desembocan en el Titicaca puesto que representa casi la cuarta parte de su cuenca (26%), extendiéndose desde 5828 m (nevado Ananea) hasta 3 815 msnm.

La crecida del Ramis depende de las precipitaciones que generalmente ocurren de diciembre hasta abril, y mantiene un caudal regular el resto del año gracias a los deshielos e infiltraciones de los nevados Ananea y Ccorhuani. Algunas filtraciones provienen del flanco occidental del cerro San Francisco, donde se desarrolla la minería subterránea. Estas filtraciones son evacuadas al riachuelo Lunar, atraviesan el bofedal de Pampa Molino y desembocan en la laguna Rinconada.

El caudal es del orden de 12 000 m³/día, equivalente a 140 l/s, y desagua principalmente en el río Inambari, hacia Chapuiminas. Sin embargo, se incrementa al unirse con otros cursos provenientes de filtraciones y lagunas al pie de los cerros Huincho y Suchuta, dando origen al río Grande.

El desarrollo de la actividad minera ha contribuido a la variación del curso de los ríos, generando bifurcaciones en varios ramales

que al final desembocan en el río Grande, que discurre con dirección sureste a noroeste. Cerca del distrito de Crucero, su nombre cambia (río Crucero) y recibe los aportes de algunos ríos, entre los que destaca el Cullco, mientras que algunas quebradas desaguan en lagunas como Aricoma (margen derecha). Posteriormente discurre en dirección este-oeste hasta su confluencia con el río Antauta y luego gira con dirección norte-sur hasta su confluencia con el río Grande en el sector de Ñaupapampa, donde toma el nombre de río Azángaro. Entre Crucero y Ñaupapampa recibe importantes aportes de los ríos Añucaya, Ajoyani, Antauta y Condorire (margen derecha) y los ríos Pacobamba (Potoni), Cangallemayo, quebrada Misacollo y río Pinayamayo (margen izquierda).

El represamiento Sillacunca, que almacena los aportes de la planicie de Pampa Blanca, constituye otra de las fuentes principales de suministro de agua. Está ubicado muy cerca del área de un antiguo sistema de dragado y aguas abajo. Su coronación se encuentra en la cota 4799,50 msnm y el nivel del cauce en la cota 4791 msnm. La capacidad de almacenamiento es de 7 500 000 m³ en la cota 4 798,0 msnm, considerando un borde libre de 1,50 m (MINEM 2005).

GEOMORFOLOGÍA

Se han determinado cuatro unidades:

a. Precordillera Carabaya

Está comprendida entre el sinclinorio de Putina, al sur, y los nevados de la cordillera de Ananea al norte, con una altitud de 4500 a 5000 msnm.

b. Depresión Ananea

Comprende un área estrecha que es paralela a la unidad anterior y está rellena por depósitos volcánicos, lacustres, conos glaciares y fluvio-glaciares, provenientes de los nevados de Ananea. Alcanza altitudes de 4 200 a 4 800 m y su red drena al lago Titicaca.

c. Cordillera Carabaya

Comprende grandes cumbres nevadas que sobrepasan los 6 000 msnm; como consecuencia de la regresión glacial, la nieve ha llegado hasta 4 200 m de altitud. Este fenómeno ha dado lugar a gran parte del oro existente en la depresión Ananea y en los valles de la vertiente Amazónica.

d. Vertiente Amazónica

Su topografía es abrupta pues en pocos kilómetros se observan alturas que varían desde 2 000 o 3 000 hasta 6 000 msnm, por esta razón los ríos se encañonan y tienen fuerte pendiente. Los conos morrénicos provenientes de la cordillera Ananea han sido borrados por la erosión regresiva de los ríos, y se han formado

numerosas terrazas con material fluvial, que son los contenedores del oro que se encuentra en la zona.

DEPÓSITOS AURÍFEROS EN MORRENAS GLACIARES

Los depósitos glaciares, tal como han sido descritos por Kihien (1985), consisten en morrenas originadas en la cordillera Oriental; su mineralización aurífera presenta granos de oro nativo libre. En las arenas pesadas resultantes de la concentración gravimétrica, se encuentran presentes la magnetita, la hematina y la casiterita como constituyentes abundantes, y como minerales accesorios se ha encontrado cuarzo, pirita, arsenopirita, wolframita, marcasita, circón y berilio. Un análisis mineralógico-químico de una muestra

de concentrado de planta, realizado por el Fondo Rotatorio de la Naciones Unidas (1983), puso en evidencia la presencia de casiterita, wolframita y schelita. Además, se logró identificar ilmenita, hematita, circón y anatasa.

Los depósitos glaciares están conformados por detritus de fragmentos de roca subredondeada, arena y arcilla altamente compactada. La densidad promedio in situ es de 2,25 t/m³; la humedad bajo condiciones normales varía de 10 a 15% y los factores de esponjamiento muestran un amplio margen de variación: 45% para material suelto y 15% para material compacto.

La granulometría del material se muestra en el Cuadro 1.1. Los muestreos geológicos indican tenores en oro de 0,13 a 0,48 g/m³.

Cuadro 1.1
Granulometría promedio de la morrena Vizcachani

Tamaño	+ 6"	- 6"	- 4"	- 1.1/2"	Arena fina, arcilla
Porcentaje	5%	4%	27%	31%	33%

CAPÍTULO II

GEOLOGÍA REGIONAL

ESTRATIGRAFÍA

En los cuadrángulos de Putina y La Rinconada afloran rocas cuyas edades van desde el Ordovícico superior hasta el Cuaternario. Dentro de esta sucesión de rocas se pueden distinguir las siguientes unidades: el Paleozoico inferior, compuesto por una secuencia lutítico-arenosa; el Paleozoico superior, compuesto por areniscas, lutitas y carbonatos; el Cretáceo, compuesto por conglomerados, areniscas, lutitas y, en menor proporción, carbonatos; el Neógeno, representado por areniscas, lutitas y derrames de ignimbritas; y el Cuaternario, compuesto de conglomerados, areniscas y lodolitas. La actividad magmática está representada por intrusivos leucograníticos, probablemente emplazados en el límite Permiano-Triásico.

Paleozoico inferior

a. Formación Sandia

La unidad litoestratigráfica más antigua del Paleozoico en los cuadrángulos de Putina y La Rinconada es la formación Sandia (Ordoviciano medio). Fue definida inicialmente por Laubacher (1978) en el valle del mismo nombre, con un espesor aproximado de 3 000 m y constituida por una secuencia detrítica de cuarcitas, entrelazadas con niveles de pizarras negras.

b. Formación Ananea

Fue denominada así por Laubacher (1978) en la cordillera Oriental y asignada por este mismo autor al Silúrico-Devónico (Laubacher 1974). Consiste en una gruesa serie de esquistos epimetamórficos. En el cuadrángulo de La Rinconada ocupa básicamente la parte central y constituye todas las estribaciones occidentales de la línea de altas cumbres de los nevados que forman la cordillera Oriental.

La litología de esta formación corresponde a una homogénea y monótona sucesión de pizarras en paquetes de 20 hasta 80 cm. Un fallamiento inverso muestra a la formación Sandia sobre la formación Ananea, mientras que el contacto con la formación suprayacente no se observa.

Esta formación está afectada por una esquistocidad de flujo subparalela a la estratificación suroeste y también por el desarrollo de un microplegamiento en chevrón centimétrico; la dirección de

sus ejes es N 105° E y con acortamiento noreste-suroeste. Esta esquistosidad y pequeños pliegues se presentan al costado de fallas, o en bloques limitados por fallas o fracturas.

Paleozoico superior

El conjunto sedimentario del Paleozoico superior está compuesto por tres grupos: Ambo (Misissipiano), Tarma (Pensilvaniano) y Copacabana (Permiano inferior), que tienen similar gradación. En el área no se ha determinado ningún evento tectónico que separe algunos de estos grupos.

Las rocas del Paleozoico superior constituyen la precordillera del Carabaya, que tiene orientación noroeste-sureste, atraviesa en forma diagonal la parte central del cuadrángulo de Putina y continúa también en el cuadrángulo de La Rinconada.

a. Grupo Ambo

Aflora en la precordillera del Carabaya, al noreste de la hacienda Cambria, entre los cerros Surapata y Yanaccacca, y en los alrededores de la mina Choquene. En el cuadrángulo de La Rinconada aflora cerca de los cerros Calizani, Taipi Loma y Maman. El contacto con la formación Ananea se debe a una falla.

b. Grupo Tarma

Unidad inferior

Esta unidad fue estudiada en los cerros Manaricuna y Japo. Está compuesta por siltitas, areniscas finas de grano grueso a medio y lutitas en menor proporción. El color verde de esta unidad es característico y se ha asignado al Pensilvaniano o Carbonífero.

Unidad media

Hacia la parte media de esta unidad se presentan paquetes de areniscas de grano medio a grueso, con un grosor de 10 a 15 m. La estructura interna muestra una estratificación oblicua y plana, de bajo ángulo y dunas de 0,5 m de altura.

Unidad superior

La parte superior tiene areniscas y estratificación oblicua. En ella se observan canales, dunas decamétricas y niveles con dunas de 3 a 5 cm.

Las areniscas laminares sugieren un ambiente de cara de playa.

c. Grupo Copacabana

Fue definido por Newell (1949), en la península de Copacabana, como una unidad litológica carbonatada.

Este grupo está compuesto por calizas, areniscas y lutitas de colores violáceos y algo rojizos hacia la parte superior. Se han distinguido 3 unidades litológicas:

Unidad inferior

Está compuesta por calizas finas de color negro, con ligero olor fétido. El grosor del banco varía de 10 a 20 cm. En esta unidad se observa 30 m de areniscas cuarzosas de grano medio.

Unidad media

Comprende paquetes de calizas, además de lutitas marrones intercaladas con areniscas y calizas. Se presenta con un grosor de 220 m.

Unidad superior

Está compuesto por paquetes de 3 a 10 m de areniscas intercaladas con calizas. Su espesor es 300 m. En esta unidad también están presentes paquetes de lutitas marrones y rojizas.

Cretáceo

El Cretáceo reposa en discordancia angular sobre el Paleozoico superior a través de un conglomerado en la base.

a. Formación Muni

Esta formación se encuentra al noroeste del área de estudio y consta esencialmente de limoarcillitas rojizas violáceas y verdosas, y areniscas grisáceas. Constituye la base de la secuencia Cretáceo.

b. Formación Huancané

Esta formación sobreyace a la formación Muni y en el área de estudio solo aflora al suroeste del sinclinal de Putina.

Está constituida esencialmente por areniscas cuarzosas y subarcosas de grano medio.

En la parte inferior de esta formación se reconocen cuarzoarenitas y algunos clastos de cuarzo lechoso en una matriz arenosa gruesa. La parte superior de esta columna se caracteriza por la alternancia de areniscas y lutitas rojas.

c. Formación Vilquechico

Su afloramiento constituye el núcleo de los sinclinales de Alvarizani y Putina que se encuentran en el cuadrángulo de Putina.

Es una secuencia sedimentaria esencialmente fina, consistente en areniscas finas siltitas, lutitas, calizas y dolomías; muy esporádicamente se presentan de grano medio.

d. Formación Muñani

Aflora en la esquina sur del cuadrángulo de Putina. Sus afloramientos son afectados por un plegamiento apretado en sinclinales y anticlinales casi simétricos.

Esta formación está compuesta por areniscas marrones, rojizas y beigeas claras; las areniscas gradan a grano medio y fino, conglomerados y lutitas rojas.

e. Formación Picotani

La formación Picotani es parte de las ignimbritas de Macusani, Crucero, Cajata y Ulla Ulla.

Se encuentra ampliamente expuesta en la parte norte del cuadrángulo de Putina. Hacia el sur, a lo largo de la precordillera de Carabaya, afloran pequeños remanentes de ignimbrita muy aislados, lo que indicaría que en el momento de su emplazamiento este flujo piroclástico pudo haber cubierto parte de la misma.

Su litología es casi homogénea; se trata de unidades piroclásticas de color blanco, relativamente bien soldadas, sin pómez y con un grano de vesicularidad homogéneo. A nivel local se observan coloraciones amarillentas y rojizas que indican una probable alteración hidrotermal. Los fragmentos líticos de areniscas y pizarras alcanzan hasta 10 cm de longitud.

f. Formación Arco Aja

Esta formación fue descrita por Fornari et al. (1981) en la quebrada Arco Aja, afluente del río Tambillo, en la esquina noreste del cuadrángulo de Putina. Esta formación se encuentra debajo de los depósitos morrénicos recientes; de manera que su distribución se restringe a la depresión del río Carabaya.

La formación Arco Aja, en la quebrada del mismo nombre, tiene un grosor de 120 m y ha sido dividida en dos unidades: una inferior de 70 m, compuesta por arcillas gris azuladas, con restos de plantas y algunos bancos de gravas y la otra constituida por clastos de las gravas que son mayormente de cuarcitas y pizarras, y algunos rodados de intrusivos graníticos

La edad asignada a esta formación por Fornari et al. (1981) es Plioceno superior por la posición estratigráfica y sus características sedimentarias. Esta formación es —al menos parcialmente— correlacionable con su similar de nombre Azángaro.

g. Formación Azángaro

Fue inicialmente descrita por Newell (1949) y posteriormente Klinck A. et al (1991) la elevaron al rango de formación. Aflora al sur del

cuadrángulo de Putina, en el valle del mismo nombre. También está presente debajo de la cobertura aluvial reciente en la depresión de Muñani-Ichupalla, siendo observable solo en cortes de los ríos. En el valle del río Putina, estos depósitos están compuestos de areniscas finas y siltitas de color beige y rojizo

Depósitos cuaternarios

Los depósitos cuaternarios se encuentran distribuidos en el área de estudio en las depresiones de Carabaya e Ichupalla y valles como el de Putina, Trafide y Caylloma, en el cuadrángulo de La Rinconada.

a. Depósitos morrénicos

Estos depósitos se encuentran en ambas márgenes de la depresión del Carabaya y continúan en la depresión de Trapiche en el cuadrángulo de La Rinconada.

El material se compone de clastos sin ningún arreglo, dispersos en una matriz limo-arcillosa-arenosa. El tamaño promedio de clasto varía de 10 a 30 cm, aunque existen bloques erráticos de más de 1 m de diámetro. En estos depósitos existen variaciones en la composición litológica de los clastos, dependiendo de su lugar de origen; así las morrenas que bordean la cordillera Oriental tienen clastos de cuarcitas, pizarras, cuarzo de veta y algunos granitos, y las morrenas que bordean la precordillera del Carabaya contienen clastos de areniscas, calizas chert y a veces ignimbritas. Estos depósitos morrénicos se han depositado durante varias etapas de glaciación (Fornari et al. 1981) que se extenderían del Plioceno superior al Pleistoceno.

Los depósitos morrénicos tienen importancia económica debido a su contenido de placeres auríferos, por lo que alcanzan valores comerciales, especialmente las morrenas provenientes de la cordillera Oriental mas no aquellas de la precordillera del Carabaya.

b. Depósitos aluviales

En los cuadrángulos de Putina y La Rinconada, los depósitos aluviales están ampliamente difundidos en el sinclinal de Putina y la cuenca del río Grande de Suches, y entre ambos alcanzan una extensión de más de 100 km². Estos depósitos descansan sobre sedimentos de la formación Azángaro (al sur de los cuadrángulos de Putina y La Rinconada).

Están constituidos esencialmente por limos y arcillas del Plioceno y el espesor de esta cubierta suele ser inferior a 1 m. Forman suelos pantanosos en depresiones pronunciadas.

Dentro de estos depósitos se incluye al producto de acarreo (depósitos fluviales) de los ríos principales como Taucani-Putina y Grande de Suches, que tienen cauces amplios y alojan depósitos de grava y arena constituidos por clastos de areniscas.

c. Depósitos de deyección

Son los depósitos mejor expuestos y se encuentran a manera de abanicos aluviales en el flanco nororiental de la cuenca de Putina.

El material del que está constituido es muy variable, es decir, son polimícticos; su tamaño también es cambiante y tiene entremezclados limos y arcillas.

GEOLOGÍA ESTRUCTURAL

La zona es el resultado de la superposición de tres cadenas: Eohercínica (Paleozoico inferior), Tardihercínica (Paleozoico superior) y Andina (Cretáceo)

Cada uno de estos sistemas o dominios estructurales tienen diferente composición litológica y son afectados por una o más fases tectónicas, por tanto presentan diferente respuesta a la deformación, con estilos estructurales distintos en pliegues y fallas.

Paleozoico inferior

Pliegues y fallas

El Paleozoico inferior —representado por la formación Sandia— está compuesto litológicamente por una sucesión homogénea de areniscas y siltitas muy finas, que son afectadas por un sistema de anticlinales y sinclinales de dirección noroeste-sureste, con el plano axial ligeramente inclinado al noreste y que coincide con la dirección tectónica de la cordillera Oriental.

Un conjunto de fallas inversas ligeramente subverticales con la misma dirección, pero de buzamiento al noroeste y suroeste, rompe este plegamiento, y genera estructuras en bloques que dificultan el seguimiento de las secuencias estratigráficas.

El anticlinal de Potoni, situado en la parte central del cuadrángulo de la Rinconada, es asimétrico con su plano axial inclinado al noreste. Su flanco oeste está cortado por fallas subverticales, formando bloques estructurales, sin continuidad estructural.

La formación Ananea, compuesta por una monótona sucesión de pizarras y siltitas, ha sufrido una deformación más intensa que se traduce por un mejor desarrollo de la esquistosidad acompañada de un plegamiento centimétrico del tipo chevrón y Kind Band, generalmente asociados a las trazas de las fallas. Esta formación también está afectada por plegamientos largos y amplios en anticlinales y sinclinales.

Fallas

Están mejor desarrolladas en la unidad Sandia. La mayoría son fallamientos inversos de alto y bajo ángulo, con dirección preferencial noroeste y sureste. Los buzamientos de los flancos de las fallas se inclinan al sureste. Por su litología rígida, el fallamiento

de la formación Sandia produce bloques estructurales en los que sus desplazamientos verticales no son fácilmente estimables debido a la escasez de niveles estructurales guías.

Un segundo sistema de fallas con orientación noreste suroeste es poco común y de menor magnitud que los anteriores. Acompañan a las grandes fallas micropliegues de arrastre con dirección de sus ejes N 152° E. En la formación Ananea ocurre lo mismo, las direcciones de sus fallas son noroeste y sureste, y existen también fallas transversales a este sistema.

Paleozoico superior

Este conjunto sedimentario compuesto por los grupos Ambo (Misissipiano), Tarma (Pensilvaniano) y Copacabana (Permiano inferior).

Los terrenos del Paleozoico superior constituyen la precordillera del Carabaya, cuya orientación es noroeste-sureste, en forma diagonal en la parte central del cuadrángulo de Putina, y continúa en el cuadrángulo de La Rinconada con la misma dirección.

CAPÍTULO III

GEOLOGÍA LOCAL DEL SECTOR DE ANANEA

ASPECTOS GENERALES

El sector de Ananea se encuentra dentro de una unidad morfoestructural denominada depresión de Crucero-Ananea, ubicada entre la cordillera Oriental y la precordillera de Carabaya.

El yacimiento consiste en sedimentos pleistocénicos y recientes, de origen glacial y fluvial, que contienen oro nativo libre, con una pureza de 900 a 925/1000.

Las morrenas de este yacimiento están constituidas por un aglomerado consolidado conformado por bloques, grava, arena y arcilla.

Los depósitos fluvio-glaciales tienen como elemento predominante a los bancos de conglomerados arcillosos, luego siguen las gravas y las arenas gruesas. El oro de estos sedimentos está distribuido con cierta homogeneidad y están concentrados en ciertos bancos de mayor selección granulométrica.

Los depósitos fluviales consisten en lentes de gravas y arena gruesa. El oro contenido en estos depósitos es achatado y más fino que en los anteriores. La distribución de este metal es selectiva, los contenidos con valor económico se encuentran en ciertos lentes de posición y características granulométricas bien definidas.

Los sedimentos con contenido aurífero del yacimiento Ananea provienen de la formación del mismo nombre y afloran en la cordillera Oriental —entre los nevados de Ananea y Ñacaria— que fue afectada por varias glaciaciones en el Pleistoceno.

Las fuentes primarias con gran contenido de oro son los filones con cuarzo aurífero emplazados en la formación Ananea.

En los concentrados de los sedimentos asociados al oro se encuentran la magnetita, casiterita, arsenopirita, wolframita, marcasita, circón y berilio.

UBICACIÓN Y ACCESO

Los depósitos auríferos de Ananea se encuentran ubicados en el distrito del mismo nombre, provincia de San Antonio de Putina, departamento de Puno, aproximadamente a 70 km en línea recta al noreste del lago Titicaca, entre las coordenadas 14° 27" y 14°

45" de latitud sur y 69° 53" de longitud oeste, a una altitud comprendida entre 4 600 y 4 900 msnm.

Las posibilidades de acceso se resumen en el siguiente cuadro:

De	A	Vía	Distancia
Juliaca	Ananea	Carretera afirmada	160 km
Matarani	Juliaca	Ferrocarril y carretera afirmada	275 km
Lima	Juliaca	Carretera y vía aérea	1 150 km

CLIMA

El clima es característico de las grandes altitudes, es decir, seco, muy frío y con grandes variaciones de temperatura entre el día y la noche.

En el verano la temperatura máxima durante el día es 16 °C y en la noche la mínima es de -2 °C. En invierno las temperaturas son intensas entre los meses de diciembre y abril.

En la región existen 11 lagunas que almacenan un total de 213 630 500 m³ de agua (Kihien 1985).

CUADRO MORFOLÓGICO-ESTRUCTURAL

Ananea se encuentra dentro de una subunidad morfoestructural denominada depresión de Crucero-Ananea, la cual forma parte de la unidad morfoestructural del altiplano y se encuentra ubicada entre la cordillera Oriental y la precordillera de Carabaya. La depresión fue originada por un juego de fallas longitudinales de rumbo noroeste, de edad post Miocénica, y rellenada posteriormente por depósitos glaciares, fluvio-glaciares, aluvionales y fluviales.

ESTRATIGRAFÍA Y LITOLOGÍA

Formación Ananea

La formación Ananea constituye el basamento de la región y el bedrock de los depósitos auríferos de San Antonio de Poto. Se le atribuye una edad Siluro-Devoniana.

La formación aflora en una franja de la cordillera Oriental, que se extiende desde la frontera con Bolivia hasta aproximadamente 110 km al noroeste. Está conformada por un paquete de pizarras con intercalaciones de cuarcitas, en algunos niveles de carácter rítmico. El espesor de la formación es aproximadamente 2 500 m en el sector de Ananea y sus afloramientos se encuentran desde 4 600 msnm hasta la línea de las cumbres.

La característica más importante de la formación Ananea a nivel metalogenético y económico es la presencia de filones de cuarzo aurífero con sulfuros; la mayoría de ellos son concordantes y se encuentran interestratificados con la pizarra. En el nevado Ananea existen 40 a 50 filones (mantos) entre 5000 y 6000 msnm (Kihien 1985).

Las pizarras de Ananea se caracterizan por ser rocas negras con estratificación fina y esquistosidad paralela a la estratificación. En el microscopio se observa además una esquistosidad secundaria (S_2) que coincide con los planos axiales de un microplegamiento. La mineralogía de la roca comprende cuarzo (40%), moscovita (20%) y clorita (10%) como esenciales, y como accesorios están presentes plagioclasa, arsenopirita, pirita, turmalina y zircón. Por su paragénesis, las pizarras de Ananea corresponden a las facies de esquistos verdes (Kihien 1985).

Las cuarcitas se caracterizan por ser rocas constituidas casi totalmente por cuarzo, de color gris oscuro y de grano muy fino.

La erosión glacial de la formación Ananea generó la mayor parte de los sedimentos existentes en todo el flanco norte del valle de Carabaya.

Grupo Ambo

Atribuido al Missisipiano, este grupo aflora en el extremo Oeste – Suroeste de los de San Antonio de Poto, entre el campamento de Ananea y la frontera con Bolivia, y alcanzando en esta región un espesor de 1 500 m de la base hacia el techo. El grupo Ambo está conformado por una secuencia marina con cuarcitas, areniscas feldespáticas a micáceas, intercaladas con lutitas y microconglomerados (Laubacher 1978).

Intrusivos graníticos

En las áreas más elevadas de la cordillera Oriental (casi en el eje de la misma) afloran cuerpos graníticos del Permo-Triásico indiferenciado, intruyendo las pizarras de la formación Ananea. Estos cuerpos son probablemente apófisis del batolito de Coasa-Limbani.

Metalogenéticamente tanto la mineralización aurífera de los filones de la formación, así como los indicios filonianos de mineralización

de estaño, wolframio y bismuto, tienen una estrecha relación con los intrusivos graníticos del hercínico.

Grupo Copacabana

Es considerado de edad Permiano inferior. Este grupo aflora en la precordillera del Carabaya, que representa al Grupo Ambo, formado por un paquete de 1200 a 1500 m de espesor donde afloran calizas, chert, intercalados con cuarcitas, areniscas, lutitas y margas.

Grupo Mitu

Se le considera de edad Pérmica superior. El Grupo Mitu es facie continental constituida por un paquete de areniscas rojas y un conjunto de rocas efusivas. Ella aflora en el sector de San Antonio de Poto, en el área de Huacchani.

Ignimbritas

Estas rocas subyacen discordantemente sobre las pizarras silúrico-devonianas de la formación Ananea y en el valle de Carabaya están cubiertas por sedimentos fluviales. En el área de Huacchani y Pacchani existen afloramientos de ignimbritas que resaltan principalmente en el paisaje de la región, por ser de color blanco y presentar paredes verticales y características debido a su marcada disyunción columnar. Es muy notoria también la acción erosiva en la base de los afloramientos. Ellas pertenecen al Plioceno.

Petrográficamente la roca está constituida por fenocristales de cuarzo en el área central de Pampa Blanca (zona dragada y cubierta por la laguna Sillacunca), la zona explotada por la Comunidad de Ancocala y el área de Chaquiminas.

Depósitos fluviales

Estos ocupan el área central del valle de Carabaya (cauce), desde la laguna Sillacunca hasta la zona de Pacchani. En general se encuentran sobreimpuestos a los depósitos glaciales y fluvio-glaciales.

Estructuralmente los depósitos fluviales consisten en lentes alargados de grava y arena gruesa, con muy bajo contenido de arcilla. Estos lentes corresponden a paleocanales, cuyas direcciones se pueden reconocer gracias a la posición de los rodados.

Los constituyentes litológicos de estos sedimentos son: pizarras, cuarcitas y cuarzo aurífero de la formación Ananea, y areniscas, calizas y dolomías de las formaciones Ambo y Copacabana.

GEOLOGÍA ECONÓMICA

La localización de los escombros dejados por los trabajos de los mineros artesanales, a través de imágenes de satélite con bandas 7, 4, 2, permite la delimitación de las operaciones mineras. Cuando se contrasta ésta con el reconocimiento de campo se observa que

Columna Estratigráfica de los cuadrángulos de Putina y La Rinconada

Eratema	Sistema	Serie	Unidad Litoestratigráfica	Grosor (M.)	Litología	Descripción
	Cuaternario		Morrenas	50		Morrenas
				120		Lutitas siltitas conglomeradas
				30		
CENOZOICA	Paleogeno	Paleogeno Eoceno	Fm. Muñani	500		Areniscas finas gruesas Conglomerados (Lutitas rojas)
MESOZOICA	CRETÁCEO	Superior	Fm. Vilquechico	550		Lutitas verdes rojas beiges (Calizas negras) Areniscas cuarzosas
		Medio	Fm. Cotacucho	500		Areniscas cuarzosas rojas Conglomerados
		Inferior	Gpo. Moho	90		Lutitas rojas y calizas
			Fm. Hunacane Congl. Chupa	190 100		Areniscas cuarzosas y subarcosas Conglomerados
	PERMIANO	Inferior	Gpo. Copacabana	700		Calizas bioclasticas Areniscas Calizas finas (Mudstones)
	CARBONIFERO	Pensilvaniano	Gpo. Tarma	700		Areniscas cuarzosas y subarcosas Subarcosas finas
		Missipiense	Gpo. Ambo	2000		Slumpings olistolitos
						Lutitas negras
						Areniscas subarcosas masivas y gradadas
	PALEOZOICA	SILURO DEVÓNICO	Fm. Ananea	500		Areniscas esytratificación oblicua Conglomerados
ODORVICIANO		Caradociano	Fm. Sandia	2000		Pizarras negras
						Areniscas finas con dunas

	Ignimbrita Picotani
	Intrusivas del cretáceo sup.
	Intrusivas Echerinicos

Fig. 1

coincide con el límite del polígono construido luego de la toma de muestras en Ananea. De esta manera se determinó la magnitud de estos depósitos glaciales, fluvio-glaciales y fluviales dentro de las morrenas de contenido de oro detrítico libre, que hacen de éste un yacimiento de gran potencial aurífero.

Mineralización de los depósitos glaciares (morrenas)

Los depósitos glaciares consisten en morrenas laterales, centrales y de fondo; entre ellas predominan las primeras, además de ser las que tienen mayor área y volumen.

Las morrenas originadas a partir de la cordillera Oriental se encuentran localizadas en el flanco norte del valle de Carabaya y son las de interés económico, pues poseen tenores de oro mayores de 0,35 g/m³ en varios lugares (morrenas Viscachani y de Pampa Blanca).

Los volúmenes alcanzados por las morrenas en cuestión llegan a cientos de millones de metros cúbicos. En algunas áreas su morfología es muy suave, casi una llanura ondulada (Ancocala, Pampa Blanca), en otras corresponde a dorsales muy alargadas (la morrena Viscachani tiene 9 km de largo por 1 km de ancho).

Los espesores de los depósitos glaciares varían de pocos metros a más de 100 m; la mayor parte de ellos tiene grosores promedio de 50 m.

La mineralización aurífera existente en los depósitos descritos, y en general en todo Ananea, consiste en granos de oro nativo libre, con una pureza de 924 milésimos (denominados localmente charpas) y en oro contenido en bloques y cantos rodados de cuarzo aurífero, ambos dispersos en forma totalmente irregular y aleatoria en toda la masa aglomerádica de las morrenas. Hasta el momento no se ha encontrado alguna estructura o lineamiento de control de la distribución del oro, ni un área de influencia para el muestreo.

La forma de los granos de oro es irregular achatada, con bordes ganchudos, y su eje principal es 5 a 10 veces mayor que el eje menor; existen formas muy similares a las de oro primario de los filones auríferos de la formación Ananea.

La granulometría del oro varía de 0,1 a 2,6 cm; sin embargo, 85% del mismo está comprendido entre 0,2 y 4 mm. Solo una pequeña proporción (1%) sobrepasa los 4 mm.

Mineralización en los depósitos fluvio-glaciales

Los depósitos fluvio-glaciales son mucho más restringidos en área y volumen que los glaciares y fluviales; éstos se encuentran en las zonas distales y en algunos flancos de las morrenas, así como en las áreas de confluencia de varias morrenas (área central de

Pampa Blanca, zona de Chaquiminas, área llana de Ancocala, etc.).

La morfología de estos depósitos es generalmente mucho más suave que la de los depósitos glaciares, su superficie es casi llana.

Estructuralmente se observa en la parte superior de los cortes verticales una alternancia de bancos aglomerados de origen glaciar y de lentes de grava, y arena gruesa sin buena selección; estos últimos corresponden a pequeños canales de escurrimiento de las aguas de fusión del glaciar en los períodos estacionales y de retroceso del mismo.

La mineralización está constituida por granos detríticos de oro libre, cantos rodados y bloques de cuarzo aurífero, de los cuales solo el primero tiene interés económico.

Depósitos glaciares

De edad cuaternaria, estos depósitos cubren gran parte del área de Ananea donde los mineros artesanales están concentrados y realizan operaciones con equipo pesado.

En los flancos del valle de Carabaya, sobre todo en el flanco norte, estos sedimentos subyacen concordantemente a la formación Ananea. En cambio, en la zona central del valle subyacen concordantemente a un paquete de sedimentos palustres.

Estos depósitos sedimentarios adoptan formas según el orden de frecuencia del área que ocupan y son las siguientes: morrenas laterales, morrenas de fondo, morrenas centrales, morrenas terminales y drumlins. Su espesor varía de pocos metros, en las cabeceras de los glaciares, a más de 120 m en los ejes de algunas morrenas laterales.

Las fuentes de origen de los sedimentos son: por el lado norte, la cordillera Oriental y por el sur la precordillera de Carabaya, siendo los más colindantes y extendidos aquellos que provienen de la primera fuente.

Las morrenas originales en la cordillera Oriental poseen rumbos hacia el sur, oeste-suroeste y oeste, con longitudes de 2 a 10 km. La litología de estas morrenas consiste en un conglomerado de moderada consolidación, constituido por bloques y fragmentos subredondeados de pizarra, cuarcita y cuarzo de la formación Ananea, englobados en una matriz areno-arcillosa: el tamaño de los bloques y fragmentos varía de 5 cm a más de 3 m, pero la mayoría se encuentra entre 5 y 40 cm.

Depósitos fluvio-glaciares

Mucho más restringidos en área y volumen que los depósitos glaciares y fluviales, los depósitos fluvio-glaciares están localizados en las partes terminales o distales de las morrenas, en algunos

flancos de las mismas y en las confluencias de las partes terminales de varias de ellas. Este tipo de depósitos se reconoce fácilmente en la cabecera del río Carabaya.

La granulometría y distribución del oro en los lentes de grava y arena es diferente a aquellas de los bancos aglomerádicos de origen glaciar (bancos de morrena). Los lentes de grava y arena están ubicados sobre todo en los niveles superiores de los depósitos fluvio-glaciales y sus espesores varían de 0 a 5 m; el oro contenido en ellos se encuentra más concentrado en la base y su granulometría es en general más gruesa que la de los bancos aglomerádicos, esto debido a que el oro es fino y es transportado mayormente por las corrientes de agua. En el material morrénico, en cambio, la distribución de oro es completamente aleatoria y existe mayor proporción de oro fino.

La forma del oro de estos depósitos es de mayor espesor que en el caso de los depósitos glaciares porque ya han tenido un trabajo de concentración natural, y es por ello que, en términos económicos, son más importantes que los anteriores.

Mineralización en los depósitos fluviales

Los depósitos fluviales del área de Ananea son posteriores a los descritos anteriormente (actuales). Ellos se han originado en los sedimentos glaciares y fluvio-glaciares y en muchos lugares se encuentran sobre estos últimos. Se encuentran generalmente a lo largo del cauce del río Carabaya y de sus afluentes.

A diferencia de los depósitos glaciares, la distribución espacial del oro se realiza fundamentalmente a través de los ejes de los paleocanales y canales actuales, es decir, el eje principal de estos depósitos (paralelo al eje del cauce del río) es mucho más grande que los ejes secundarios; asimismo, las áreas de influencia tienen direcciones diferentes. Por otro lado, como es frecuente en este tipo de depósitos, las mayores concentraciones de oro se presentan en:

- a. La base de los lentes o bancos de grava arenosa o arena gruesa.
- b. Las zonas de cambios bruscos de pendiente.
- c. Las curvaturas internas de los canales y paleocanales, Barras en Punta.
- d. Conos de deyección de los afluentes del Carabaya.
- e. La confluencia de pequeños ríos o cursos de agua.
- f. Zonas de cambios direccionales bruscos.

Mineralización asociada al oro

En las arenas pesadas resultantes de la concentración gravimétrica tanto operacional (concentrado de decenas de miles de metros cúbicos) como del muestreo de diversas áreas de yacimiento, se

ha determinado la presencia de los siguientes minerales y clastos líticos: clastos pesados de pizarra con alto contenido de hierro, magnetita, hematita y casiterita como constituyentes abundantes; como minerales accesorios no siempre presentes se ha encontrado: cuarzo, pirita, arsenopirita, wolframita, marcasita, zircón, berilio y muy raramente plata nativa y estibina.

El mineral portador del estaño es la casiterita, de color negro brillante (raras veces marrón muy oscuro), con fractura concoidea, brillo tipo breja y a menudo con propiedades magnéticas. La granulometría de la mayor parte de la casiterita de los concentrados varía entre 1 y 2,5 mm y se encuentra completamente liberada. En varias muestras se han observado al microscopio cristales bipiramidales combinados con prismas tetragonales. El negro intenso y las propiedades magnéticas de este mineral permiten inferir la presencia de Fe, Nb, y Ta en su estructura cristalina.

Dos factores determinan que el estaño sea el segundo metal de interés económico en Ananea: el alto contenido de casiterita en muchos de los concentrados y el hecho que ésta se presente libre (Kihjen 1985).

La pirita está presente en grandes proporciones y es del tipo aurífero, es decir, posee oro en su estructura.

Los sulfuros son abundantes solo en ciertos sectores de concentración fluvial (placers) que son denominados veneros por los mineros de la región. En la base de algunos lentes de grava arenosa existen concentraciones de sulfuros y obviamente oro; los primeros dan una coloración característica a la base del banco (oxidación parcial de los sulfuros), que permite su fácil reconocimiento; por otro lado, la oxidación total de la pirita en estos veneros liberaría el oro, lo que incrementa el tenor de oro recuperable de dichos placeres.

Origen del oro de los depósitos de Ananea (fuentes primarias del oro)

La morfología del valle de Carabaya en el sector de Ananea indica que los sedimentos existentes provienen, por el lado norte, de la cordillera Oriental y, por el lado sur, de la precordillera del Carabaya, dominando los primeros en área y volumen.

Las diferencias entre los sedimentos provenientes de una otra fuente son también litológicas y metalogénicas. Así, los sedimentos provenientes de la cordillera Oriental poseen oro en tenores que superan 0,1 g/m³ y alcanzan en varios sectores valores de 0,3 a 0,5 g/m³ (depósitos económicos); además casiterita, wolframita y sulfuros de Fe y Cu están presentes como accesorios. Por el contrario, los sedimentos de la precordillera del Carabaya son pobres en oro, no poseen casiterita y wolframita, y no son depósitos de interés económico.

El oro, la casiterita, la wolframita y los sulfuros existentes en los sedimentos localizados en el cauce y en el lado norte del valle de Carabaya (de morrenas, fluvio-glaciares y fluviales) provienen de la cordillera Oriental.

Como ya se había descrito anteriormente, en la formación Ananea que aflora en la cordillera Oriental existen filones de cuarzo aurífero, y la mayor parte del oro se encuentra en forma de partículas visibles de oro libre. Estos filones son la fuente primaria del oro existente en los depósitos de Ananea y por tanto la formación Ananea es la fuente de los sedimentos que contienen el oro.

Los filones de cuarzo aurífero de esta formación son de dos tipos: filones concordantes denominados localmente mantos y filones discordantes o vetas (Kihien 1985).

Los filones concordantes se presentan interestratificados con las pizarras, poseen espesores de 5 a 20 cm, están constituidos casi exclusivamente por cuarzo ahumado (gris oscuro) de grano muy fino y poseen tenores de oro de 10 a 90 g/t y pirita. El oro contenido en dichos filones se encuentra en dos formas: como oro nativo visible y como constituyente de la pirita.

El oro nativo se presenta como partículas irregulares generalmente achatadas, con medidas que van de 0,1 mm a 4 cm, aunque predominan ampliamente aquellas entre 0,2 a 2 mm; está presente en forma diseminada en el cuarzo y en pequeños agregados en los que ocupan pequeños espacios de la roca (microfacturas y microgeodas). Ciertas características pueden ser interpretadas como que parte de la precipitación y cristalización del oro fue posterior a la cristalización del cuarzo. El oro contenido en la pirita no es visible a simple vista (fue detectado mediante análisis químicos), por lo que se piensa que probablemente esté en su estructura cristalina en tenores tales que resulta económica su explotación. El único oro que ha sido explotado y tratado hasta el momento es el oro nativo libre de los mantos descritos; referencias históricas indican que los filones auríferos han sido explotados en las minas Gavilán de Oro, Ana María, Santo Domingo, etc. desde la época colonial.

Los filones discordantes o vetas son bastante raras y en general de mucho más espesor que los mantos (algunos sobrepasan 1 m de espesor). En algunas vetas se ha observado conexión con los mantos, pero no un vínculo con algún intrusivo, por ejemplo. El cuarzo constituyente de estas vetas es generalmente más blanco que el de los mantos.

Procesos de dispersión y concentración del oro en Ananea

Durante el Cuaternario ocurrieron varias glaciaciones que erosionaron las rocas existentes en el flanco oeste de la cordillera

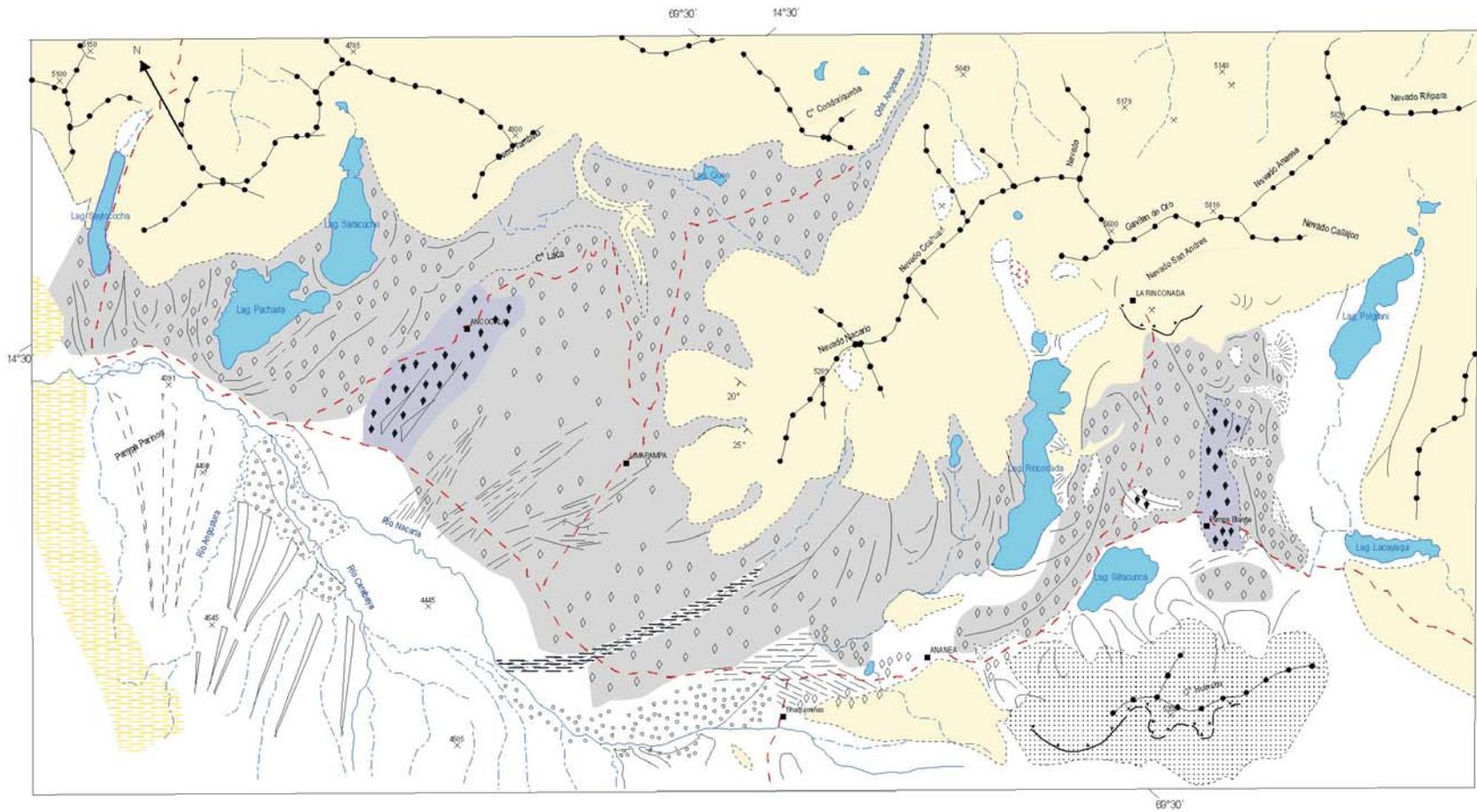
Oriental —comprendido en las latitudes de los antiguos derechos especiales de Ananea (aproximadamente 40 km de longitud)—.

Los procesos de glaciación arrancaron y transportaron el material rocoso de la formación Ananea, y lo depositaron en el valle de Carabaya bajo la forma de las morrenas que conocemos actualmente. Como parte de estos procesos, los filones de cuarzo aurífero y de cuarzo y sulfuros existentes en la formación fueron rotos, triturados y molidos, liberando de esta manera el oro y los sulfuros contenidos en ellos. A través del transporte en la densa masa de los glaciares, todos los componentes de las rocas originales se fueron mezclando, sin ningún tipo de selección.

Si se comparan los tenores de oro de los filones de cuarzo aurífero con los tenores de oro de las morrenas, se observa que en los primeros (10 a 90 g/m³) existe de 30 a 300 veces más oro que en los segundos (0,3 g/m³); esta gran diferencia de valores indica que los procesos de erosión y transporte glaciar produjeron en Ananea una liberación y dispersión del oro contenido originalmente en los filones auríferos de la formación del mismo nombre.

Actualmente, al igual que en las épocas de interglaciación, los sedimentos glaciales son afectados por procesos de erosión y transporte de tipo fluvial. Por ejemplo, este tipo de transporte ha provocado una selección de los materiales que transporta y deposita, y gracias a estos procesos selectivos se ha producido una reconcentración del oro nativo detrítico de los sedimentos morrénicos presentes en los canales y paleocanales de los cursos de agua que surcan las diversas áreas de la región. Sin embargo, el trabajo o retrabajo de transporte fluvial no es muy antiguo (algunos miles de años) y la reconcentración de oro libre no ha sido muy grande (de 0,1 a 0,6 mg/m³). En las laderas de las morrenas donde se produjeron escorrentías dispersas (tipo «manto»), la concentración de oro se produjo casi exclusivamente por transporte de las arcillas y limo (aproximadamente 35% de la morrena es arcilla y limo; si dicho material migra sin que lo hagan los otros componentes, se produce una concentración del oro y otros elementos por unidad de volumen).

La baja pendiente de los ríos determina que la mayor parte de la concentración producida sea similar a la descrita; esta es otra de las razones por las que en Ananea no existen placeres aluviales con leyes altas de oro.



FORMACIONES DEL SUBSTRATO

- Lavas mayormente acidas (Plioceno)
- Areniscas Ambo (Misisipiano)
- Pizarras y cuarcitas, Fm. Ananea (Silurico-Devonico)
- Intrusivos Acidos

- Material morrenico reciente
- Material morrenico antiguo
- Depósitos de ambientes palustre, (limos, arenas, gravas de procedencia local, parte somital mas fluvial)
- Fluvio-Glacial

Formas de relieve

- Glasis
- Glasis recientes
- Linea de cumbre
- Talud de terraza
- Arco de retroceso
- Abanico
- Nevado, hielo permanente

REPÚBLICA DEL PERÚ
 SECTOR ENERGÍA Y MINAS
 INSTITUTO GEOLÓGICO MINERO Y METALÚRGICO

MAPA GEOMORFOLÓGICO DE LOS SECTORES DE PUTINA Y LA RINCONADA
 MAPA N° 2

Fuente : INGEMMET - ORSTOM (1982)
 Proyecto Oro en la Cordillera Sur Oriental del Perú

CAPÍTULO IV

ESTUDIO DE LAS AGUAS Y SEDIMENTOS DEL RÍO RAMIS, AFLUENTE DEL LAGO TITICACA, EN EL CONTEXTO DE LA MINERÍA ARTESANAL

ÁMBITO DEL ESTUDIO

Este estudio comprende el recorrido que realiza el río Ramis por las localidades de Crucero, San Antón, Progreso y Azángaro. La cabecera de este río está enmarcada por las áreas de las ex concesiones de San Antonio de Poto, cuya última administración estuvo en manos de Centromin Perú S.A.

A través del tiempo, la población circundante se mostró interesada en la posesión de estos predios, y por ello los comuneros y productores mineros presentaron solicitudes para que se les otorguen dichas áreas. Debido a las insistentes peticiones, en el año 2003, Centromin Perú suscribió actas con las cooperativas de la zona para que participen en las áreas del proyecto minero San Antonio de Poto.

El año 2005 las áreas Chaquiminas y Pampa Blanca fueron ocupadas por mineros informales, esta situación motivó la movilización de las autoridades del sector a la zona de trabajo. Luego de gestiones técnico-administrativas, se promulgó el D.S. 028-2005-EM, norma que crea una comisión especial encargada de formular recomendaciones para formalizar principalmente a quienes suscribieron actas de compromisos con Centromin Perú y establece las medidas necesarias para prevenir, subsanar y/ o mitigar los impactos de las actividades de los mineros informales.

A la luz de las operaciones con equipos pesados y los reclamos de la población agropecuaria de la zona noroeste de la Región Puno, se estimó conveniente la evaluación y monitoreo de las aguas superficiales y sedimentos del curso de los ríos que conforman el río Ramis (río Grande en su cabecera, río Crucero, río Azángaro y finalmente río Ramis).

La zona estudiada comprende la cuenca alta del río Carabaya, afluente del Ramis. En dicha zona toma el nombre de río Grande, que recibe los deshielos del nevado Ananea y los reboses de las lagunas Rinconada, Sillacunca, Huicha y Chullpacocha. El río Ramis es el principal afluente del Lago Titicaca, aportando cerca del 40% de la escorrentía que ingresa al Lago (MINEM 1998).

Por el norte, esta cuenca limita con la del río Inambari, cuyos afluentes son los ríos Limbani, Patambuco, Sandia y Huari Huari.

Los poblados en el entorno de la cuenca del río Ramis desde su nacimiento hasta el lago Titicaca son: La Rinconada, Ananea, Crucero, San Antón, Carmen, Progreso, Pucará, Nicasio, Azángaro, Tirapata, Calapuja, Achaya y Caminaca.

CONTEXTO DEMOGRÁFICO Y UBICACIÓN

Puno es una de las regiones más pobladas del país, pues alberga a 1 245 000 habitantes, de ellos, más del 50% pertenece al sector rural. La esperanza de vida al nacer es baja (59,6 años) y la tasa de mortalidad infantil es una de las más altas del país (86,2 por mil), mientras que la tasa de fecundidad de la población es mayor (3,8) al promedio nacional (3,0). Finalmente, el porcentaje de analfabetismo es también alto (22,2%).

En esta región existen varias zonas agroecológicas que se diferencian por el régimen de lluvias, la temperatura y el predominio de algunas especies ganaderas y de cultivos, como se detalla a continuación:

- a. *Zona circunlacustre*, (ubicada entre 3 810 y 3 850 msnm): tiene una mayor densidad poblacional que las otras zonas pues concentra el 45% del total de la población rural de Puno, así como la mayor parte de la actividad agrícola de la región. Se especializa también en el engorde de ganado vacuno, actividad que aprovecha los forrajes que crecen en las orillas del lago Titicaca. El principal problema de esta zona es el predominio de los minifundios que originan la migración a la costa.
- b. *Zona suni*, (ubicada entre 3850 y 4000 msnm): tiene una densidad poblacional rural menor que la zona anterior y dispone de mayores extensiones de tierras, pueblos y ciudades del altiplano peruano. En esta zona se desarrolla principalmente la ganadería y, en segundo lugar, la agricultura, aunque la producción de esta última es afectada por el riesgo que representan las heladas. El minifundio tiene menor desarrollo que en la zona circunlacustre.

La mayoría de las empresas asociativas, creadas por Ley de Reforma Agraria en 1970, se ubicaron en esta zona. A fines de la década de 1980 fueron reestructuradas y actualmente la mayor parte de las tierras (más de un millón de hectáreas) son propiedad de las comunidades campesinas.

- c. *Zona de puna* (ubicada entre 4 000 y 5 000 msnm): tiene escasa población (18% del total de campesinos de Puno) y está dedicada principalmente a la ganadería de camélidos sudamericanos (alpacas y llamas). Aquí no se desarrolla la agricultura.

ESTRUCTURA PRODUCTIVA Y TENENCIA DE LA TIERRA

El proceso de mayor impacto en la estructura socioeconómica del sector rural de Puno fue la aplicación de los decretos supremos de reestructuración de las empresas asociativas. De esta manera, 85% de las tierras (1 500 000 hectáreas) de estas empresas se adjudicaron a 700 comunidades campesinas.

Otros procesos que han afectado las actividades agropecuarias en el departamento fueron las sequías ocurridas entre 1980 y 1993 (como la de 1982-1983) y la inundación de 1985-1986. El Fenómeno de El Niño de 1998 no tuvo muchos efectos negativos, pero las lluvias excesivas de 1999 afectaron fuertemente las actividades agropecuarias.

En la década de 1990, la producción agropecuaria sufrió grandes pérdidas debido a los cambios climáticos. La producción ganadera decreció dramáticamente: el ganado vacuno en -11.4%, los ovinos en -10.5% y las alpacas en -1.5%. La agricultura tuvo descensos aún mayores que la ganadería.

No obstante los procesos críticos señalados anteriormente, y de acuerdo a estudios realizados, Puno tiene ventajas productivas en comparación con otras regiones del sur del Perú. Por ejemplo, la producción de carne de vacuno y ovino es mayor que en otras regiones (incluyendo Arequipa y Cusco). La carne de vacuno, ovinos, alpaca y llama son los principales productos pecuarios comercializables.

El sector agrícola, a pesar de las sequías e inundaciones, ha tenido una evolución positiva en los cultivos de quinua, cañihua,

haba, cebada, forrajes y pastos cultivados. Estos productos (la mayoría tolerante a las sequías) han incrementado los rendimientos, los precios reales y los ingresos familiares, pues tienen mayor demanda en los mercados locales y en la macrorregión. Por otra parte, la quinua y las habas son productos que también se exportan al mercado internacional.

La papa sigue siendo el principal cultivo y ocupa un tercio del total de la superficie cultivable de la región. Además, es el elemento fundamental de la alimentación de la población, especialmente de las comunidades campesinas.

La mayor parte de la población rural de Puno corresponde a la de las comunidades campesinas. Éstas constituyen la forma de organización más importante para los proyectos de desarrollo agropecuario en esta región (Claverías et. al. 2001).

RESERVAS ECONÓMICAS

En 1983 se firma un convenio entre el Gobierno del Perú y el Fondo Rotatorio de las Naciones Unidas para el Desarrollo de los Recursos Naturales. Este proyecto tuvo una duración de 6 años, y su objetivo era seleccionar y definir áreas con potencial de reserva de grava aurífera explotable en los depósitos morrénicos.

Los trabajos ejecutados en el área de Ananea (28 530 ha) incluyeron 523 perforaciones (14 050 m), 75 piques de control (416 m de profundidad y volumen de 521 m³ de grava excavada), 2 107 toneladas del material procesado para investigaciones metalúrgicas de laboratorio piloto, y 8850 análisis químicos de oro, plata, estaño, tungsteno, titanio, zirconio, elementos de tierras raras, radioactivos y otros. Además de extensas investigaciones geológico-mineralógicas y geofísicas para determinar el carácter, origen, estructuras y composición detallada de los recursos minerales explotados.

Como resultado se cubieron reservas geológicas de grava aurífera que se resumen en el Cuadro 4.1 (FRNU 1990).

Cuadro 4.1
Resumen de reservas geológicas de grava aurífera cubicada en el área de Ananea por zonas

Ley de corte	100 mg/m ³				150 mg/m ³				200 mg/m ³			
	Pot m	volumen x 1000 m ³	Tenor mg Au/m ³	Oro kg	Pot m	volumen x 1000 m ³	Tenor mg Au/m ³	Oro kg	Pot m	Volumen x 1000 m ³	Tenor mg Au/m ³	Oro kg
Chaquiminas	6,47	25 094	241	6 053	3,62	14 682	310	4 546	1,99	8 162	392	3 200
Vizcachani	15,46	64 623	236	15 276	8,93	37 203	299	11 117	5,57	23 189	354	8 209
Pampa Blanca N	2,72	3 835	216	828	1,05	1 472	348	512	0,87	1 230	378	464
Pampa Blanca E	10,6	8 989	275	2 470	4,86	4 124	430	1 771	1,86	1 575	788	1 242
Pampa Blanca	16,13	115 203	278	32 072	11,7	83 782	328	27 446	7,04	50 306	402	20 224
Total		217 744		56 699		141 263		45 392		84 462		33 339

Fuente: Fondo Rotatorio de las Naciones Unidas para la Exploración de los Recursos Naturales (FRNU).

Según el estudio del Fondo Rotatorio de la Naciones Unidas (1990), la conversión de esta reserva geológica en una reserva industrial depende del grado de conocimiento de sus parámetros técnico-económicos, que deberán definirse por zonas mediante estudios de factibilidad que incluyan una malla de perforación más detallada.

PROPIEDAD MINERA

Cuando caducaron los derechos mineros que amparaban la explotación de los yacimientos auríferos de San Antonio de Poto, estos fueron asignados a Minerero Perú mediante D.S. N.º 027-74-EM/DGM y 036-75-EM/DGM, como derechos especiales del Estado.

Varios años después, la R. D. N.º 125-91-EM/DGM —en cumplimiento de lo dispuesto en la Ley de Promoción de Inversiones en el Sector Minero y Decreto Ley N.º 708—, convirtió los derechos especiales del Estado al Régimen de Concesiones Mineras.

Mediante escritura pública de fecha 18 de agosto de 1993, Minerero Perú S.A. transfirió en favor de la Central de Cooperativas Mineras de San Antonio de Poto (CECOMSAP) las concesiones mineras de San Antonio (220 ha) y María (240 ha). En el año 2002 fueron transferidas las concesiones La Mística y Estela, de 240 ha cada una.

Por D.L. N.º 674 (Ley de Promoción de la Inversión Privada en las Empresas del Estado), las concesiones de San Antonio de Poto de la Empresa Minera del Perú S.A. (MINERO PERÚ S.A., posteriormente absorbida por la Empresa CENTROMIN PERÚ

S.A.) pasaron a la Comisión de Promoción de la Inversión Privada (COPRI, ahora PROINVERSIÓN).

El R.S. N.º 099-2005-EF ratificó el acuerdo adoptado por el Consejo Directivo de PROINVERSIÓN que aprobaba excluir el proyecto de San Antonio de Poto del Plan de Promoción de la Inversión Privada, pasando las concesiones al control del Ministerio de Energía y Minas.

El D.S. 028-2005-EM disponía la suspensión de la admisión de peticiones mineras en las áreas de las ex concesiones mineras que administró la Empresa Minera del Centro del Perú (Centromin Perú S.A.) hasta el 30 de marzo de 2006, fecha en la que una comisión especial—creada por el mismo D.S.— presentó un informe en el que señalaba las medidas necesarias para formalizar prioritariamente a quienes suscribieron actas de compromisos con Centromin Perú S.A.; recomendaba medidas necesarias para prevenir, subsanar y/o mitigar los impactos de las actividades mineras de los informales en el medioambiente; y nombraba a las entidades que se encargarían de implementar y supervisar el cumplimiento de dichas recomendaciones.

Las concesiones mineras del Proyecto San Antonio de Poto se encuentran en las áreas de Pampa Blanca y Vizcachani, que representan 7 120 ha con reservas de 89,38 MM m³, ley 0,33 g/m³ y profundidad hasta de 30 m, mientras que en la zona de Chaquiminas suman 2 000 ha, con reservas de 14,68 MM m³, ley 0,31 g/m³ y profundidad de 15 m. Todas las zonas componen un total de 9 120 ha (véase Cuadro 4.2).

Cuadro 4.2
Concesiones mineras del Proyecto San Antonio de Poto

Zona	Concesión	Extensión (ha)
Chaquiminas	Mina Número Tres – E	1000
Chaquiminas	Mina N.º 4	1000
Vizcachani	Amandita	220
Pampa Blanca	Mina Número Dos A	240
Pampa Blanca	Mina Número Dos B	960
Pampa Blanca	Mina Número Dos C	960
Pampa Blanca	Mili	240
Pampa Blanca	Teresita	240
Pampa Blanca	Queta	240
Pampa Blanca	Clemencia	240
Pampa Blanca	Chana	240
Pampa Blanca	La Mocha	240
Pampa Blanca	Victoria	240
Pampa Blanca	Meche	240

Zona	Concesión	Extensión (ha)
Pampa Blanca	Consuelito	240
Pampa Blanca	La Chiquitosa	240
Pampa Blanca	Ketty	240
Pampa Blanca	Gilda	240
Pampa Blanca	La Mona	240
Pampa Blanca	Lucha	240
Pampa Blanca	Rosita	240
Pampa Blanca	Julia	240
Pampa Blanca	San Antonio de Poto 96	900
Total		9 120

Fuente: Ministerio de Energía y Minas

CAPÍTULO V

OPERACIONES MINERAS

GENERALIDADES

La explotación se realiza con el apoyo de cargadores frontales, camiones volquetes y excavadoras para el minado y transporte, mientras que el beneficio del material aurífero se realiza mediante «chutes» instalados cerca del área de minado, complementado con un sistema de canaletas con mantas y «rifería».

Luego del lavado se obtiene grava de clastos mayores de ¼ de pulgada, acondicionados en pilas con alturas hasta de 10 m, acomodados en cachas, mientras que los sedimentos finos menores de ¼ de pulgada constituyen los relaves y son transportados como sólidos en suspensión al curso de los ríos que conformarán el llamado Grande y posteriormente el Ramis (MINEM 2006).

Tomando en cuenta los derechos especiales asignados a Minero Perú, los terrenos fueron agrupados en cuatro unidades independientes: Pampa Blanca, Arequipa Pampa, Ancocala y Huacchani. Entonces se proyectó que el desarrollo de cada unidad se basaría en un mínimo de dos dragas con capacidad unitaria de 10 millones de yd³/año.¹ Para este propósito se consideró desarrollar un total de 500 millones de yd³ de reservas, lo cual implica 10 000 m de perforación en grava. Afortunadamente en la zona existe un gran potencial hidroeléctrico y de abastecimiento de agua que sustentarían las operaciones. En las operaciones de extracción en los depósitos auríferos de las morrenas ubicadas en la zona de Chaquiminas se utilizan equipos pesados para remover el material.

Los factores físicos que afectan la recuperación del oro en los depósitos de origen glaciar son el tamaño, la forma y la liberación de los granos de oro; ellos están determinados por la configuración primaria de los minerales y el modo de transporte glaciar sobre distancias relativamente cortas.

Otros factores importantes incluyen el carácter de la roca matriz y su forma de descomposición, cantidad y tipo de arcillas. Por ejemplo, la roca matriz encajonante está conformada por esquistos grafiticos (cuarcitas y otros) que generan arcillas en su proceso de descomposición y dejan porcentajes elevados de ella (25 a 60%) en el detritus glaciar.

CARACTERIZACIÓN DE LA TECNOLOGÍA DE LAS OPERACIONES MINERAS

Las operaciones de explotación a cielo abierto, concentración gravimétrica y recuperación aurífera, comprenden las siguientes fases:

- Remoción de la sobrecarga.
- Remoción de la grava.
- Lavado y clasificación del material aurífero.
- Concentración gravimétrica de arenas pesadas.
- Amalgamación.
- Refogado.

a. Remoción de sobrecarga

El tractor realiza el desbroce del material estéril orgánico haciendo cortes y después baja unos 0,30 m del nivel de grava para eliminar las arcillas que resultan de la erosión. Este material no tiene importancia económica.

b. Remoción de grava

El arranque de material de grava se realiza con una excavadora o cargador frontal, que también carga a los camiones-volquete.

c. Transporte de grava

Para transportar las gravas desde el depósito aluvial hasta la planta de concentración se utilizan camiones-volquete de 15 m³ de capacidad.

Según informes recogidos de trabajadores, se estima que los cargadores frontales superan el centenar, aunque existen excavadoras que están reemplazando a los primeros por su versatilidad, capacidad y selectividad de arranque.

Las operaciones no son planificadas, se desarrollan en forma espontánea, sin control técnico ni ambiental, generando taludes que comprometen la estabilidad del terreno y ponen en riesgo la seguridad del personal y la maquinaria que trabajan en la zona.

¹ 1 yd³=27 pies³=0,765 m³

La preparación y arranque del material aluvial, carguío/acarreo y transporte se desarrollan con los siguientes equipos:

- Tractor
- Cargador frontal
- Cargador frontal/camión-volquete
- Excavadora/camión-volquete

d. Concentración gravimétrica

El material de pulpa se descarga en una tolva provista de una rejilla de barras de hierro de 3/8 de pulgada, con separación de barras de 1/2 pulgada. El material grueso se descarga directamente al río, en tanto que el material fino alimenta al sistema de sluices de 10 x 4 x 0,14 m, de dos pisos.

El piso de fondo de los sluices es de plástico, lleva rifles de madera y arpillera de yute, y la pendiente varía entre 12 y 17 grados. En este sistema de sluices se efectúa el proceso de concentración de los metales valiosos y los minerales pesados.

El material depositado en los sluices se transfiere en tinajas para su amalgamación en proporciones de oro a mercurio de 1 a 2. La amalgama obtenida se somete al proceso de refogado para conseguir el oro metálico.

Se estima que la recuperación del material aurífero oscila entre 40 y 60%. La densidad de pulpa (relación peso carga a agua) se encuentra entre 1:4 y 1:10, y depende de la disponibilidad del recurso hídrico y la habilidad operacional del trabajador minero.

CARACTERÍSTICAS DE LOS EQUIPOS

Las operaciones son modulares: cargador frontal-volquete o excavadora-volquete; los equipos se alquilan por horas y el promedio de horas de trabajo es 16 aproximadamente. Cuadro 5.1.

El material recuperado del primer sistema de sluices es procesado en un pequeño canal con riflería (ingenio), y de ahí pasa a la etapa de amalgamación. Luego, el material resultante es bateado en el laboratorio para separar las arenas pesadas y dejar libre la amalgama; se continúa entonces con el exprimido en tela para eliminar el exceso de mercurio. Finalmente, la amalgama se funde mediante el uso de un soplete para obtener el oro doré (véase el Cuadro 5.2).

Para realizar estos trabajos se utiliza el agua de los deshielos de la zona alta, en la cabecera del río Ramis, y se preparan pozas de almacenamiento provisional de agua que luego se usa con presión asistida.

Cuadro 5.1
Parámetros de operación de los equipos mineros

Equipo	Marca	Capacidad m ³	Rendimiento m ³ /hr	Alquiler US \$/h	Rendimiento m ³ /día
Cargador frontal	CAT	3,5	50	120	500
Volquete dumper	Volvo	15	36	70	360
Excavadora	CAT	----	70	220	700

Cuadro 5.2
Resultados de las operaciones diarias del módulo
cargador-volquete

Concepto	Valores
Explotación por hora (m ³)	50
Explotación por turno, 50 m ³ x 4 h	200
Explotación por día, 200 m ³ x 4 turnos	800
Ley, g/m ³ Au	0,30
Jornada diaria, horas	16
Recuperación, %	50
Producción de Au, g/día	120

Fuente: Elaboración propia.

CAPÍTULO VI

CALIDAD DE AGUA SUPERFICIAL Y SEDIMENTOS

MUESTREO Y PROCEDIMIENTOS DE CAMPO

Ubicación de las estaciones de muestreo

Se diseñó una malla de muestreo sistemático de todo el recorrido del río más importante de la cuenca del Ramis, con espaciamiento de 10 km, de acuerdo a los procedimientos para muestreo de prospección geoquímica de aguas superficiales.

El muestreo se realizó entre los meses de marzo y abril de 2006 y se tomaron 40 muestras de sedimentos y 45 de aguas superficiales. La toma de muestras se realizó en los ríos de las cuencas del Ramis y el Huancané (véase mapas).

Cuadro 6.1
Ubicación de las estaciones de muestreo de aguas

N.º	Hoja	Código de hoja	Lugar próximo	N.º de muestras	Código de la muestra	Coordenadas UTM		Cota
						Norte	Este	
1	Huancané	31-x	Ramis-Huancané	28	6 HUA - PUS - AGUA.28	8 291 153	401 051	3 834
2	Huancané	31-x	Río Ramis	26	6 HUA - FIN - AGUA.26	8 307 769	415 689	3 841
3	Huancané	31-x	Río Ramis	36	6 HUA - BAL - AGUA.36	8 312 088	410 380	3 839
4	Huancané	31-x	Río Ramis	37	6 HUA - CHA - AGUA.37	8 314 367	403 611	3 835
5	Huancané	31-x	Río Ramis	38	6 JUL - PRE - AGUA.38	8 311 085	399 145	3 840
6	Juliaca	31-v	Río Ramis	43	6 JUL - CAC - AGUA.43	8 309 373	389 712	3 828
7	Juliaca	31-v	Pucará	40	6 JUL - CAL - AGUA.40	8 306 802	370 971	3 853
8	Juliaca	31-v	Pucará-Azángaro	24	6 JUL - ACH - AGUA.24	8 308 750	375 464	3 850
9	Juliaca	31-v	Azángaro	48	6 JUL - PAM - AGUA.48	8 334 543	375 470	3 856
10	Azángaro	30-v	Azángaro	49	6 AZA - SAH - AGUA.49	8 344 001	372 418	3 866
11	Azángaro	30-v	Azángaro	50	6 AZA - QUE - AGUA.50	8 352 619	371 981	3 870
12	Azángaro	30-v	Azángaro	52	6 AZA - TUM - AGUA.52	8 358 324	368 645	3 887
13	Azángaro	30-v	Crucero	54	6 AZA - SAÑ - AGUA.54	8 367 567	361 198	3 898
14	Azángaro	30-x	Crucero	57	6 AZA - JAP - AGUA.57	8 374 540	359 940	3 915
15	Azángaro	30-v	Crucero	59	6 AZA - INA - AGUA.59	8 383 200	354 105	3 947
16	Azángaro	30-v	Crucero	61	6 AZA - ANT - AGUA.61	8 388 371	360 427	3 993
17	Macusani	29-v	Crucero	63	6 MAC - CAN - AGUA.63	8 397 731	364 182	4 031
18	Macusani	29-v	Crucero	82	6 MAC - NAS - AGUA.82	8 406 016	363 299	4 062
19	Macusani	29-v	Crucero	88	6 MAC - CAR - AGUA.88	8 413 672	363 651	4 087
20	Macusani	29-v	Huayrapata	10	6 MAC - COS - AGUA.10	8 414 900	366 624	4 111
21	Macusani	29-v	Crucero	89	6 MAC - ART - AGUA.89	8 415 537	368 814	4 103
22	Macusani	29-v	Crucero	11	6 MAC - QUI - AGUA.11	8 416 100	375 067	4 114
23	Macusani	29-v	Crucero	97	6 MAC - CULL - AGUA.97	8 412 480	381 892	4 126
24	Macusani	29-v	Crucero	98	6 MAC - CRU - AGUA.98	8 411 168	391 644	4 155
25	Limbani	29-x	Crucero	83	6 LIM - ROS - AGUA.83	8 411 392	395 263	4 175
26	Limbani	29-x	Crucero	84	6 LIM - CHI - AGUA.84	8 407 345	401 073	4 206
27	Limbani	29-x	Crucero	86	6 LIM - UCH - AGUA.86	8 401 421	412 547	4 306
28	Limbani	29-x	Crucero	87	6 LIM - JAP - AGUA.87	8 397 634	421 062	4 306
29	Putina	30-x	Grande	66	6 LIM - CHU - AGUA.66	8 394 942	425 341	4 392

N.º	Hoja	Código de hoja	Lugar próximo	N.º de muestras	Código de la muestra	Coordenadas UTM		Cota
						Norte	Este	
30	Putina	30-x	Río Grande	19	6 PUT - BAL - AGUA.19	8 388 893	431 921	4 465
31	Putina	30-x	Río Grande	94	6 PUT - TAP - AGUA.94	8 382 338	431 853	4 496
32	Putina	30-x	Quebrada Niracuyo	96	6 PUT - ORI - AGUA.96	8 378 861	437 642	4 591
33	Rinconada	30-y	Laguna La Rinconada	101	6 RIN - LAG - AGUA.101	8 382 724	450 758	4 709
34	Huancané	31-x	Río Huancané	30	6 HUA - HUA - AGUA.30	8 317 590	414 891	3 835
35	Huancané	31-x	Río Huancané	31	6 HUA - HUA - AGUA.31	8 336 291	414 196	3 850
36	Putina	30-x	Putina	32	6 PUT - PUT - AGUA.32	8 351 235	406 894	3 882
37	Putina	30-x	Río Huancané	33	6 PUT - PAM - AGUA.33	8 369 112	398 884	3 947
38	Putina	30-x	Malquini	34	6 PUT - GRA - AGUA.34	8 376 104	397 910	4 081
39	Juliaca	31-v	Pucará	1	6 JUL - PUC - AGUA.01	8 310 172	365 680	3 857
40	Juliaca	31-v	Pucará	4	6 JUL - CHI - AGUA.04	8 321 873	354 638	3 874
41	Juliaca	31-v	Pucará	2	6 JUL - PUC - AGUA.02	8 331 265	354 651	3 875
42	Juliaca	31-v	Río Ramis	42	6 JUL - RAMIS - AGUA.42	8 304 774	348 800	3 850
43	Azángaro	30-v	Río Grande-Quebrada Ocotura	55	6 AZA - JUN - AGUA.55	8 367 532	359 668	3 895
44	Macusani	29-v	Antauta	9	6 MAC - ROS - AGUA.09	8 414 727	364 522	4 105
45	Huancané	31-x	Jatun Ayllu	100	6 HUA - ATU - AGUA.100	8 296 056	397 598	3 876

Cuadro 6.2

Ubicación de las estaciones de muestreo de sedimentos

N.º	Hoja	Código de hoja	Lugar próximo	N.º de muestras	Código de la muestra	Coordenadas UTM		Cota
						Norte	Este	
1	Huancané	31-x	Río Ramis	36	6 HUA - BAL - SED.36	8 312 088	410 380	3 839
2	Huancané	31-x	Río Ramis	38	6 JUL - PRE - SED.38	8 311 085	399 145	3 840
3	Juliaca	31-v	Río Ramis	43	6 JUL - CAC - SED.43	8 309 373	389 712	3 828
4	Juliaca	31-v	Pucará	40	6 JUL - CAL - SED.40	8 306 802	370 971	3 853
5	Juliaca	31-v	Pucará-Azángaro	24	6 JUL - ACH - SED.24	8 308 750	375 464	3 850
6	Juliaca	31-v	Azángaro	48	6 JUL - PAM - SED.48	8 334 543	375 470	3 856
7	Azángaro	30-v	Azángaro	49	6 AZA - SAH - SED.49	8 344 001	372 418	3 866
8	Azángaro	30-v	Azángaro	50	6 AZA - QUE - SED.50	8 352 619	371 981	3 870
9	Azángaro	30-v	Azángaro	52	6 AZA - TUM - SED.52	8 358 324	368 645	3 887
10	Azángaro	30-v	Crucero	54	6 AZA - SAÑ - SED.54	8 367 567	361 198	3 898
11	Azángaro	30-x	Crucero	57	6 AZA - JAP - SED.57	8 374 540	359 940	3 915
12	Azángaro	30-v	Crucero	59	6 AZA - INA - SED.59	8 383 200	354 105	3 947
13	Azángaro	30-v	Crucero	61	6 AZA - ANT - SED.61	8 388 371	360 427	3 993
14	Macusani	29-v	Crucero	63	6 MAC - CAN - SED.63	8 397 731	364 182	4 031
15	Macusani	29-v	Crucero	82	6 MAC - NAS - SED.82	8 406 016	363 299	4 062
16	Macusani	29-v	Crucero	88	6 MAC - CAR - SED.88	8 413 672	363 651	4 087
17	Macusani	29-v	Huayrapata	10	6 MAC - COS - SED.10	8 414 900	366 624	4 111
18	Macusani	29-v	Crucero	89	6 MAC - ART - SED.89	8 415 537	368 814	4 103
19	Macusani	29-v	Crucero	11	6 MAC - QUI - SED.11	8 416 100	375 067	4 114
20	Macusani	29-v	Crucero	97	6 MAC - CULL - SED.97	8 412 480	381 892	4 126
21	Macusani	29-v	Crucero	98	6 MAC - CRU - SED.98	8 411 168	391 644	4 155
22	Limbani	29-x	Crucero	83	6 LIM - ROS - SED.83	8 411 392	395 263	4 175
23	Limbani	29-x	Crucero	84	6 LIM - CHI - SED.84	8 407 345	401 073	4 206
24	Limbani	29-x	Crucero	86	6 LIM - UCH - SED.86	8 401 421	412 547	4 306
25	Putina	30-x	Grande	66	6 LIM - CHU - SED.66	8 394 942	425 341	4 392

N.º	Hoja	Código de hoja	Lugar próximo	N.º de muestras	Código de la muestra	Coordenadas UTM		Cota
						Norte	Este	
26	Putina	30-x	Río Grande	19	6 PUT - BAL - SED.19	8 388 893	431 921	4 465
27	Limbani	29-x	Crucero	87	6 LIM - JAP - SED.87	8 397 634	421 062	4 306
28	Putina	30-x	Río Grande	94	6 PUT - TAP - SED.94	8 382 338	431 853	4 496
29	Putina	30-x	Quebrada Niracuyo	96	6 PUT - ORI - SED.96	8 378 861	437 642	4 591
30	Huancané	31-x	Río Huancané	30	6 HUA - HUA - SED.30	8 317 590	414 891	3 835
31	Huancané	31-x	Río Huancané	31	6 HUA - HUA - SED.31	8 336 291	414 196	3 850
32	Putina	30-x	Putina	32	6 PUT - PUT - SED.32	8 351 235	406 894	3 882
33	Putina	30-x	Río Huancané	33	6 PUT - PAM - SED.33	8 369 112	398 884	3 947
34	Putina	30-x	Malquini	34	6 PUT - GRA - SED.34	8 376 104	397 910	4 081
35	Juliaca	31-v	Río Ramis	42	6 JUL - RAM - SED.42	8 304 774	348 800	3 850
36	Juliaca	31-v	Pucará	1	6 JUL - PUC - SED.01	8 310 172	365 680	3 857
37	Juliaca	31-v	Pucará	4	6 JUL - CHI - SED.04	8 321 873	354 638	3 874
38	Juliaca	31-v	Pucará	2	6 JUL - PUC - SED.02	8 331 265	354 651	3 875
39	Azángaro	30-v	Río Grande-Quebrada Ocotura	55	6 AZA - JUN - SED.55	8 367 532	359 668	3 895
40	Macusani	29-v	Antauta	9	6 MAC - ROS - SED.09	8 414 727	364 522	4 105

PROCEDIMIENTO DE MUESTREO DE AGUAS SUPERFICIALES

En cada punto establecido se tomaron muestras de agua superficial por triplicado en botellas de plástico de 500 ml, con doble tapa de seguridad. Estas muestras estaban destinadas para el estudio de aniones y cationes en sólidos totales. También se recolectó una muestra de 250 ml para el estudio de cationes en estado disuelto.

La toma de muestras de agua y de sedimentos se realizó de manera simultánea y duró aproximadamente 25 minutos, durante

los cuales se eligió el lugar de recojo, se tomó la muestra, se controlaron los parámetros físicos (temperatura, pH, conductividad eléctrica, sólidos totales disueltos), se etiquetaron las muestras y se llenaron los datos en fichas.

El control de los parámetros físicos se realizó con el instrumento Combo pH & EC Waterproof HI 98130. Para el estudio de cationes totales, la muestra fue preservada con 1 ml de ácido nítrico (HNO₃ al 0,2% de concentración) con el fin de mantener un pH menor de 2, y fue guardada en cajas conservadoras a 4 °C de temperatura.



Foto 1 Muestreo de agua y sedimentos.



Foto 2 Revisión de códigos y clasificación de muestras de agua y sedimentos

PROCEDIMIENTO DE MUESTREO DE SEDIMENTOS SUPERFICIALES

Las muestras de sedimentos fueron obtenidas simultáneamente a las de agua, se tomaron por duplicado y los testigos se sometieron a tamizado de malla 30. Cada muestra tuvo un peso aproximado de 3 kg, fueron colocadas en bolsas microporosas, etiquetadas y embaladas.

En cada lugar de muestreo se tuvo cuidado de que la muestra recogida no estuviera contaminada con material orgánico. Ellas se mantuvieron en frío hasta que fueron enviadas al laboratorio para la determinación de metales pesados y la caracterización del sedimento.

El ambiente geológico de cada muestra fue descrito tomando en cuenta la presencia de actividad minera, agricultura y población.

ESTUDIO DE TERRAZAS AURÍFERAS

En los laboratorios del INGEMMET se analizaron muestras de los placeres auríferos para determinar los elementos y sus niveles de concentración in situ, y contrastarlos luego con los resultados de los contenidos transportados aguas abajo.

Para el muestreo de los placeres auríferos se empleó «el método francés», que consiste en el muestreo vertical en canales de 0,25 x 0,40 m, con longitudes verticales que varían de 3,5 a 10 m en terrazas, y se utilizaron bolsas y baldes de plástico, pico, lampa, wincha y romana de 50 kg, entre otros. Se recogieron muestras con pesos entre 33 y 36 kg, y fueron sometidas a una concentración por lavado, que consiste en el bateado del material con movimientos centrífugos en una batea de fibra de vidrio, tomando en consideración el peso inicial y la densidad que en este caso es 1,96 kg/m³. Luego se embalaron las muestras y se enviaron al laboratorio.

El área de Ananea donde se concentran la mayoría de las operaciones mineras artesanales tiene una extensión de 6 x 2 km y 70 m de profundidad. La selección de zonas explotables fue realizada por los mineros, de tal forma que las áreas con bajos tenores fueron descartadas, y se delimitaron las áreas de interés económico. Ellas pueden ser contrastadas con la imagen de satélite adjunta. En esta zona se colectaron 5 muestras.

CAPÍTULO VII

PROCEDIMIENTO DE LABORATORIO Y ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

CONTROL DE CALIDAD

En el control de calidad se emplearon estándares, duplicados y blancos, que aseguraban un alto grado de certeza en el proceso de determinación de los contaminantes.

ANÁLISIS DE AGUA

Parámetros físico-químicos

Las determinaciones analíticas de los sólidos totales en suspensión (TSS) se establecieron según los procedimientos del *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (APHA 1995), empleando el método gravimétrico SM-2540-D.

Metales pesados

Todas las muestras de agua fueron tratadas inicialmente por digestión ácida para metales totales, según el método de digestión en ácido nítrico (SM-3030-E), sugerido por el *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*.

Para la determinación de metales totales en las muestras de agua (cationes) se usaron los procedimientos de espectrofotometría de absorción atómica-flama, adaptados del *Standard Methods* (procedimiento SM-3119), con excepción del Al y Ba. Para metales pesados se utilizó el método de espectrofotometría de absorción atómica-horno de grafito, con excepción del Zn (flama).

Para la determinación de mercurio total se usó el método de espectrofotometría de absorción atómica mediante generación de vapor frío (SM-3500-B, APHA.1995), según el procedimiento del *Standard Methods* (SM-3112-B).

Todas las determinaciones de los metales en agua se realizaron por duplicado. La interpretación de los resultados de los análisis químicos de las muestras de aguas en el curso del río Ramis se basó en la Ley General de Aguas del Perú (D.L. 17752). Los análisis se realizaron en los laboratorios del INGEMMET, con parámetros máximos permisibles concordantes con la norma peruana.

Los límites de detección para el análisis de metales totales en agua se exponen en el Cuadro 7.1, Cuadro 7.2).

Cuadro 7.1

**Límites de detección de método para la
determinación de elementos en aguas
(absorción atómica-flama)**

Elemento	Límite de detección (mg/l)	Elemento	Límite de detección (mg/l)
Cu	0,002	Ca	0,1
Pb	0,005	Mg	0,1
Zn	0,005	Na	0,1
Cd	0,0002	K	0,1
Cr	0,005	Al*	0,01
As	0,005	Sr	0,02
Hg	0,0002	Li	0,005
Mn	0,002	Ba*	0,01
Fe	0,01		

*Absorción atómica-horno de grafito

ANÁLISIS DE SEDIMENTOS

Metales pesados

Para los análisis de metales totales en sedimentos, se sometieron las muestras a una digestión de medio ácido y para la determinación de los metales totales se utilizaron los procedimientos adaptados de espectrometría de absorción atómica-horno de grafito, según el procedimiento del *Standard Methods* SM-3113-B (APHA 1995). Para la determinación de mercurio total se usó el método de espectrometría de absorción atómica mediante generación de vapor frío, según el procedimiento del *Standard Methods* SM-3112-B.

La determinación de metales en sedimentos de cada muestra fue realizada por duplicado. Tanto los análisis de agua como los de sedimentos fueron realizados en los laboratorios del INGEMMET.

Para la determinación de los niveles máximos permisibles se tomaron como referencia los límites suecos. La clasificación de concentraciones de metal en sedimentos se basa en la distribución de concentraciones en sedimentos de superficie de los lagos de Suecia. Los niveles en clases 4-5 ocurren generalmente en las localidades contaminadas. Los niveles de la clase 5 han sido medidos solamente en localidades aisladas en Suecia.

Cuadro 7.2
Límites de calidad de aguas para consumo y estándares de la Ley General de Aguas del Perú
(D.L. 17752) y parámetros internacionales

Parámetros	Clase I µg/l	Clase III µg/l	Clase VI µg/l	U.S.EPA (2002) µg/l	OMS (2004) µg/l	FAO Irrigación µg/l
pH	5-9	5-9	5-9			
Arsénico	100	200	50	10	10	1 000
Cadmio	10	50	4	5	3	10
Cromo	50	1 000	50	100	50	100
Cobre	1 000	500	*	1 300	2 000	200
Hierro	---	---	---	---	---	---
Plomo	50	100	30	15	10	---
Manganeso	---	---	---	---	---	200
Mercurio	2	10	0,2	2(inorg)	1	na
Zinc	5 000	25 000	**	5 000	5 000	---
Níquel	2	1+	**	20	20	---

* Prueba de 96 horas LC50 multiplicadas por 0,1.

** Pruebas de 96 horas multiplicadas por 0,02.

N.A. Valor no aplicable.

1+ Valores que deben ser determinados.

Las concentraciones metal en sedimentos pueden clasificarse en base al análisis individual. Las muestras de sedimentos deben ser tomadas del suelo en zonas acumuladas.

Valores referenciales

Los valores de referencia son estimados de las concentraciones de metal original y natural en diferentes tipos de agua de Suecia.

Metales en sedimentos

La clasificación de concentrados de metal en sedimentos se basa en la distribución de concentración de sedimentos en la superficie de los lagos de Suecia (mg/kg de sustancia seca en superficie).

Cuadro 7.4
Límite máximo permisible en sedimentos
según la tabla holandesa

Elemento	LMP ppm
Cu	500
Pb	600
Zn	3 000
Cd	20
As	50
Hg	10
Mn*	3 000

* Límite referencial.

Cuadro 7.3
Límite máximo permisible en sedimentos según la tabla de Suecia

Clase	Cobre ppm	Plomo ppm	Zinc ppm	Cadmio ppm	Arsénico ppm	Mercurio ppm	Cromo ppm	Níquel ppm
Muy bajo	< 15	< 50	< 150	< 0,8	< 5	< 0,15	< 15	< 5
Bajo	15 – 25	50 – 150	150 – 300	0,8 – 2,0	5 – 10	0,15 – 0,3	15 – 25	5 – 15
Mod. alto	25 – 100	150 – 400	300 – 1 000	2 – 7	10 – 30	0,3 – 1	25 – 100	15 – 50
Alto	100 – 500	400 – 2 000	1 000 – 5 000	7 – 35	30 – 150	1 – 5	100 – 500	50 – 250
Muy alto	> 500	> 2 000	> 5 000	> 35	> 150	> 5	> 500	> 250

Cuadro 7.5
Límites de detección para la determinación de elementos en sedimentos

Elemento	Límite de detección (ppm)	Elemento	Límite de detección (ppm)
Cu	5	Cr	5
Pb	5	Co	5
Zn	5	Ni	5
Ag	0,5	Al*	0,002
Fe*	0,001	Sb	5
Mn	5	Li	5
Cd	0,5	Sr	5
As	5	Ti*	0,002

* La determinación es en %

INTERPRETACIÓN DE METALES EN AGUAS SUPERFICIALES

Para la interpretación se usaron los criterios de calidad establecidos por la Ley General de Aguas (D.L. 17752) y su modificatoria el D.S. N.º 007-83-SA (Límites de sustancias potencialmente peligrosas, tipos I, III y VI). Esta ley establece los límites de calidad de agua sobre la base del uso previsto de este elemento. También se ha tomado en cuenta que la agricultura, la ganadería, el consumo humano y la pesca representan los usos principales del agua en esta cuenca del río Ramis

Los resultados han sido ordenados de manera ascendente, desde la desembocadura al lago Titicaca hasta la cabecera de la cuenca, donde se origina el río Grande.

Los gráficos expresan el aporte de contaminación de los elementos analizados también de manera ascendente y progresiva. De esta manera es posible determinar la relación directa que tienen las operaciones de la zona de Ananea.

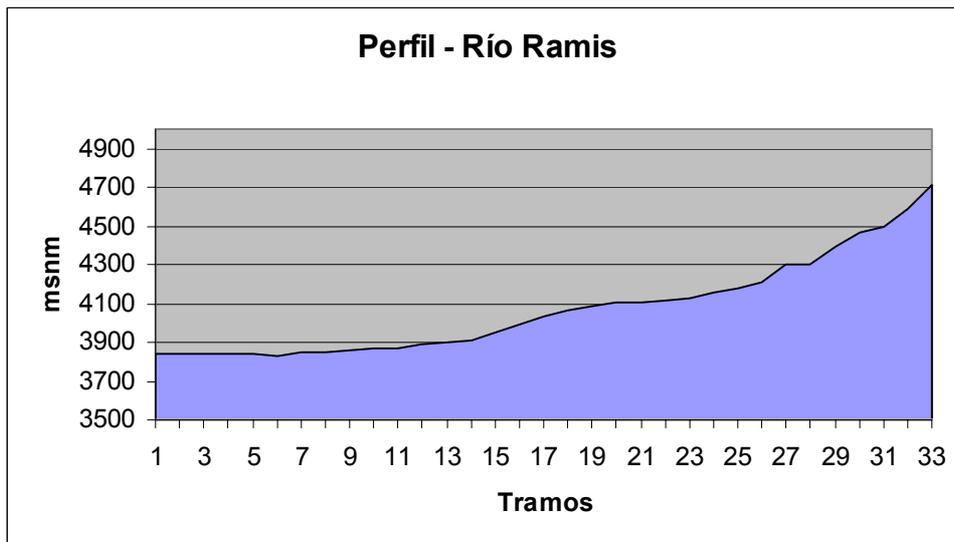


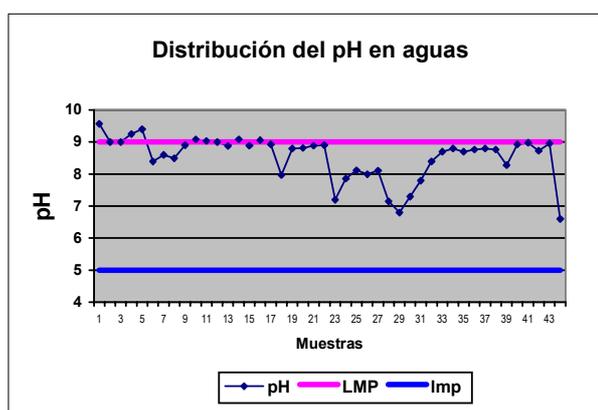
Fig. 7.1 Distribución del muestreo de acuerdo a cota ascendente

Cuadro 7.6
Parámetros físicos de aguas en muestreo sistemático

N.º de orden	Código	Parámetros físicos de aguas			
		t °C	pH	CE (mS/cm ²)	TDS mg/l
1	6 HUA – PUS - AGUA.28	15	9,57	1884	944
2	6 HUA - FIN - AGUA.26	15	9	302	151
3	6 HUA - BAL - AGUA.36	14	9	300	150
4	6 HUA – CHA - AGUA.37	14	9,25	347	223
5	6 JUL - PRE - AGUA.38	15,8	9,4	310	149
6	6 JUL - CAC - AGUA.43	14,4	8,4	262	130
7	6 JUL - CAL - AGUA.40	17	8,73	223	111
8	6 JUL - ACH - AGUA.24	17	8,6	225	113
9	6 JUL - PAM - AGUA.48	15	8,5	492	246
10	6 AZA - SAH - AGUA.49	19	8,9	495	248
11	6 AZA - QUE - AGUA.50	18,5	9,09	489	243
12	6 AZA - TUM - AGUA.52	19,7	9,04	478	239
13	6 AZA - SAÑ - AGUA.54	14	9	369	186
14	6 AZA - JAP - AGUA.57	16	8,88	366	183
15	6 AZA - INA - AGUA.59	16	9,09	365	183
16	6 AZA - ANT - AGUA.61	18,6	8,89	357	178
17	6 MAC – CAN - AGUA.63	15	9,06	331	166
18	6 MAC – NAS - AGUA.82	16	8,93	331	165
19	6 MAC – CAR - AGUA.88	13,5	7,97	329	166
20	6 MAC – COS - AGUA.10	15	8,96	307	152
21	6 MAC – ART - AGUA.89	13,5	8,8	378	188
22	6 MAC - QUI - AGUA.11	12,8	8,82	314	157
23	6 MAC - CULL - AGUA.97	12	8,89	315	157
24	6 MAC – CRU - AGUA.98	12	8,9	286	142
25	6 LIM - ROS - AGUA.83	13	7,2	192	96
26	6 LIM - CHI - AGUA.84	12,6	7,86	178	88
27	6 LIM - UCH - AGUA.86	13	8,12	142	71
28	6 LIM - JAP - AGUA.87	15	8	167	83
29	6 LIM - CHU - AGUA.66	13	8,11	100	50
30	6 PUT - BAL - AGUA.19	12	6,6	50	24
31	6 PUT - TAP - AGUA.94	12	7,15	144	72
32	6 PUT - ORI - AGUA.96	16	6,8	321	158
33	6 RIN - LAG - AGUA.101	12	7,3	262	133
34	6 HUA – HUA - AGUA.30	17,1	7,8	664	333
35	6 HUA – HUA - AGUA.31	19	8,4	804	405
36	6 PUT - PUT - AGUA.32	13	8,7	296	148
37	6 PUT – PAM - AGUA.33	11	8,8	405	202
38	6 PUT - GRA - AGUA.34	11	8,7	191	95
39	6 JUL - PUC - AGUA.01	16	8,77	227	114
40	6 JUL - CHI - AGUA.04	21	8,8	291	144
41	6 JUL - PUC - AGUA.02	16	8,77	249	125
42	6 JUL - RAMIS - AGUA.42	17,2	8,28	229	114
43	6 AZA - JUN - AGUA.55	17	8,93	587	293
44	6 MAC – ROS - AGUA.09	15	8,98	234	118

pH en aguas

El potencial hidrógeno (pH), como el logaritmo negativo de la actividad de los iones hidrógeno, es usado universalmente para determinar si una solución es ácida o básica. De esta forma se mide la concentración de iones hidrógeno en una disolución.



LMP: límite máximo permitido
Imp : límite mínimo permitido

Fig. 7.2 pH en aguas de puntos de muestreo

Los niveles de pH en aguas de las muestras tomadas no alcanzan el límite mínimo permitido de acidez; sin embargo, las muestras 1, 4, 5, 11, 12, 15 y 17 superan ligeramente el nivel de basicidad.

La muestra 1 fue tomada en el espejo de agua a orillas del flanco oeste del lago Titicaca y tiene un pH de 9,57. Considerando que las aguas dulces tienen el pH entre 7 y 9, el alto nivel de carbonatos en esta muestra se debería a las emanaciones de agua procedentes de una perforación de exploración en busca de petróleo en la zona de Jatun Ayllu–Ahuallani, en el distrito de Pusi, provincia de Huancané, como se observa en la muestra 45 del Anexo (6 HUA-ATU-AGUA.100).

Conductividad eléctrica (CE)

La conductividad eléctrica es una expresión numérica de la capacidad de una solución para transportar una corriente eléctrica. Esta capacidad depende de la presencia de iones y de su concentración total, movilidad, valencia y concentraciones relativas, así como de la temperatura de medición. Cuanto mayor sea la concentración de iones mayor será la conductividad. Esta medición determina las variaciones de la concentración de los minerales disueltos en aguas.

Diversos estudios —como el caso de Pizarro (1978)— coinciden en no confundir la CE aceptable en el agua de riego con la CE que tolera un cultivo, puesto que la CE del agua de la solución del suelo (expresado normalmente por la CE que corresponde al

estado de saturación) generalmente es mayor que la del agua de riego (Medrano 2001).

La clasificación del agua de riego, según la CE del Cuadro 7.7, puede proporcionar parámetros de calidad de agua.

Cuadro 7.7
Clasificación de aguas para riego según su CE

Clasificación	CE 25° $\mu\text{S/cm}$	Concentración sal en g/l
C.1 baja salinidad	0 - 250	Menor de 0,2
C.2 salinidad media	250 - 750	0,2 - 0,5
C.3 altamente salina	750 - 2 250	0,5 - 1,5
C.4 muy altamente	2 250 - 5 000	1,5 - 3

$\mu\text{S/cm}$: micro siemens/centímetro (unidad de medición de CE).

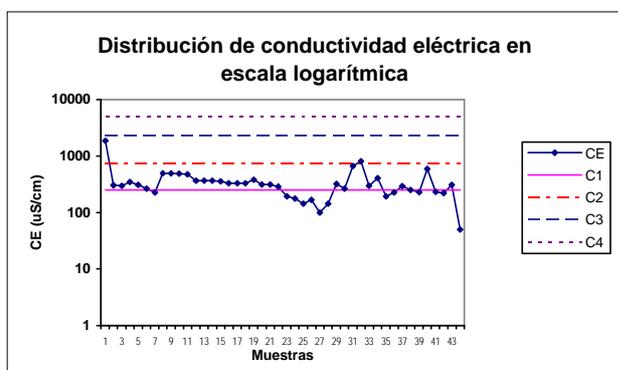


Fig. 7.3 Conductividad eléctrica en aguas

En nuestro caso, en la Fig. 7.3 y según la tabla 7.7, se puede observar que el agua tiene un comportamiento de salinidad media (C.2) en la mayoría de muestras desde la 1 a la 24 (intersección de los ríos Picotani y Crucero), y luego, de la muestra 32 a la 44 mostrarán la misma tendencia. No obstante, se debe destacar que este tramo corresponde a los ríos tributarios durante todo el recorrido del Ramis. Asimismo, es importante resaltar que las aguas residuales que contienen cantidades significativas de minerales muestran una variación diaria considerable de acuerdo a la actividad desarrollada.

La muestra 1 se encuentra en el nivel altamente salino (C.3) según el Cuadro 7.3, con 1884 $\mu\text{S/cm}$. Es posible explicar este fenómeno por la influencia de la muestra 45 (6 HUA-ATU-AGUA.100) que tiene una $\text{CE} > 3999$; esta muestra proviene de una perforación de exploración de petróleo que ha quedado abandonada sin ser sellada y de ella emana salmuera. Esta emanación recorre aproximadamente 3 km y llega al lago Titicaca; por la naturaleza de la corriente de norte a sur desemboca en el río Desaguadero y ha influenciado la muestra 1.



Foto 3 Muestra N° 45 (6 HUA-ATU-AGUA.100) $\text{CE} > 3999$, salmuera que emana del subsuelo como resultado de una perforación para exploración de petróleo.

Sólidos totales disueltos (TDS) en aguas

Son todas las sustancias que se encuentran disueltas en el agua.

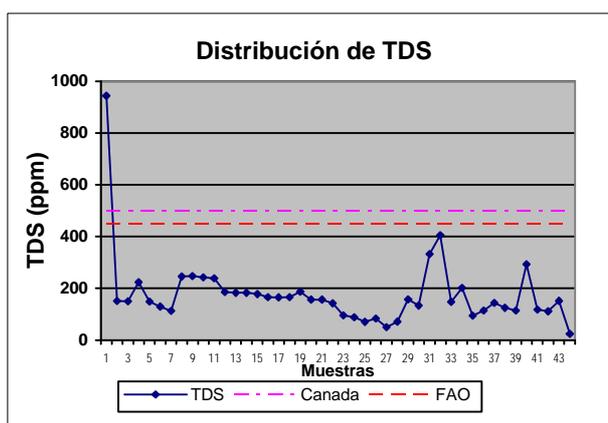


Fig. 7.4 TDS en aguas de la cuenca del Ramis

Cuadro 7.8
Estándares para la medición de TDS para irrigación y ganado

Parámetro	Unidades	FAO (Irrigación)	Canadá (Irrigación)	Canadá (Ganado)
Sólidos disueltos totales	mg/l	450	500	3 000

Canadian Environmental Quality Guideline
Diciembre del 2003.

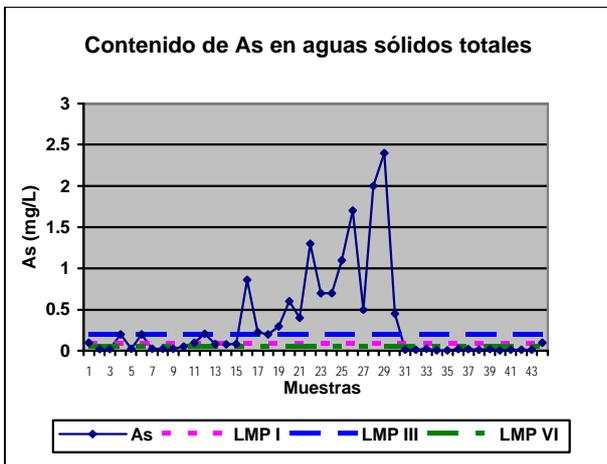
La evaluación de los sólidos totales disueltos se hizo usando la *Guía de Calidad Ambiental de Canadá* para los casos de irrigación y ganado, y los estándares para irrigación de la Organización

para la Agricultura y Alimentación (FAO), los cuales son mostrados en el Cuadro 7.8. Los resultados que allí se exponen indican que la mayoría de muestras se encuentra dentro de los estándares de Canadá y de la FAO, tanto para uso agrícola como para el consumo de animales.

La muestra 1 supera el límite de los estándares y ello se explica por los mismos motivos por los que aparecen alterados los valores de la CE y el pH.

La toma de lectura de los sólidos totales disueltos (TDS) se realizó en época de escorrentía, in situ y de manera directa, con el equipo manual Combo Waterproof HI 98130 que toma lectura de todas las sustancias que se encuentran en fase disuelta en el agua.

Concentración de arsénico



(LMP I, III, VI): límite máximo permitido para clase de agua I, III y VI.

Fig. 7.5 As en aguas de la cuenca del Ramis

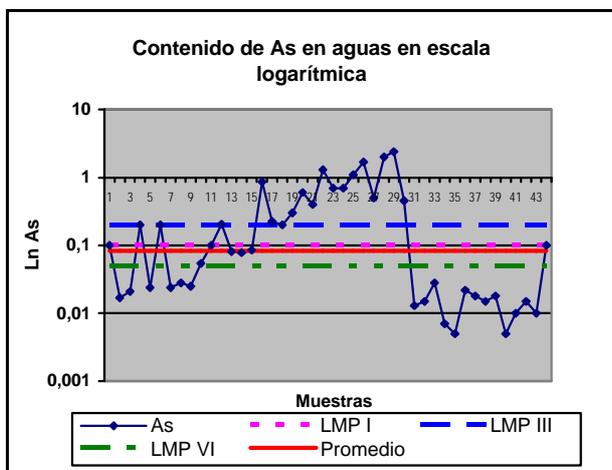


Fig. 7.6 As en aguas de la cuenca del Ramis (Ln As)

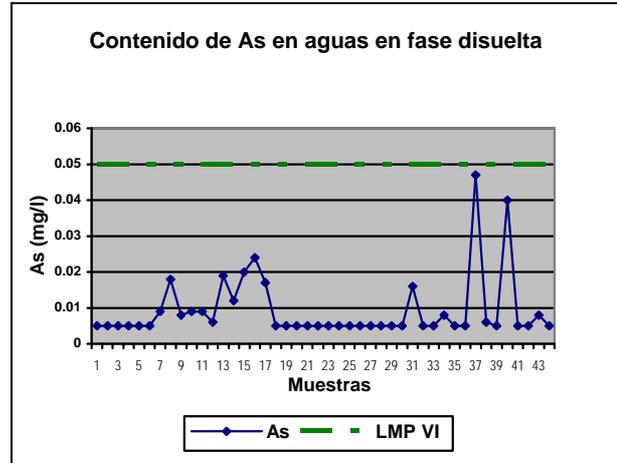


Fig. 7.7 As en aguas de la cuenca del Ramis

El arsénico es uno de los elementos de mayor presencia en las muestras. Las muestras 1 a la 33 son las que representan el recorrido que hace el río principal, mientras que las restantes (de la 34 a la 44) son las muestras de los ríos tributarios.

Se ha tomado como referente la norma peruana en los tipos de agua I, III y VI. Se observa que varias de las muestras desde la naciente del río, zona de Ananea, hasta la zona de San Antón superan los límites de contenido de As. Asimismo, las muestras 4, 6 y 12 no alcanzan al LMP de tipo I, pero sí los tipos III y VI. Diecinueve muestras que representan el 43% de la población se encuentran dentro de los límites de la clasificación de los tres tipos.

En la zona de la cabecera del río, o zona de concentración, se ha realizado un muestreo de sedimentos de suelos no alterados (terrazas; véase Cuadro 7.9) que muestra que el material in situ tiene alto contenido de arsénico que se logra diluir y distribuir a través del río principal mediante la remoción que generan las diversas actividades mineras. El tratamiento estadístico muestra un contenido promedio de As en las aguas de 0,083 mg/l, sobrepasando el LMP del agua tipo VI (aguas de zonas de preservación de fauna acuática y pesca recreativa o comercial). La desviación estándar es relativamente alta, lo que demuestra la alta variabilidad de las concentraciones en cada punto de muestreo, especialmente en aquellos que tienen altas concentraciones de arsénico.

La exposición al arsénico inorgánico puede causar varios efectos sobre la salud, como irritación del estómago e intestinos, disminución en la producción de glóbulos rojos y blancos, cambios en la piel e irritación de los pulmones. Se ha sugerido que la toma de cantidades significativas de arsénico inorgánico puede intensificar las posibilidades de desarrollar cáncer, especialmente de piel, pulmón, hígado y linfa.

Las exposiciones muy altas a arsénico inorgánico pueden causar infertilidad y abortos en las mujeres, así como perturbación de la piel, pérdida de la resistencia a infecciones, perturbación en el corazón y daño cerebral tanto en hombres como en mujeres. Finalmente, el arsénico inorgánico puede dañar el ADN.

El arsénico es un componente que es extremadamente duro de convertir en productos solubles en agua o volátiles. Es un compuesto móvil, lo que significa que no suelen haber grandes concentraciones en un sitio específico. Sin embargo, el punto negativo es que la contaminación por arsénico llega a tener una amplia distribución debido a que se esparce muy fácilmente.

El ciclo del arsénico ha sido ampliado como consecuencia de la interferencia humana, y debido a esto grandes cantidades de este elemento químico terminan en el ambiente y en los organismos

vivos. No puede ser destruido una vez que ha entrado en el ambiente, así que las cantidades que se han añadido pueden esparcirse y causar efectos en la salud de los humanos y los animales.

Las plantas absorben arsénico muy fácilmente, así que un alto rango de concentraciones puede estar presente en la comida. Las concentraciones del peligroso arsénico inorgánico que se encuentra en las aguas superficiales aumentan las posibilidades de alterar el material genético de los peces; la principal causa de esto es la acumulación de arsénico en los organismos de las aguas dulces consumidores de plantas. Las aves comen peces que contienen importantes cantidades de arsénico y morirán por envenenamiento con este elemento, como consecuencia de la descomposición de los peces en sus cuerpos (Lenntech 2004).

Cuadro 7.9
Concentración de arsénico en sedimentos. Muestreo en terrazas

Código de muestra	Coordenada Norte	Coordenada Este	Concentración de As g/t
6PUT - ANA - TER. 1	8 377 609	440 169	95
6PUT - ANA - TER. 2	8 378 196	438 697	129
6PUT - ANA - TER. 3	8 378 348	438 432	106
6PUT - ANA - TER. 4	8 378 517	435 675	212
6PUT - ANA - TER. 5	8 377 485	441 016	145



Foto 4 Muestreo de terrazas

Concentración de cobre, zinc y cadmio

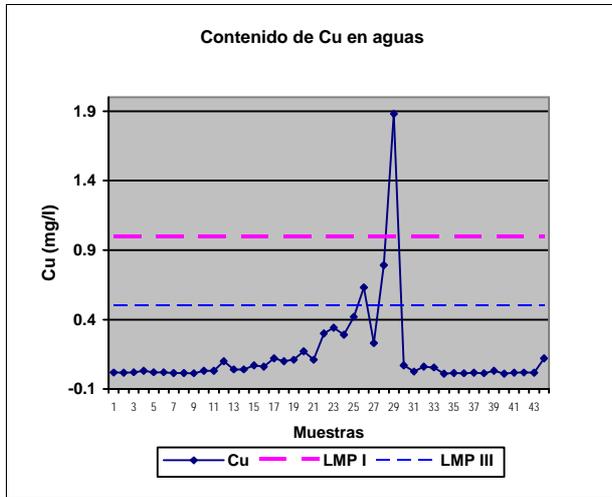


Fig. 7.8 Cu en aguas de la cuenca del Ramis

En el gráfico se observa que 3 muestras (28, 31 y 32) superan los límites del tipo III de la norma peruana (0,5 mg/l) y la muestra 29 supera los límites del tipo I, también de la norma peruana (1 mg/l). Esta muestra fue tomada en la cabecera del río y se interpreta que las aguas contienen el cobre diluido por las operaciones mineras (Foto 5).

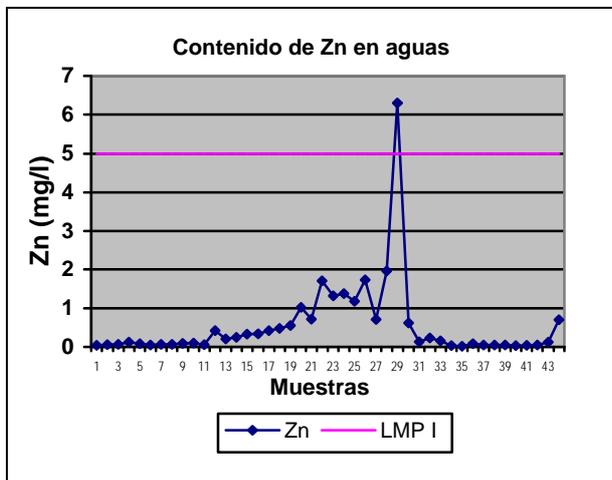


Fig. 7.9 Zn en aguas de la cuenca del Ramis

En el caso del Zn, casi todas las muestras se encuentran debajo de los límites máximos permitidos por la norma peruana. No obstante, se puede observar la variabilidad en un tramo comprendido por las muestras 13 a la 32, lo cual indica la actividad que tiene este metal como consecuencia de la minería, y se manifiesta fundamentalmente en muestras aguas abajo de la cabecera del río Grande (Foto 6).

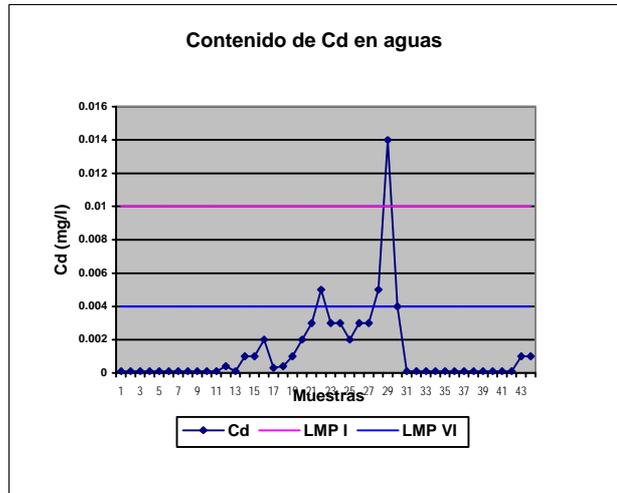


Fig. 7.10 Cd en aguas de la cuenca del Ramis

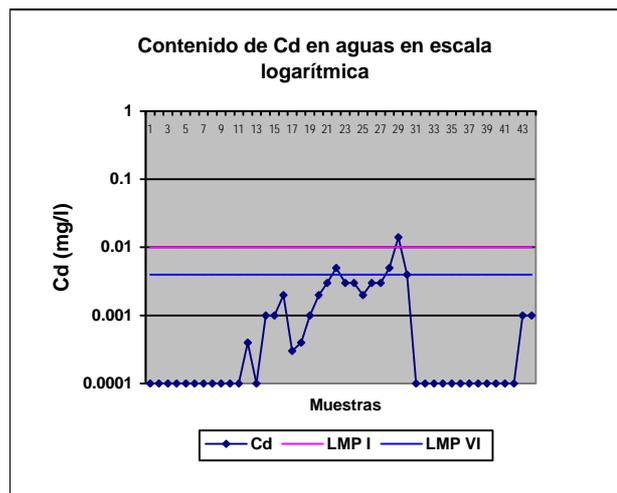


Fig. 7.11 Cd en aguas de la cuenca del Ramis en escala logarítmica

Un total de 24 muestras —que representan el 54% de la población muestral— se encuentran por debajo de los límites de detección (0,0002 mg/l). No obstante, para los efectos del análisis se muestra la información en escala logarítmica, tal como se observa en la Figura 7.11 que muestra la concentración del Cd en el curso de las aguas del río Ramis mayormente por debajo de los niveles de calidad de agua para el tipo I, III y VI. Las muestras 22 y 28 superan el límite máximo permitido del tipo de agua VI, mientras que la muestra 29 (6 PUT - ORI - AGUA.96) supera no solo el tipo de agua VI sino también el límite para el tipo I de la norma peruana. Esta muestra fue tomada en la zona de mayor concentración de las operaciones mineras de Ananea.



Foto N° 5 Reservorios de agua para épocas de estiaje usados para el lavado de material aurífero en Ananea.



Foto N° 6 Explotación en la zona de Pampa Blanca con excavadora.

Aunque las concentraciones se encuentran dentro de la norma (la dispersión en el recorrido que hacen las aguas), la desviación estándar es relativamente alta: 1,59, lo que explica la alta variabilidad. El promedio es 0,0001 mg/l.

La disminución del concentrado de Cd ocurre a medida que las aguas se alejan del foco de concentración, es decir se va diluyendo y es posible que se esté acumulando en sedimentos, lo cual se verá posteriormente en el estudio de especiación secuencial.

El cadmio no se encuentra en estado libre en la naturaleza, ocurre en combinación con el zinc. Este metal puede ser liberado en los ríos a través de la descomposición de rocas, algo de cadmio es liberado al aire a través de fuegos forestales y volcanes, y el resto es liberado por las actividades humanas como la manufactura.

Otra fuente importante de emisión de cadmio es la producción de fertilizantes fosfatados artificiales. Parte de él terminará en el suelo después de que el fertilizante sea aplicado en los campos de cultivo y el resto terminará en las aguas superficiales cuando discurran por las pendientes debido a efectos meteorológicos.

El cadmio puede ser transportado a grandes distancias cuando es absorbido por el lodo. El lodo rico en este metal puede contaminar las aguas superficiales y los suelos.

Además, el cadmio es fuertemente adsorbido por la materia orgánica del suelo. Cuando este metal está presente en el suelo, éste puede ser extremadamente peligroso. Los suelos que son ácidos aumentan la asimilación de cadmio por las plantas. Esto es un

daño potencial para los animales que dependen de las plantas para sobrevivir pues el cadmio puede acumularse en sus cuerpos, especialmente cuando consumen muchas plantas diferentes. Por este motivo, las vacas pueden tener grandes cantidades de cadmio en sus riñones.

Las lombrices y otros animales esenciales para el suelo son extremadamente sensibles al envenenamiento por cadmio; pueden morir a muy bajas concentraciones y esto tiene consecuencias en la estructura del suelo. Las concentraciones altas de este metal en el suelo pueden influir en los procesos de microorganismos del suelo y amenazar a todo su ecosistema.

En ecosistemas acuáticos el cadmio puede bioacumularse en los peces y la susceptibilidad a este metal puede variar ampliamente entre los organismos acuáticos. Por otro lado, los animales que ingieren cadmio de alguna manera pueden tener la presión sanguínea alta, así como daños en el hígado, nervios y cerebro (Lenntech 2004).

El estudio en aguas en fase disuelta muestra resultados de concentración de cadmio en un intervalo de $< 0,0002$ y $0,0002$, que es el límite de detección máximo, lo cual explica que este metal es transportado conjuntamente con los sólidos en suspensión y que son distribuidos en función de la corriente y las precipitaciones.

El estudio mineralógico de la muestra 29 en la fase de sólidos en suspensión presenta trazas de esfalerita, pirita oropimente y rejalgar, lo que nos hace presumir la asociación del cadmio con el zinc en esta muestra.

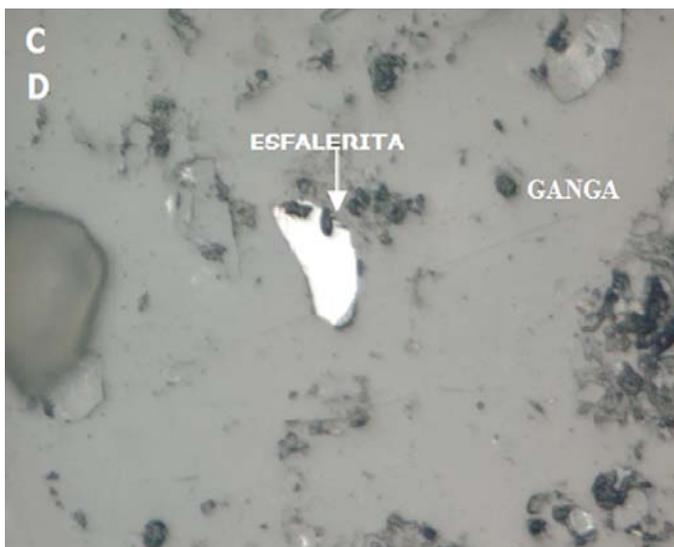


Foto 7 Granos libres de esfalerita y ganga



Foto 8 Grano de ganga libre y ganga asociada a rejalgar



Foto N° 9 Proceso de remoción en las terrazas auríferas



Foto N° 10 Espejo de agua originado por las operaciones mineras: Muestreo de sedimentos superficiales en materiales alterados.

Concentraciones de cromo

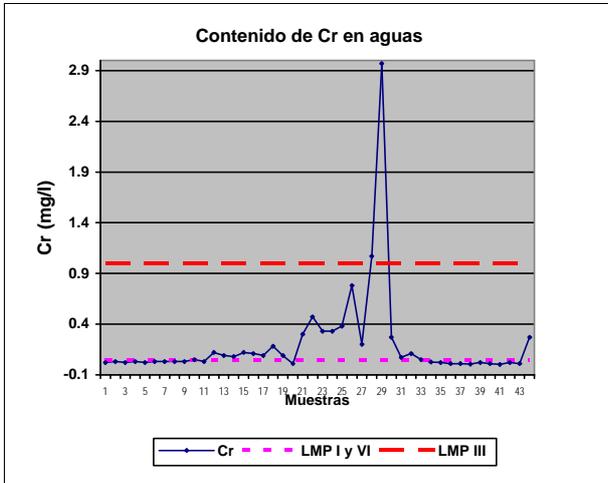


Fig. 7.12 Cr en aguas de la cuenca del Ramis

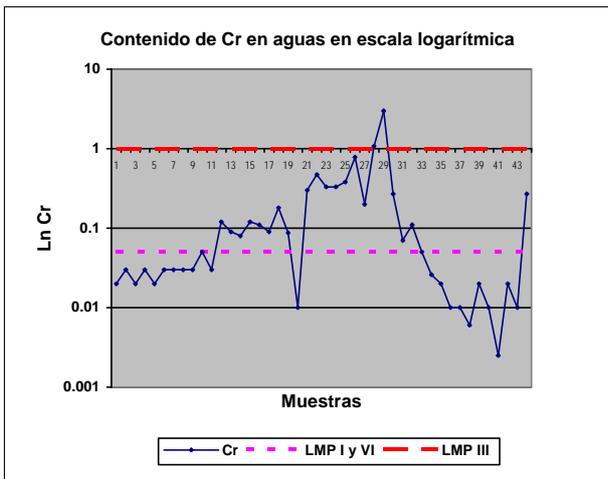


Fig. 7.13 Cr en aguas de la cuenca del Ramis en escala logarítmica

La concentración de Cr presenta alta variabilidad. Veinte muestras superan los LMP del tipo I de la norma peruana y solo una muestra supera los LMP del tipo III de la norma peruana en 1,97 mg/l.

Los cultivos tienen sistemas para consumir la toma de cromo en cantidades suficientemente bajas como para no causar cáncer. Pero cuando la cantidad presente en el suelo aumenta, pueden crecer las concentraciones en los cultivos; otro factor que influye en la captación de cromo por los cultivos es la acidificación del suelo. Las plantas usualmente absorben solo cromo (III); es probable que esta clase de cromo sea esencial, pero cuando las concentraciones exceden cierto valor pueden ocurrir efectos negativos.

Las altas concentraciones de cromo pueden dañar las agallas de los peces que se encuentran cerca del punto de vertido. Este metal puede causar problemas respiratorios en los animales, pero una baja disponibilidad puede favorecer ciertas enfermedades, defectos de nacimiento, infertilidad y formación de tumores (Lenntech 2004).

Concentración de plomo

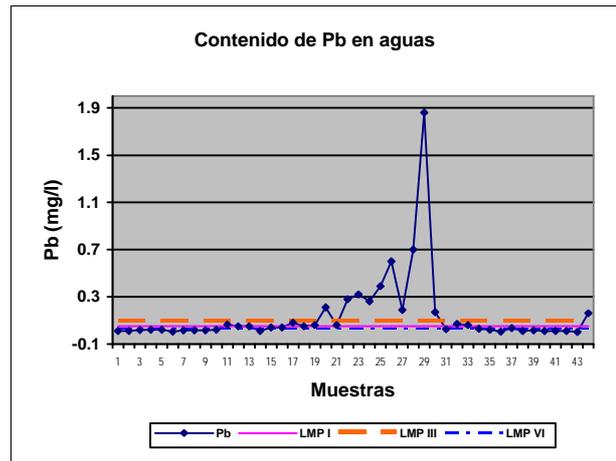


Fig. 7.14 Pb en aguas de la cuenca del Ramis

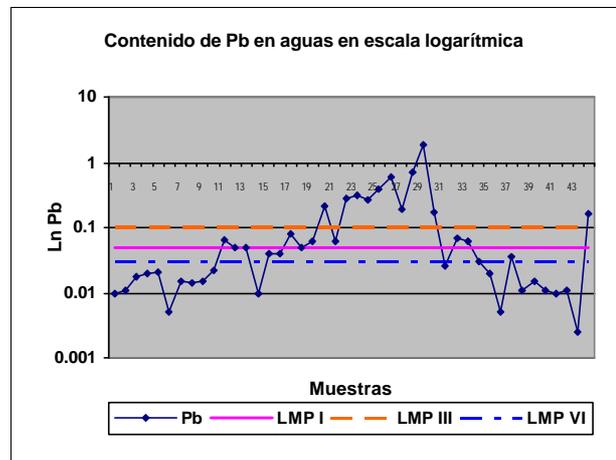


Fig. 7.15 Pb en aguas de la cuenca del Ramis (Ln Pb)

Al igual que en el caso del cobre, la mayor concentración de plomo ocurre en la zona de Ananea, que es donde está la cabecera del río. En el tramo desde Azángaro a la zona de San Antón se puede observar que supera los LMP para el tipo VI de la norma peruana, mientras que en el tramo desde San Antón hasta la zona de Ananea superan los LMP para el tipo III de la norma peruana.

El plomo se acumula en los cuerpos de los organismos acuáticos y los organismos del suelo. Estos experimentarán efectos en su

salud por envenenamiento con este metal. Las funciones del suelo son perturbadas por la intervención del plomo, especialmente cerca de las autopistas y tierras de cultivos, donde pueden estar presentes en concentraciones extremas.

El plomo es un elemento químico particularmente peligroso, se puede acumular en organismos individuales, pero también puede entrar en las cadenas alimenticias.

Concentración de mercurio

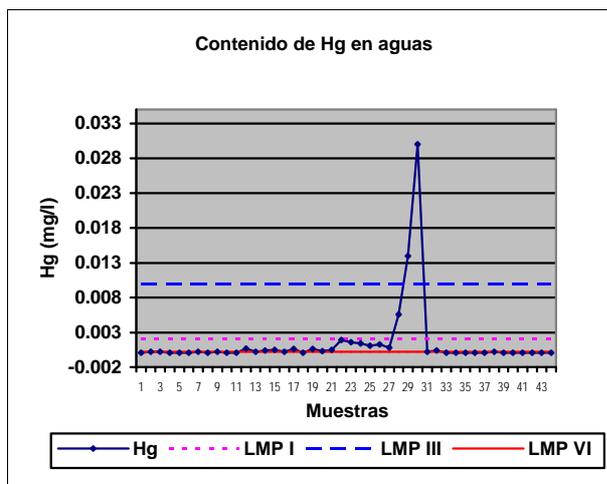


Fig. 7.16 Hg en aguas de la cuenca del Ramis

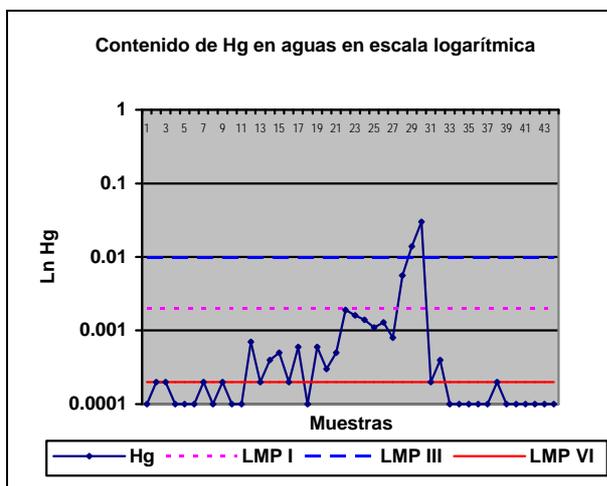


Fig. 7.17 Hg en aguas de la cuenca del Ramis en escala logarítmica (Ln Hg)

Un total de 27 muestras —que representan el 61% de la población muestral— se encuentran por debajo de los límites de detección (0,0002 mg/l). Sin embargo, para los efectos del análisis, se presenta la información en escala logarítmica en la Figura 7.16, que muestra la presencia de mercurio que supera el LMP del tipo III en las

muestras 29 y 30 que corresponden precisamente a la zona donde se desarrollan las operaciones mineras de Ananea. Como se puede ver, 17 muestras —que representan el 38% de la población de muestras— superan el tipo VI de aguas mientras que solo 3 muestras superan el límite para el tipo I de aguas.

El tratamiento estadístico para el caso del mercurio muestra una distribución media de 0,0002 mg/l que es equivalente al límite de detección, lo cual explica que el río no supere los LMP y la desviación estándar sea relativamente alta, y también explica la alta variabilidad de las concentraciones en los puntos de mayor concentración de mercurio; esto coincide con el recorrido que hacen las aguas luego de su uso en las operaciones mineras.

Esta concentración es corroborada por los aportes de derrame que se realizan en la zona de La Rinconada, precisamente la muestra 30 (la de mayor concentración) es la que se encuentra en la entrada del área de operaciones mineras de Ananea.

El mercurio no se encuentra de forma natural en los alimentos, pero puede aparecer en la comida, así como ser expandido en las cadenas alimenticias por pequeños organismos que son consumidos por los humanos, por ejemplo a través de los peces. Las concentraciones de mercurio en los peces usualmente exceden en gran medida las concentraciones en el agua donde viven. Los productos de la cría de ganado pueden también contener importantes cantidades de este metal.

El Mercurio tiene un número de efectos sobre los humanos, daño al sistema nervioso, daño a las funciones del cerebro, daño al ADN y cromosomas, reacciones alérgicas, irritación de la piel, cansancio, y dolor de cabeza: Efectos negativos en la reproducción, daño en el esperma, defectos de nacimientos y abortos.

El daño a las funciones del cerebro puede causar la degradación de la habilidad para aprender, cambios en la personalidad, temblores, cambios en la visión, sordera, incoordinación de músculos y pérdida de la memoria. Asimismo genera daño en el cromosoma y es causa del mongolismo.

Aguas superficiales ácidas pueden contener significantes cantidades de mercurio. Cuando los valores de pH están entre 5 y 7, las concentraciones de este metal en el agua se incrementarán debido a la movilización del mercurio en el suelo. Los microorganismos pueden convertir al mercurio que ha alcanzado las aguas superficiales o suelos metil mercurio, una sustancia que puede ser absorbida rápidamente por la mayoría de los organismos y es conocido que daña al sistema nervioso. Los peces son organismos que absorben gran cantidad de metil mercurio de agua superficial cada día. Como consecuencia, el metil mercurio puede acumularse en estos animales y en las cadenas alimenticias de las que forman parte.

Los efectos del mercurio en los animales son: daño en los riñones, trastornos en el estómago, daño en los intestinos, fallas en la reproducción y alteración del ADN (Lenntech 2004).

Concentración de manganeso

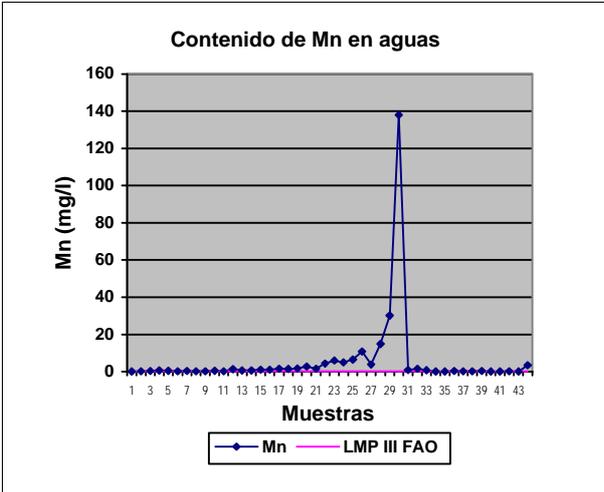


Fig. 7.18 Mn en aguas de la cuenca del Ramis

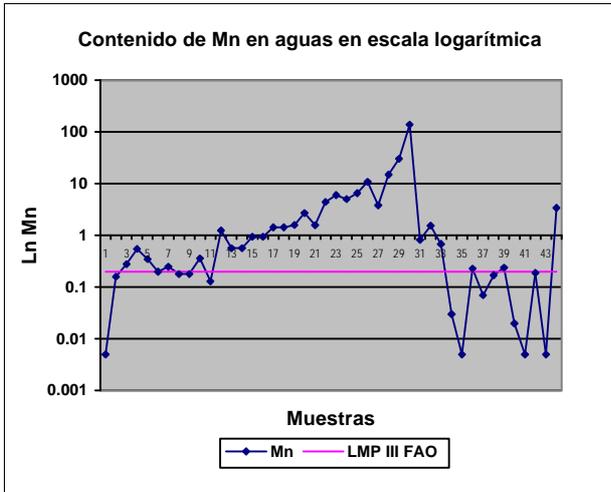


Fig. 7.19 Mn en aguas de la cuenca del Ramis en escala logarítmica (Ln Mn)

La norma peruana no incluye a este elemento, sin embargo de los resultados de laboratorio se observa que varias muestras de Mn superan los LMP establecidos por la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO) que es 0,2 mg/l de agua para riego.

De igual modo que para el caso del mercurio se presentan las muestras en escala logarítmica para lograr una mejor interpretación, puesto que tiene variabilidad alta como lo muestra su desviación estándar. Se observa que la distribución media o background de manganeso es de 34,5 mg/l, lo que supera ampliamente el parámetro de la FAO.

El manganeso es uno de los tres elementos traza tóxicos esenciales, lo cual significa que no es solo necesario para la supervivencia de los humanos, sino que es también tóxico cuando está presente en elevadas concentraciones en ellos.

Este metal, que deriva de las fuentes humanas, puede también entrar en la superficie del agua, aguas subterráneas y aguas residuales. A través de su aplicación como pesticida entrará en el suelo.

En el caso de los animales, el manganeso es un componente esencial sobre unas 36 enzimas que son usadas para el metabolismo de carbohidratos, proteínas y grasas. En el caso de los animales que consumen muy poco de este metal, se observa que interfiere en el crecimiento normal, la formación de los huesos y en la reproducción. En algunas especies, la dosis letal es bastante baja, lo cual significa que tienen pocas posibilidades de supervivencia incluso frente a pequeñas dosis que excedan la cantidad esencial. El manganeso puede causar problemas en los pulmones, hígado y vasculares, decremento de la presión sanguínea, fallos en el desarrollo de los fetos de animales y daños cerebrales.

En cuanto a las plantas, las concentraciones altamente tóxicas de manganeso en el suelo pueden causar inflamación de la pared celular, abrasamiento de las hojas y puntos marrones en ellas. Sin embargo, las deficiencias pueden ocasionar los mismos efectos (Lenntech 2004).

REVISIÓN Y CONTROL DE CALIDAD DE AGUAS

En época de estiaje (mes de junio) y luego de la paralización durante un mes de las operaciones de explotación minera en la zona de Ananea, se recolectaron 5 muestras de control de aguas en la cuenca del río Ramis, haciendo posible el monitoreo. Los resultados se muestran a continuación.

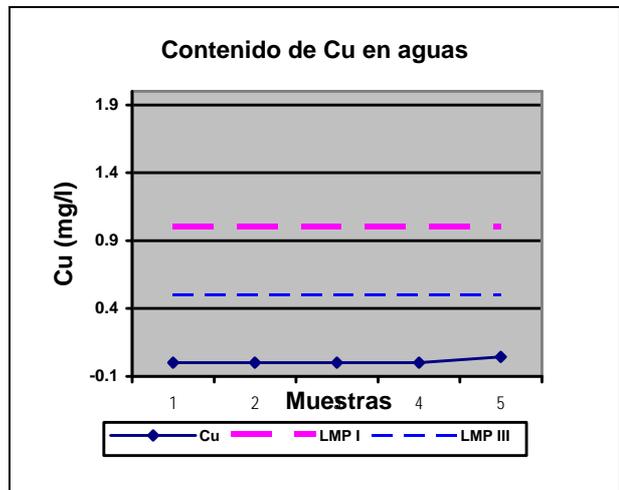


Fig. 7.20 Cu en aguas

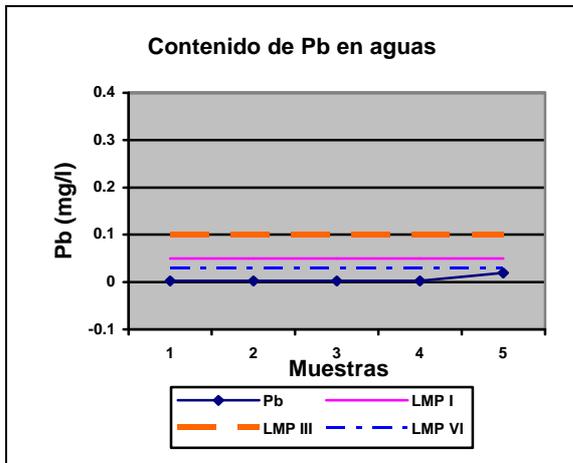


Fig. 7.21 Pb en aguas

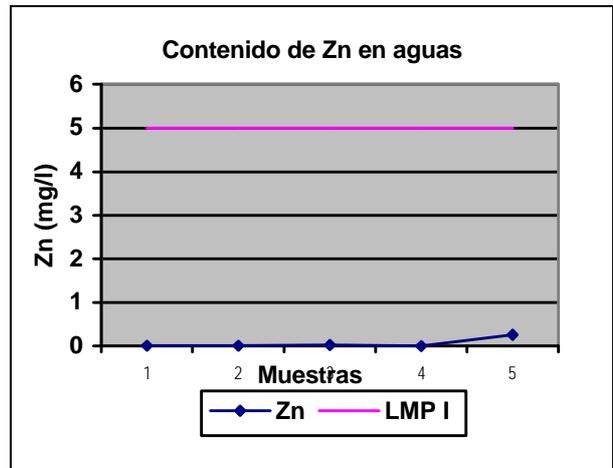


Fig. 7.22 Zn en aguas

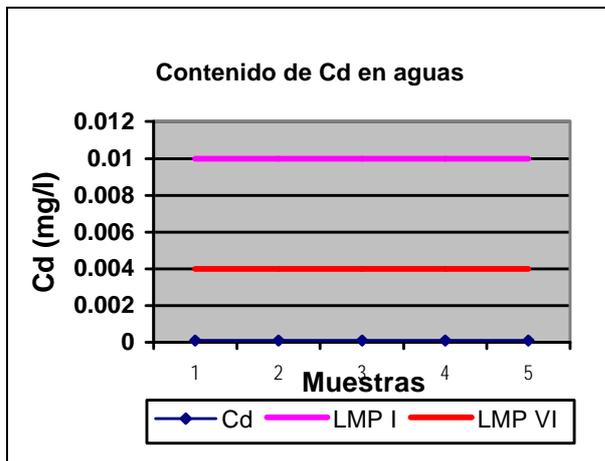


Fig. 7.23 Cd en aguas

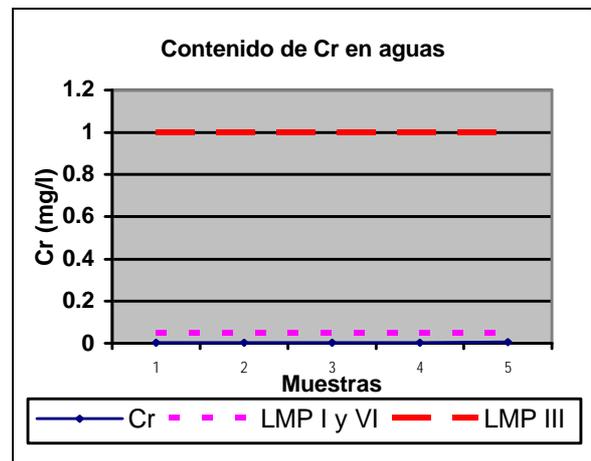


Fig. 7.24 Cr en aguas

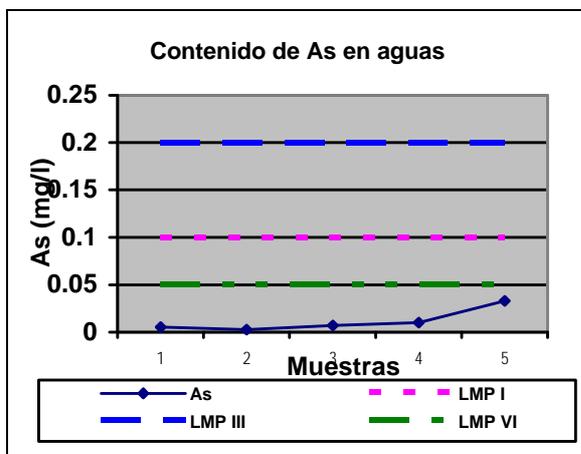


Fig. 7.25 As en aguas

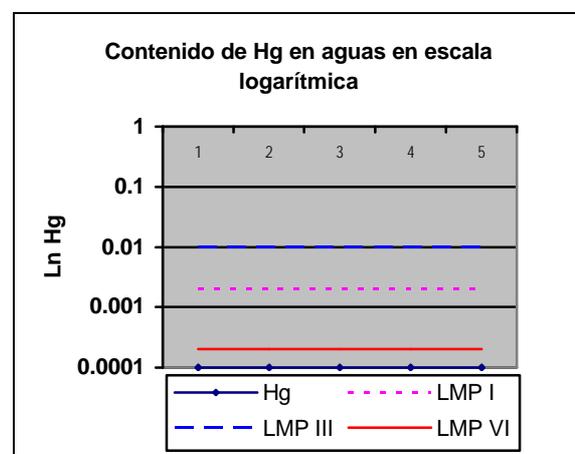


Fig. 7.26 Hg en aguas

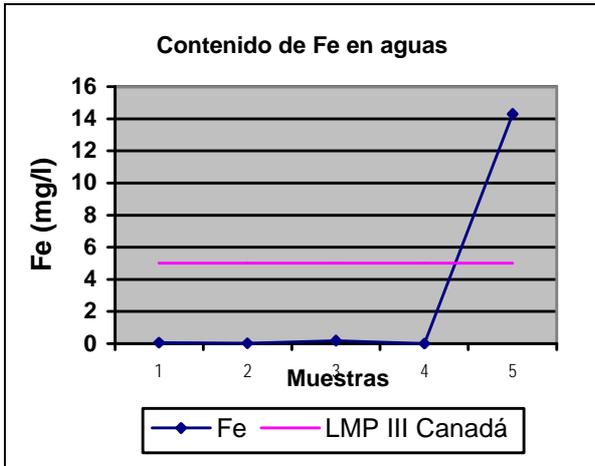


Fig. 7.27 Fe en aguas

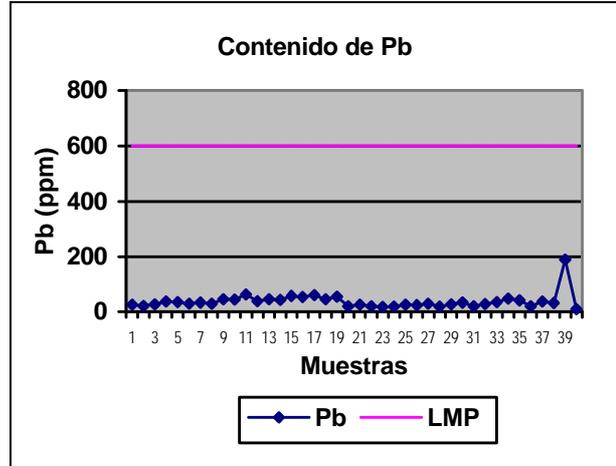


Fig. 7.29 Pb en Sedimentos en la cuenca del Ramis

Como se observa en las figuras 7.20 a 7.27, ninguno de los metales en cuestión supera los límites máximos en las muestras de control.

La muestra 96 presenta concentración de Fe por encima del valor límite máximo permisible de la norma canadiense (5 ppm). Esta ocurrencia es posible por su abundancia en la naturaleza y las concentraciones esporádicas que se presentan de manera intermitente en la época de estiaje.

INTERPRETACIÓN DE METALES EN SEDIMENTOS

Concentración de Cu, Pb, Zn y Cd

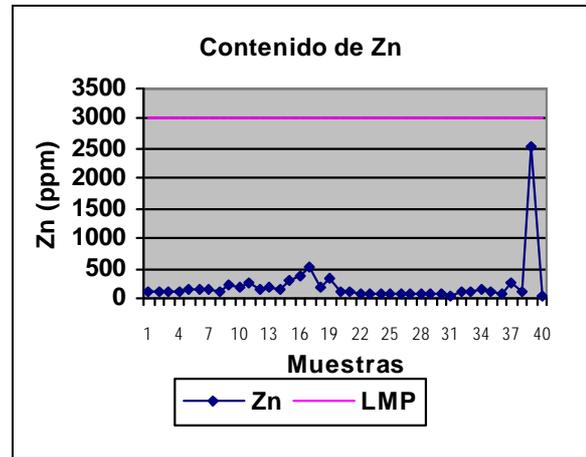


Fig. 7.30 Zn en sedimentos en la cuenca del Ramis

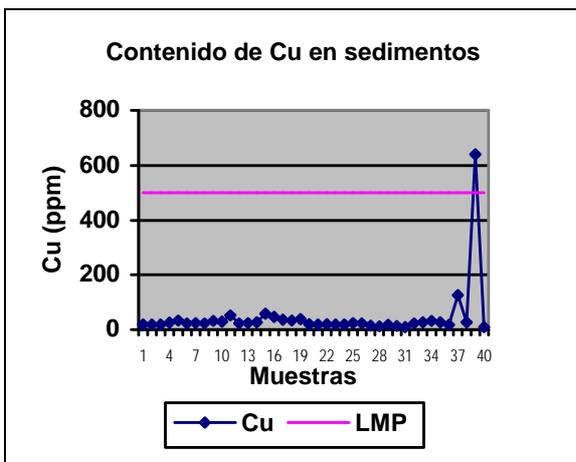


Fig. 7.28 Cu en sedimentos en la cuenca del Ramis

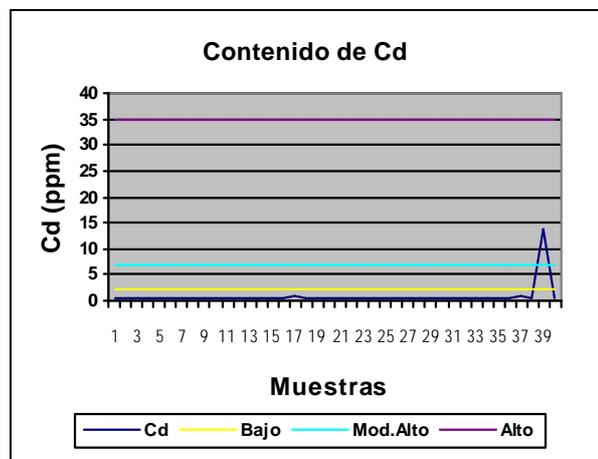


Fig. 7.31 Cd en sedimentos en la cuenca del Ramis

La distribución de la concentración del Cu es bastante uniforme al igual que en los casos del Pb, Zn y Cd, y además se encuentran dentro de los parámetros determinados por la tabla holandesa. Sin embargo, la muestra 39 en todos los casos tiene valores mayores que el resto puesto que representa a la zona de las operaciones mineras, en la cabecera del río Ramis.

Concentración de arsénico en sedimentos

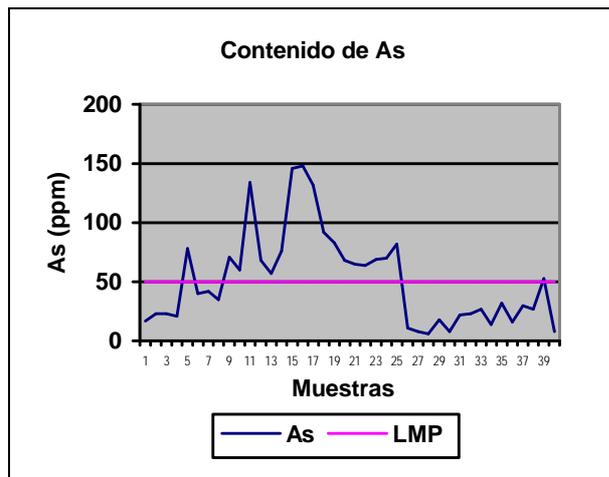


Fig. 7.32 As en sedimentos en la cuenca del Ramis comparado con la tabla holandesa

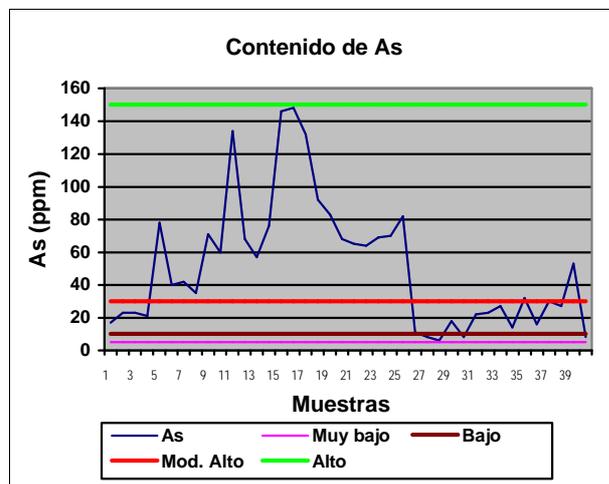


Fig. 7.33 As en sedimentos en la cuenca del Ramis comparado con la tabla sueca

Las Figuras 7.32 y 7.33 muestran que la concentración de As en los sedimentos de todo el recorrido del río Ramis tiene variabilidad relativa (desviación estándar de 0,87) y se hace crítico desde la muestra 6, tomada al noroeste de Arapa, hasta la muestra 28, ubicada al norte se San Antón. Estas muestras tienen valores altos

según las tablas sueca (30 a 150 ppm es considerado moderadamente alto) y holandesa (LMP 50 ppm), que se han tomado como parámetro referencial.

Concentración de mercurio en sedimentos

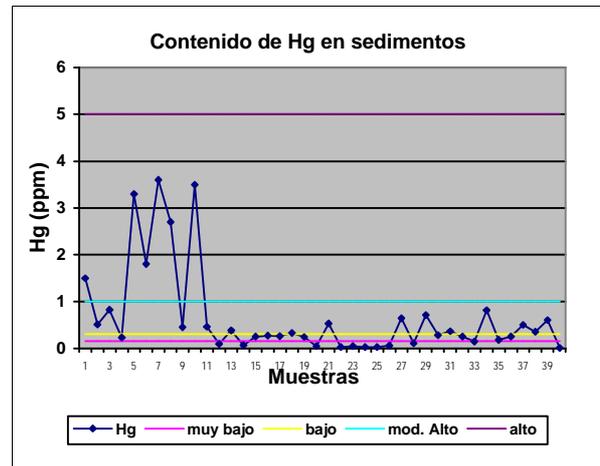


Fig. 7.34 Hg en sedimentos en la cuenca del Ramis

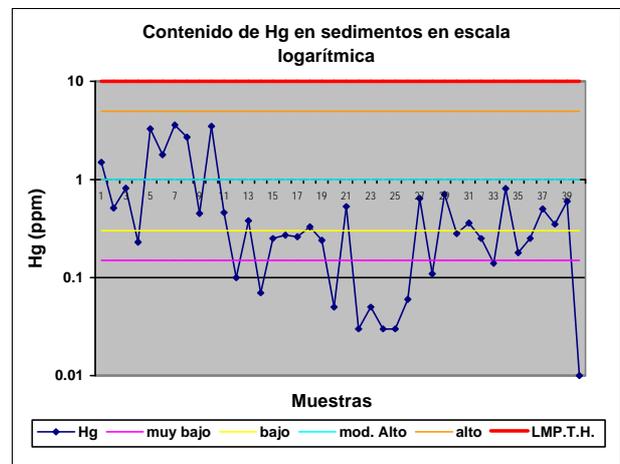


Fig. 7.35 Hg en sedimentos en la cuenca del Ramis en escala logarítmica

Si bien los valores de concentración del mercurio en sedimentos se encuentran dentro de los parámetros de la tabla holandesa (LMP 10 ppm), no ocurre lo mismo en el caso de los parámetros de la tabla de Suecia. Once muestras están dentro del umbral de muy bajo, 9 muestras en el umbral de baja concentración, 14 muestras —que representan el 35% de la población— caen en el umbral de concentración moderadamente alto (0,3-1 ppm), mientras que 6 muestras que representan el 15%, caen en el umbral de concentración alta. La muestra 10 fue tomada al sur de San Antón en la zona de Chacapampa-Jopa Condori (zona de bofedales), seguida por las muestras 5 hasta la 8, tomadas en el tramo desde

Tumapata (a 5 km en línea recta al norte de Azángaro) hasta el paraje de Parpuma Pampa, zona donde el terreno está sujeto a inundación natural. Esta concentración de mercurio se explicaría por la capacidad de transporte del metal, originado por la actividad minera de la zona de La Rinconada, asociada a la movilidad del metal, generada por las pendientes del terreno y facilitada por las precipitaciones pluviales; a estos se suma la condición de bioacumulación a través de los años (véase mapa de muestreo de sedimentos por Hg).

Concentración de cromo en sedimentos

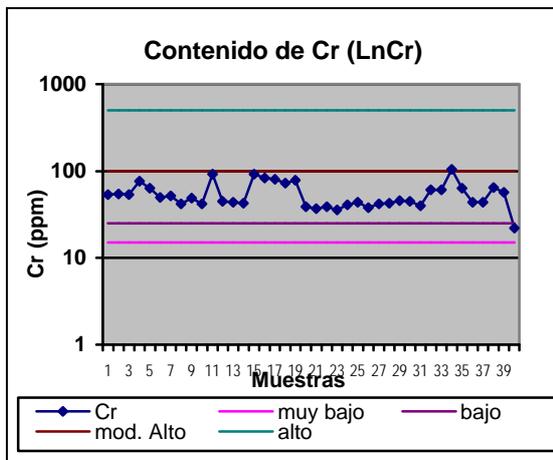


Fig. 7.36 Cr en sedimentos en la cuenca del Ramis

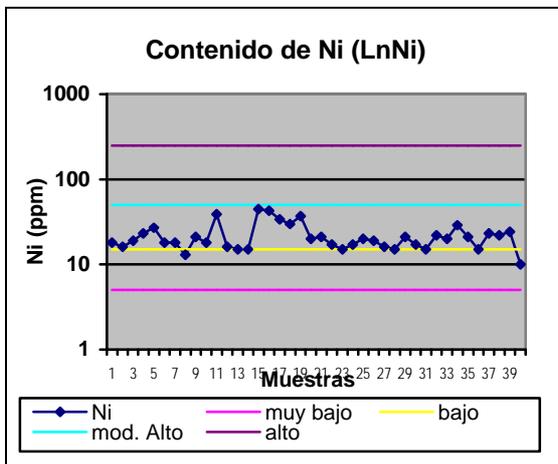


Fig. 7.37 Ni en sedimentos en la cuenca del Ramis

Las Figuras 7.36 y 7.37 (en escala logarítmica) muestran que la concentración de Cr y Ni se encuentran dentro del umbral moderadamente alto de acuerdo a la tabla de Suecia.

MUESTRAS DE TERRAZAS

Para la interpretación de las muestras de terrazas se ha considerado a la tabla de Suecia como parámetro de comparación.

Cuadro 7.10
Resultado de muestras de terrazas

Código de muestra	Hg g/t	As g/t	Zn g/t	Pb g/t	Co g/t	Ag g/t	Cu g/t	Ni g/t
6 PUT - ANA - MOR. 1	0,1	95	212	64	65	? 0,5	187	63
6 PUT - ANA - MOR. 2	0,55	129	267	88	114	? 0,5	212	66
6 PUT - ANA - MOR. 3	0,32	106	309	60	53	? 0,5	175	89
6 PUT - ANA - MOR. 4	0,17	212	359	114	104	? 0,5	138	115
6 PUT - ANA - MOR. 5	0,26	145	290	98	40	? 0,5	104	94

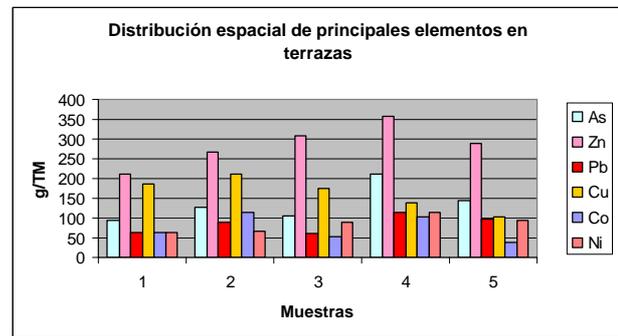


Fig. 7.38 Distribución de elementos en terrazas (1)

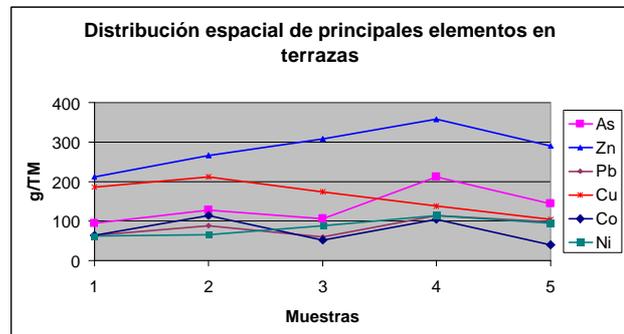


Fig. 7.39 Distribución de elementos en terrazas (2)

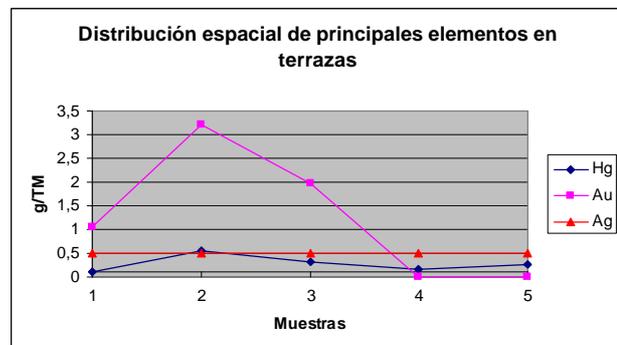


Fig. 7.40 Distribución de elementos en terrazas (3)

Las muestras 2 y 3 presentan valores moderadamente altos de Hg (0.5 ppm-1 ppm) según la tabla de Suecia. El mercurio es usado por los mineros para la recuperación del oro con una relación de 1 a 2, es decir que por cada parte de oro se usa 2 partes de mercurio. Una parte de esta última es asociada a la amalgama y otra es probable que se «pierda» en el lugar donde el material es procesado. La amalgama es refogada al aire libre, por lo que otra parte de Hg se volatiliza y precipita posteriormente de manera aleatoria y en función de las condiciones meteorológicas.

Las 5 muestras recolectadas de las terrazas presentan valores altos de As que exceden los límites de referencia (30-150 ppm) de la tabla de Suecia.

Las muestras 3 y 4 presentan valores verdaderamente altos de Zn (300-1000 ppm) según los límites de referencia.

Las 5 muestras extraídas de las terrazas presentan valores altos de Cu que exceden los límites de referencia (100-500 ppm) según la tabla de Suecia.

Las muestras 2, 3, 4 y 5 presentan valores altos de Ni, que exceden los límites de referencia (50-250 ppm) de la tabla de Suecia.

Es importante destacar que las 5 muestras recolectadas de las terrazas fueron tomadas in situ sin intervención antropogénica, excepto la concentración mecánica que resulta de los fenómenos erosivos de transporte y concentración.

Se ha comparado con la tabla de Suecia solo como parámetro referencial para conocer el grado de concentración de los metales en su estado natural. Asimismo, considerando que la distribución es normal y que la zona tiene las mismas características en su concentración, se ha determinado la media de dichas concentraciones a través de los estimadores estadísticos de Sichel. Estos estimadores se usan cuando se presume que la población presenta una distribución logarítmica normal y el número de datos con el que se cuenta es muy pequeño, además permite definir los niveles de confianza en el cálculo de la ley media.

Determinación de la media usando el método de Sichel

$$t = e^a f(V)_n$$

Donde *e* es el número de Neper, *a* es la media de los logaritmos de las leyes, *f(V)_n* el valor que se obtiene de la tabla de valores de la función de Sichel, *n* es el número de muestras y *V* la varianza de los logaritmos de las leyes.

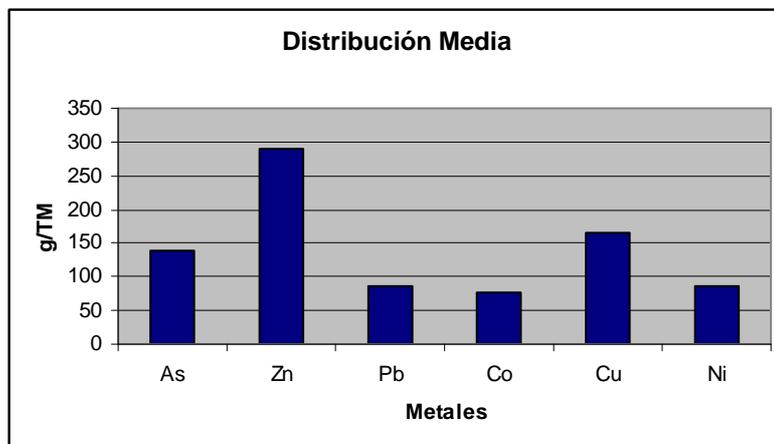


Fig. 7.41 Distribución media de elementos en terrazas

Cuadro 7.11
Distribución media de elementos en terrazas

As g/t	Zn g/t	Pb g/t	Co g/t	Cu g/t	Ni g/t
138,57	289,12	85,59	76,77	164,69	85,75

CAPÍTULO VIII

ANÁLISIS QUÍMICO POR EL MÉTODO DE ESPECIACIÓN SECUENCIAL PARA METALES EN SEDIMENTOS

INTRODUCCIÓN

Para el estudio ambiental y la determinación de metales pesados en sistemas acuáticos, los sedimentos son buena fuente para determinar la contaminación de determinadas zonas. Estos sedimentos pueden ser estudiados para la determinación de la concentración total de metales que nos informará el grado de contaminación. Además, existe la especiación o estudio de las diferentes formas químicas en las que se encuentra el metal. El estudio de especiación secuencial o fraccionación geoquímica permite contar con información respecto a la biodisponibilidad de los metales en el ambiente.

Para estimar la removilización de los metales pesados desde los sedimentos bajo pequeños cambios en las condiciones ambientales es de gran utilidad determinar las diversas formas químicas en que se encuentran, así como el tipo de sustrato al que se hallan asociados los cationes metálicos en los sedimentos (Rosental et al. 1986, Usero et al. 1997).

La técnica de especiación secuencial nos puede dar información sobre el comportamiento de los metales pesados en los sistemas acuáticos, su movilidad y determinar la oportuna intervención.

Esta técnica de extracción química secuencial se aplica extensamente en estudios medioambientales, aunque su capacidad para separar metales pesados o definir fracciones geoquímicamente no es perfecta, pero resultan útiles para entender el comportamiento químico y biodisponibilidad de metales en los sedimentos (Förstner 1993, Prusty et al. 1994, Usero et al. 1997).

Este método consiste en un análisis secuencial por fracciones, donde la fracción de metal más móvil es la «adsorbida como ion intercambiable», lo que representa un riesgo de contaminación debido a la liberación de metales a las aguas bajo condiciones naturales (Förstner 1989, Chen et al. 1996).

La estimación de la removilización de metales bajo condiciones ambientales y la asimilación potencial por los organismos son los principales objetivos para la diferenciación de especies en los metales traza enlazados a los sedimentos.

En el caso de los sedimentos el esquema de extracción más usado ha sido el de Tessier et al., que fue publicado en 1979 y que ha

servido de base para el desarrollo de otras metodologías como las de Förstner, Salomons y Förstner, Meguellati, etc.

La Community Bureau of Reference (BCR) de la Comisión de las Comunidades Europeas realizó un estudio en el año 1992 para la estandarización de las técnicas empleadas bajo el nombre de «Especiación de metales pesados en suelos y sedimentos» (Ure et al. 1993). Asimismo, esta comisión determinó un método llamado BCR que comprende 4 fracciones de extracción química sucesivas:

Fase 1: Metal en forma de iones intercambiables y carbonatos, que pueden ser fácilmente liberados de los sistemas acuáticos por pequeños cambios ambientales. Los metales unidos a esta fase se liberan al descender el pH de los sedimentos, al disolverse los metales precipitados en forma de carbonatos.

Fase 2: Metal asociado a los oxihidróxidos de fierro y manganeso. Los metales presentes en esta fase pasarán al agua en aquellas zonas donde el sedimento se encuentra bajo condiciones reductoras. Estos óxidos son sustancias de alto poder de adsorción y son termodinámicamente inestables en condiciones anóxicas (valores bajos de potencial redox).

Fase 3: Metal ligado a la materia orgánica. Estos metales representan la fracción que se liberaría al pasar a condiciones oxidantes. Un caso típico es la disposición de los sedimentos anóxicos sobre superficies en contacto con la atmósfera.

Fase 4: Fase residual o litogénica. Son los metales ligados a los minerales, que forman parte de sus estructuras cristalinas. La liberación de metales de esta fase, en un periodo razonable de tiempo, es ciertamente improbable.

MÉTODO Y MATERIALES

En el presente trabajo se ha empleado el método BCR para determinar la especiación secuencial de metales en sedimentos

Las concentraciones de metales traza en los lixiviados de cada fracción fueron determinadas por el método de espectrofotometría de absorción atómica, y la cuantificación fue realizada con la técnica de horno de grafito y flama, utilizando apropiadas curvas de calibración preparadas con los componentes de la solución de extracción para cada una de las etapas. A las soluciones de

fracción I se les ha añadido patrón de Rh de concentración 10 ppb. Se utilizó la técnica de horno de grafito para las lecturas de elementos tales como Cu, Pb, Ni, Cd, As y Al en las fracciones: metal en forma de iones intercambiables y carbonatos (f-1), metal asociado a los óxidos de hierro y manganeso (f-2), y material ligado a la materia orgánica (f-3); y se usó la técnica de flama para la fase residual o litogénica (f-4), por tener contenidos mayores, en los límites detectables por esta técnica.

Las mediciones de As y metales pesados se realizaron con el espectrofotómetro Perkin Elmer Modelo 3100, equipado con software y corrector de fondo de la lámpara de Deuterio.

1.ª fracción

La primera fracción del esquema BCR se llama *metales intercambiables y solubles en agua y en ácido*. El reactivo que se emplea es ácido acético 0,11 M. Por tanto, se cambia a un pH ácido y se extraen, además, metales atacables por ácidos, es decir, los metales como carbonatos, que corresponden a la segunda fracción del esquema de Tessier. La extracción se realiza en volteador durante 16 horas.

2.ª fracción

En la segunda fracción del esquema BCR se usa el mismo reactivo que en el caso de la tercera del esquema de Tessier: cloruro de hidroxilamonio 0,1 M a pH 2. Se aumenta la concentración de reactivo y se ajusta el pH a 2 con ácido nítrico y no con ácido acético al 25%. Por otra parte, la extracción se realiza a temperatura ambiente y no a 96 °C como en el esquema de Tessier.

3.ª fracción

En la tercera fracción del esquema BCR (cuarta de Tessier) se usa agua oxigenada sin ácido nítrico (el pH del agua oxigenada es 2), y durante la extracción se lleva casi a sequedad (1-2 mL). Tras la destrucción de la materia orgánica se añade también acetato amónico pero disminuyendo la concentración a 1 M con pH 2.

4.ª fracción

La digestión del residuo (metal residual) se realiza en el esquema BCR en microondas y usando una mezcla de ácidos clorhídrico y nítrico en proporción 3:1.

DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS DEL PROCEDIMIENTO DE FRACCIONAMIENTO GEOQUÍMICO EN SEDIMENTOS DEL RÍO RAMIS

Los cuadros muestran los resultados de laboratorio para Cu, Pb, Zn, Ni, Cr, Cd, Al y As, de los que se puede deducir lo siguiente:

Cobre

Cuadro 8.1
Contenidos de cobre en cada fracción (µg/g)
y contenidos totales espesados como suma
de fracciones

Sedimentos

Muestra	Cu I	Cu II	Cu III	Cu IV	Cu total
SED - 11	1,33	1,47	0,54	32	35,34
SED - 48	1,79	1,37	0,65	28	31,81
SED - 57	1,89	1,34	0,41	26	29,64
SED - 89	0,32	0,92	0,47	43	44,71
SED - 94	0,36	1,34	0,23	35	36,93
SED - 98	0,72	0,84	0,31	40	41,87

Materia en suspensión

Muestra	Cu I	Cu II	Cu III	Cu IV	Cu total
82 - MS	0,05	2,09	1,02	42	45,16
84 - MS	0,85	1,05	0,47	34	36,37
87 - MS	0,62	1,1	0,49	30	32,21
94 - MS	0,5	1,06	0,46	22	24,02
96 - MS	0,53	0,95	0,34	44	45,82

Los sedimentos y materia en suspensión contienen cobre en concentraciones normales de la corteza terrestre. Según los resultados del procedimiento de especiación secuencial química, este elemento se encuentra preferentemente asociado a la fase residual o litogénica (f-4), cuyos porcentajes de distribución oscilan entre 93 y 95% en la materia en suspensión, y 86 a 95% en los sedimentos.

La segunda fracción (f-2) de cobre en importancia es la que está asociada a óxidos de hierro-manganeso en concentraciones traza en una proporción de 2 a 5%. El cobre presente en esta fase pasará al agua en aquellas zonas donde el sedimento se encuentre bajo condiciones reductoras (sulfuros) en variación de pH ácido. Bajo condiciones oxidantes esta fracción constituye un sumidero importante de metales en los sistemas acuáticos (Gibbs 1977, Singh et al. 1999). En la primera fracción (f-1) el cobre se encuentra en forma de iones intercambiables y carbonatos ligeramente en menor proporción que en la segunda fracción y ligeramente superior (5-6%) en los sedimentos S-48 y S-57. Estos pueden ser fácilmente liberados de los sistemas acuáticos debido a pequeños cambios ambientales. Los bajos niveles de Cu en forma de iones intercambiables y carbonatos pueden estar influidos por los altos valores (7-9) de pH de la zona cuando se desarrollan actividades mineras. La solubilidad desciende significativamente en los sedimentos y materia en suspensión con pH alcalino en la zona, y por lo tanto aumenta la capacidad de complejación (Forstner y Wittmann 1983, Jones 1991, Singh et al. 1999).

El cobre de la tercera fase (f-3), asociado a materia orgánica, ocupa el cuarto lugar en orden de importancia para esta muestra puesto que presenta niveles bajos, debido probablemente al bajo contenido de materia orgánica en los sedimentos y en la materia en suspensión, cuya tendencia es asociar al Cu formando complejos. En estas condiciones este metal se liberaría al pasar a condiciones oxidantes.

Plomo

Cuadro 8.2
Contenidos de plomo en cada fracción ($\mu\text{g/g}$)
y contenidos totales espesados como suma
de fracciones

Sedimentos

Muestra	Pb I	Pb II	Pb III	Pb IV	Pb total
SED - 11	0,2	2,42	1,91	55	59,53
SED - 48	0,52	3,13	1,7	28	33,35
SED - 57	0,36	7,1	3,02	33	43,48
SED - 89	0,24	1,95	1,04	49	52,23
SED - 94	0,23	1,72	0,2	22	24,15
SED - 98	0,16	2,58	1,49	52	56,23

Materia en suspensión

Muestra	Pb I	Pb II	Pb III	Pb IV	Pb total
82 - MS	0,05	10,1	1,61	43	54,76
84 - MS	0,05	2,23	1,83	33,3	37,41
87 - MS	0,05	2,22	0,95	30	33,22
94 - MS	0,05	2,09	1,06	12,2	15,4
96 - MS	0,05	2,22	0,59	44	46,86
98 - MS	0,05	2,02	0,98	69	72,05

Las concentraciones de Pb en cada una de las fracciones de los sedimentos y materia en suspensión se presentan en el Cuadro 8.2. En él observamos que el plomo está mayormente asociado a la fracción residual (f-4), entre 80 y 90%, seguido del plomo asociado a los oxihidróxidos de Fe y Mn. En esta fase muestran mayores porcentajes de distribución las muestras de materia en suspensión 82-MS y 94-MS (15 a 19%), y en los sedimentos las muestras SED-48 y SED-57 (9 a 6%). Le sigue en menor proporción el Pb asociado a la materia orgánica (f-3), en porcentajes menores a 7% de distribución.

Las concentraciones asociadas a iones intercambiables y carbonatos (f-1) son prácticamente insignificantes. Los resultados de los análisis son coherentes con otros estudios realizados, donde el plomo se halla principalmente en la fase residual y en óxidos de Fe-Mn (Tessier et al. 1980, Solomons y Forstner 1980, Baruah et al. 1996).

El Pb con altos porcentajes de distribución, al igual que el Cu, evidentemente hacen pensar que el principal origen de ellos es litogénico y que las muestras con mayor porcentaje de Pb asociado a oxihidróxidos de Fe-Mn, puede deberse a que el Pb se asocia bajo condiciones anaerobias y a que el pH se halla en torno a 7 y puede formar complejos con óxidos y arcillas.

Zinc

Cuadro 8.3
Contenidos de Zinc en cada fracción ($\mu\text{g/g}$)
y contenidos totales espesados como suma
de fracciones

Sedimentos

Muestra	Zn I	Zn II	Zn III	Zn IV	Zn total
SED - 11	209	102	43	162	516
SED - 48	52	33	13	258	356
SED - 57	52	39	10	114	215
SED - 89	107	63	24	170	364
SED - 94	5,4	5	5	52	67,4
SED - 98	94	53	14	168	329

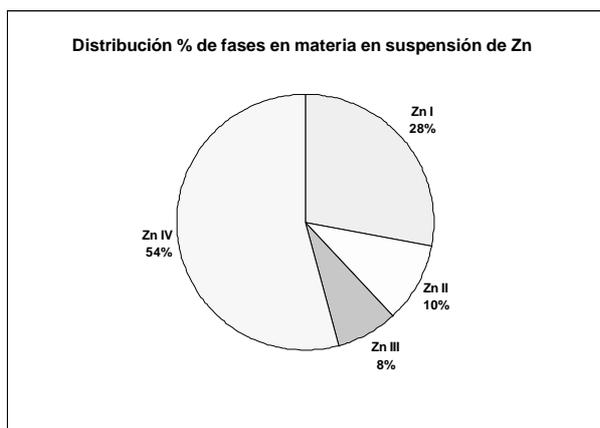
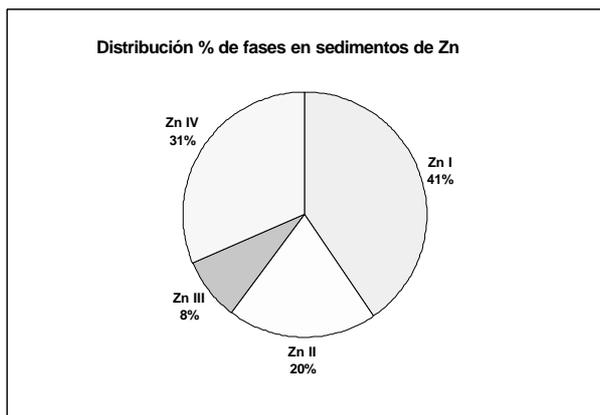
Materia en suspensión

Muestra	Zn I	Zn II	Zn III	Zn IV	Zn total
82 - MS	90	32	25	173	320
84 - MS	35	26	17	207	285
87 - MS	3	6	6	186	201
94 - MS	4	6	5	64	79
96 - MS	3	6	5	151	165
98 - MS	52	50	36	222	360

Los resultados obtenidos en cada una de las fracciones para el Zn se presentan en el Cuadro 8.3. En él se observa que el Zn se encuentra preferentemente asociado a la fase residual (f-4), con valores que fluctúan en los sedimentos entre 44 y 78% y en la materia en suspensión entre 54 y 92%.

Los resultados son coherentes con el estudio realizado por Tessier et al. (1980) en los ríos Yamaska y Saint François (Canadá), donde el Zn muestra también preferencia por la fracción residual. Sin embargo, ya que el principal origen del Zn es litogénico, se observa a este elemento en forma de iones intercambiables y carbonatos en la mayoría de los sedimentos (24 a 40% de distribución), y en las muestras de materia en suspensión 82-MS, 84-MS y 98-MS (12 a 28% de distribución). Esto hace pensar en una contaminación con participación antropogénica o por intemperismo. Le sigue en importancia el Zn asociado a oxihidróxidos de Fe-Mn (f-2) en un rango de 16 a 20% para los sedimentos. Las mismas muestras de la materia en suspensión, asociadas a la fracción biodisponible o removible y a carbonatos

(f-1), presentan un rango de distribución de 9 a 14%. Según los resultados, es evidente la contaminación por incremento de formas móviles. El Zn asociado a la fracción orgánica y sulfuros se encuentra distribuido en cantidades ligeramente menores que en la fracción asociada a oxihidróxidos de Fe-Mn. Finalmente, el Zn asociado a materia orgánica y sulfuros puede ser removido cuando se presentan condiciones oxidantes.



Cadmio

Cuadro 8.4
Contenidos de cadmio en cada fracción (µg/g)
y contenidos totales espesados como suma
de fracciones

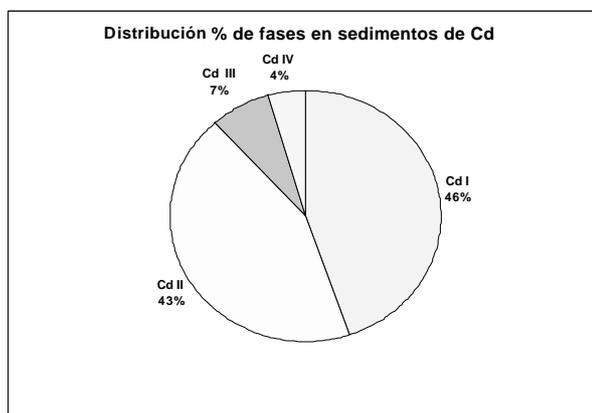
Sedimentos

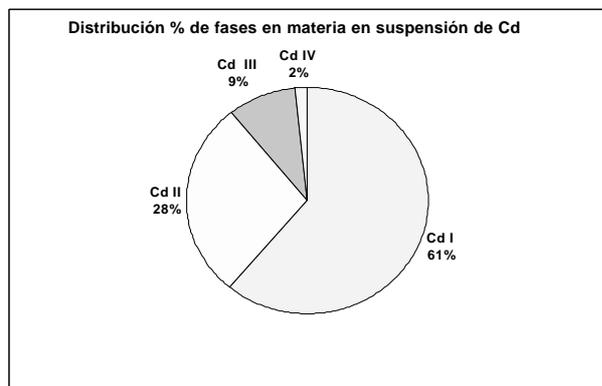
Muestra	Cd I	Cd II	Cd III	Cd IV	Cd total
SED - 11	0,304	0,295	0,05	0,03	0,679
SED - 48	0,318	0,273	0,05	0,05	0,691
SED - 57	0,252	0,221	0,016	0,01	0,499
SED - 89	0,238	0,201	0,029	0,01	0,478
SED - 94	0,121	0,109	0,017	0,01	0,257
SED - 98	0,252	0,204	0,026	0,01	0,492

Materia en suspensión

Muestra	Cd I	Cd II	Cd III	Cd IV	Cd total
82 - MS	0,4	0,184	0,06	0,01	0,654
84 - MS	0,238	0,177	0,025	0,01	0,45
87 - MS	0,049	0,044	0,018	0,01	0,121
94 - MS	0,313	0,256	0,072	0,01	0,651
96 - MS	0,166	0,127	0,018	0,01	0,321
98 - MS	0,255	0,212	0,115	0,012	0,594

Los resultados obtenidos del procedimiento por especiación secuencial química para el Cd se representan en el Cuadro 8.4. En él se observa que el Cd se encuentra preferentemente en forma de iones intercambiables y carbonatos (f-1), con valores que fluctúan entre 45 y 51% de distribución y en la materia en suspensión entre 40 y 61%. Los elevados porcentajes de Cd en forma de iones intercambiables y carbonatos se justifican por el pH de agua del entorno en un valor cercano a pH 8, y porque el Cd y el Ca tienen similar radio iónico y el Cd²⁺ puede sustituir al Ca²⁺ (Span y Gaillard 1986, Prusty et.al. 1994). Le sigue en importancia los contenidos en la fracción asociados a los hidróxidos de Fe-Mn en una proporción entre 39 y 43%, que puede deberse a que el Cd se asocia bajo condiciones anaerobias cuando el pH se halla en torno a 7-8 y puede formar complejos con óxidos y arcillas. La fracción con mayor porcentaje de Cd en forma de iones intercambiables y carbonatos (f-1) es la más problemática desde el punto de vista de la contaminación por estar débilmente ligada a los sedimentos y materia en suspensión, de manera que pequeños cambios en las condiciones ambientales del sistema acuático pueden provocar la redisolución del Cd hacia la columna de agua (Tessier et al. 1980, Singh et al. 1999), pero la contaminación de Cd es mínima debido a que las concentraciones de este elemento obtenidos en los sedimentos es menor a 0,5 ppm, analizados por absorción atómica-flama. No obstante, es importante destacar que el Cd es un elemento bioacumulable. En las soluciones de cada fracción, inclusive en la fracción residual, las determinaciones de cadmio se efectuaron por el método de absorción atómica-horno de grafito, para detectar los límites de concentración en ppb.





Cromo

Cuadro 8.5
Contenidos de cromo en cada fracción (µg/g)
y contenidos totales espesados como suma
de fracciones

Sedimentos

Muestra	Cr I	Cr II	Cr III	Cr IV	Cr total
SED - 11	0,066	0,371	0,133	79,7	80,27
SED - 48	0,067	0,265	0,086	62,8	63,22
SED - 57	0,075	0,241	0,055	41,3	41,67
SED - 89	0,043	0,332	0,069	83,3	83,74
SED - 94	0,064	0,364	0,103	42,7	43,23
SED - 98	0,056	0,343	0,05	78,3	78,75

Materia en suspensión

Muestra	Cr I	Cr II	Cr III	Cr IV	Cr total
82 - MS	0,101	1,68	0,58	76,2	78,56
84 - MS	0,051	0,379	0,62	56,4	57,45
87 - MS	0,053	0,525	0,69	84,7	85,97
94 - MS	0,032	0,319	0,18	34,8	35,33
96 - MS	0,048	0,465	0,133	84,3	84,95
98 - MS	0,064	0,309	0,14	80,7	81,21

Los resultados obtenidos del procedimiento por especiación secuencial química para el Cr se presentan en el Cuadro 8.5.

El cromo se encuentra casi totalmente asociado a la fase residual o litogénica (f-4), cuyos porcentajes de distribución oscilan en un promedio de 99% en los sedimentos y en el rango 97 a 99% en la materia en suspensión; esto implica que no hay contaminación de origen antropogénico del cromo en la muestra.

El Cr asociado a la segunda fracción (f-2), oxihidróxidos de Fe-Mn, y tercera fracción (f-3) asociado a materia orgánica y sulfuros, son muy poco significantes en los sedimentos y materia en suspensión, y más aún el Cr asociado a la fracción biodisponible y removible (f-1) que muestra un porcentaje de distribución totalmente despreciable.

Níquel

Cuadro 8.6
Contenidos de níquel en cada fracción (µg/g)
y contenidos totales espesados como suma
de fracciones

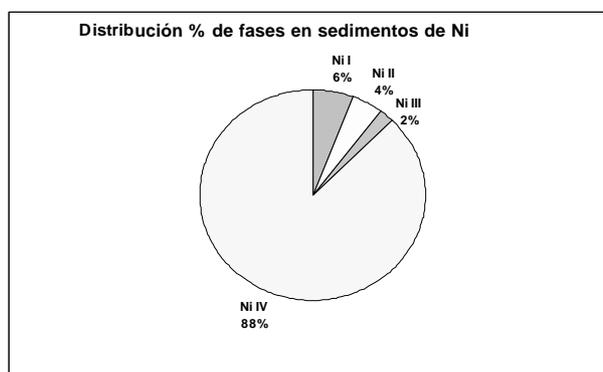
Sedimentos

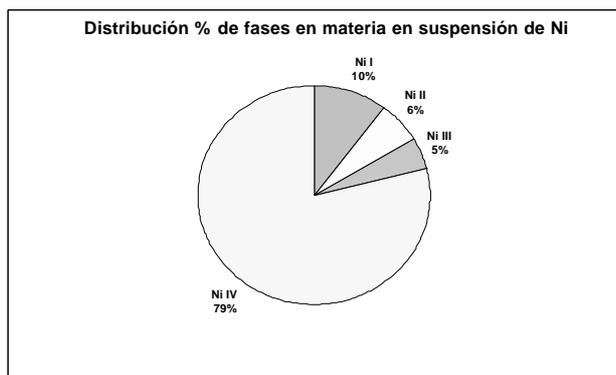
Muestra	Ni I	Ni II	Ni III	Ni IV	Ni total
SED - 11	1,98	1,44	0,8	29,5	33,72
SED - 48	1,17	1,3	0,76	22,3	25,53
SED - 57	0,9	1,18	0,05	15,8	17,93
SED - 89	1,31	1,41	0,79	38,2	41,71
SED - 94	0,36	0,77	0,18	17,3	18,61
SED - 98	1,03	1,29	0,39	32,8	35,51

Materia en suspensión

Muestra	Ni I	Ni II	Ni III	Ni IV	Ni total
82 - MS	4,05	2,43	1,82	31,2	39,5
84 - MS	0,65	1,52	1,35	29	32,52
87 - MS	0,9	1,65	0,93	35,2	38,68
94 - MS	0,61	1,36	0,82	20,5	23,29
96 - MS	0,58	1,25	0,56	33,2	35,59
98 - MS	1,11	1,51	0,94	34,5	38,06

El Ni se encuentra distribuido en las diferentes fracciones según se muestra en el Cuadro 8.6. Como se puede observar, el Ni está asociado principalmente a la fase residual (f-4), con porcentajes de distribución parecidos en los sedimentos (83 a 91%) y materia en suspensión (78 a 92%). Estos altos porcentajes en la fracción litogénica señalan una baja biodisponibilidad del Ni en el sistema acuático. La concentración de Ni en la fase residual (f-4) está controlada por las características mineralógicas de los sedimentos y de la materia en suspensión. La otra fracción de Ni que también presenta porcentajes importantes es la de oxihidróxidos de Fe-Mn, con valores que oscilan entre (3,5 y 6%) para la materia en suspensión y casi similar para los sedimentos (3,4 a 6,6%).





Aluminio

Cuadro 8.7
Contenidos de aluminio en cada fracción ($\mu\text{g/g}$)
y contenidos totales espesados como suma
de fracciones

Sedimentos

Muestra	Al I	Al II	Al III	Al IV	Al total
SED - 11	46	564	1 943	98 890	101 443
SED - 48	41	365	634	86 094	87 134
SED - 57	29	258	318	53 513	54 118
SED - 89	44	624	1 208	109 332	111 208
SED - 94	43	278	216	51 679	52 216
SED - 98	44	562	1 120	96 594	98 320

Materia en suspensión

Muestra	Al I	Al II	Al III	Al IV	Al total
82 - MS	222	1 338	2 258	139 132	142 950
84 - MS	43	701	1 266	103 119	105 129
87 - MS	46	677	1 250	129 283	131 256
94 - MS	44	672	1 225	52 828	54 769
96 - MS	41	561	959	92 919	94 480
98 - MS	44	643	1 183	117 394	119 264

Los resultados obtenidos en cada una de las fracciones para el Al se representan en el Cuadro 8.7. En él se observa que el Al se encuentra casi totalmente asociado a la fase residual (f-4), con valores similares que fluctúan en los sedimentos entre 97,5 y 98,9% y en la materia en suspensión entre 96,5 y 98,5%, lo que implica que no hay contaminación de Al de origen antropogénico en la zona.

El Al asociado a la segunda fracción (f-2), oxihidróxidos de Fe-Mn, y tercera fracción (f-3) asociado a materia orgánica y sulfuros, son insignificantes en los sedimentos y materia en suspensión, y en la forma de iones intercambiables y carbonatos resulta totalmente despreciable.

Arsénico

Cuadro 8.8
Contenidos de arsénico en cada fracción ($\mu\text{g/g}$)
y contenidos totales espesados como suma

Sedimentos

Muestras	As I	As II	As III	As IV	As total
SED - 11	0,01	0,59	0,5	130,9	132
SED - 48	0,235	1,87	0,62	75,3	78,03
SED - 57	1,38	1,12	0,43	57,1	60,03
SED - 89	0,859	0,6	0,12	146	147,58
SED - 94	0,01	0,44	0,37	81,2	82,02
SED - 98	0,288	0,89	0,64	81,5	83,31

Los resultados obtenidos en las 4 fracciones para el arsénico se muestran en el Cuadro 8.8. Este semimetal se encuentra casi totalmente asociado a la fase residual o litogénica (f-4) en un rango de 95 a 99% en los sedimentos, lo que permite su estabilidad e impide su disolución, atenuando su toxicidad. El arsénico que se encuentra asociado a las fases en forma de iones intercambiables y carbonatos (f-1), oxihidróxidos de Fe-Mn (f-2), y materia orgánica y sulfuros (f-3), aparece en cantidades insignificantes; hay un máximo de 2,3% en la muestra SED-57 en la fracción biodisponible (f-1) y esto podría atribuirse a que el arsénico es un mineral integrante de minerales sulfurosos de otros metales (Cu, Fe, Pb, Zn), como la arsenopirita (Cu Fe As), pero, por otro lado, numerosos compuestos de As son solubles en agua en forma de As^{3+} y As^{5+} (Marín 1996).

ANÁLISIS COMPARATIVO

La materia orgánica juega un papel dominante en la distribución y dispersión de metales pesados en el medioambiente (Solomons y Forstner 1984, Prusty et al. 1994). Sin embargo, la mayoría de los elementos no muestran afinidad de asociación a materia orgánica en los sedimentos y materia orgánica de la cuenca del río Ramis. El bajo grado de acumulación de metales pesados con la materia orgánica podría deberse a que la formación de los complejos-orgánico-metálicos es un proceso lento (Paul y Pillai 1983, Prusty et al. 1994).

La diversa afinidad competitiva de metales en los sedimentos también varía con el contenido de arcilla, materia, oxihidróxidos de Fe-Mn, y el nivel de influencia antropogénica que eventualmente causa la variación de los niveles de la concentración del metal en las diferentes fracciones extraídas (Singh et al. 1999).

La concentración de metales en la fase residual (f-4) está controlada por las características mineralógicas de los sedimentos y de la materia en suspensión y, por otro lado, por el grado de desgaste o erosión de las rocas por donde atraviesa el río (Baruah et al.

1996). Los metales pesados que se hallan en esta fracción son insolubles bajo condiciones normales o cambios de pH, potencial redox, etc. Por consiguiente, el metal queda retenido dentro de la matriz mineral del sedimento.

Asimismo, las concentraciones de metal en la fase litogénica o residual no son afectadas de forma significativa por las influencias antropogénicas (Gibbs 1977, Singh et al. 1999). De los altos porcentajes de casi todos los elementos contenidos en la fase

residual que demuestra su origen litogénico, aquellos de los metales asociados en la materia en suspensión y los sedimentos son casi similares.

Basándonos en el contenido medio de metales pesados en los sedimentos y materia en suspensión de la cuenca del río Ramis, el orden de seguimiento del contenido de metales pesados en las diferentes fases químicas se presenta en el Cuadro 8.9.

Cuadro 8.9
Orden de seguimiento del contenido de metales pesados en las fases químicas

Cu	Fase residual	Oxihidróxidos Fe-Mn	Materia orgánica	Intercambiables y carbonatos
Pb	Fase residual	Oxihidróxidos Fe-Mn	Materia orgánica	Intercambiables y carbonatos
Zn	Fase residual	Intercambiables y carbonatos	Oxihidróxidos Fe-Mn	Materia orgánica
Cd	Intercambiables y carbonatos	Oxihidróxidos Fe-Mn	Materia orgánica	Fase residual
Cr	Fase residual	Oxihidróxidos Fe-Mn	Materia orgánica	Intercambiables y carbonatos
Ni	Fase residual	Oxihidróxidos Fe-Mn	Materia orgánica	Intercambiables y carbonatos
As	Fase residual	Oxihidróxidos Fe-Mn	Materia orgánica	Intercambiables y carbonatos

ESTUDIO POR DIFRACCIÓN DE RAYOS X Y MINERALÓGICO POR MICROSCOPIA

Luego de realizar el análisis químico total para aguas y sedimentos, para determinar el grado de concentración de metales, y el estudio de especiación secuencial para determinar el grado de contaminación disponible en el medioambiente, se concluye que el nivel de contaminación no está determinado por los metales pesados.

Los resultados de la microscopía en las muestras de materia en suspensión indican que la mayoría de testigos superan el 99% en ganga, encontrándose trazas de esfalerita, oropimente, rejalgar, pirita, calcopirita, arsenopirita, óxidos de hierro de diversas formas e incluso oro nativo distribuido en menos del 1%.

Por otro lado, un estudio de difracción de rayos X muestra la composición de los minerales (ganga) que contienen dichas muestras de materia en suspensión, tal como se presenta en el Cuadro 8.1, llegando a la conclusión de que la mayor dispersión de metales pesados y arcillas ocurre en las temporadas de trabajos mineros en la parte alta de la cuenca (zona de Ananea). Además, la mayor fuente de contaminación se encuentra en los sólidos en suspensión. Aunque la distribución de metales pesados no alcance los LMP, es conveniente considerarlos puesto que son bioacumulables y están en relación directa con el grado de movimiento de material morrénico de la parte alta y el grado de concentración de todo material contaminante.

Cuadro 8.10
Contenido mineralógico de muestras de materia en suspensión

Mineral	Fórmula	Rango %
Cuarzo	SiO ₂	46 – 80
Albita	(Na, Ca)(Si, Al) ₄ O ₈	10 – 44
Moscovita	(K, Na) (Al, Mg, Fe) ₂ (Si ₃ Al ₁₀)O ₁₀ (OH) ₂	1,5 – 4,2
Clorita	Mg ₅ Al ₂ Si ₃ O ₁₀ (OH) ₈	2,6 – 4
Augita	Ca(Mg, Fe, Al) (Si, Al) ₂ O ₂	0,5 – 0,9
Actinolita	Ca ₄ (Mg, Fe) ₅ Si ₈ O ₂₂ (OH) ₂	0,4 – 0,5
Calcita	CaCO ₃	1,2
Cloropatita	Ca ₅ (PO ₄) ₃ Cl	2
Halita	NaCl	0,2
Magnesiohorblenda	(Ca, Na) _{2,25} (Mg, Fe, Al) _{5,15} (Si, Al) ₈ O ₂₂ (OH) ₂	0,2
Molisita	FeCl ₂	0,3

Figura 1 Fracciones de metales pesados de cobre por el método de especiación secuencial química de los sedimentos y del material en suspensión

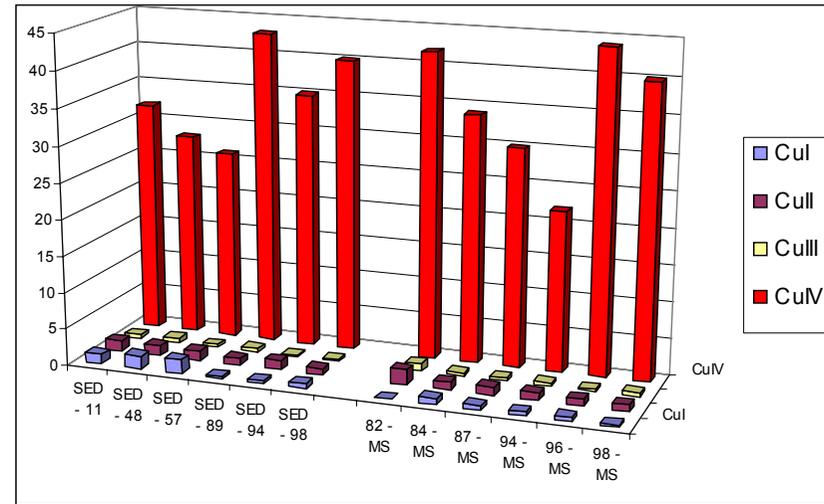
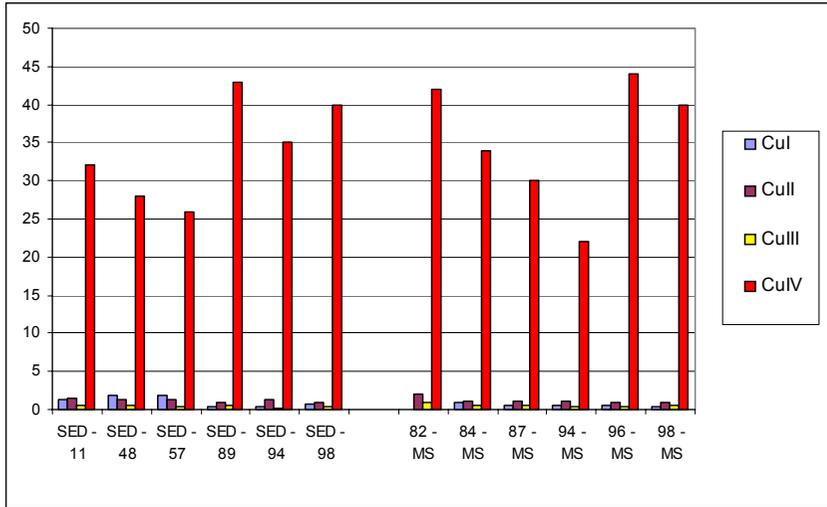


Figura 2 Fracciones de metales pesados de plomo por el método de especiación secuencial química de los sedimentos y del material en suspensión

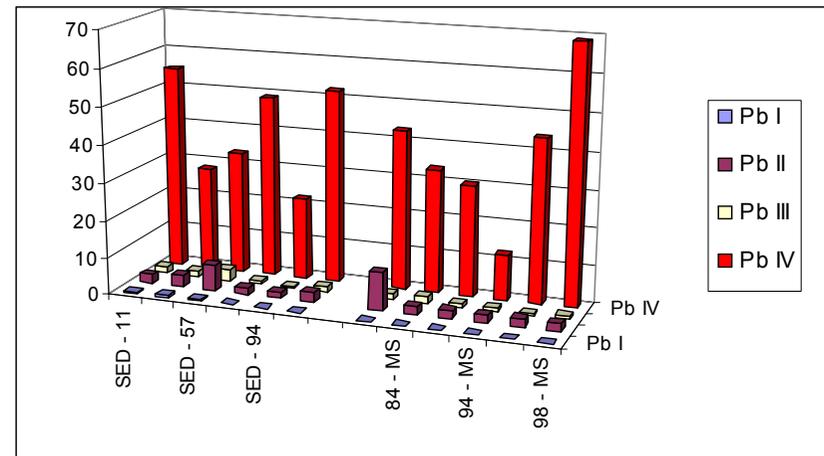
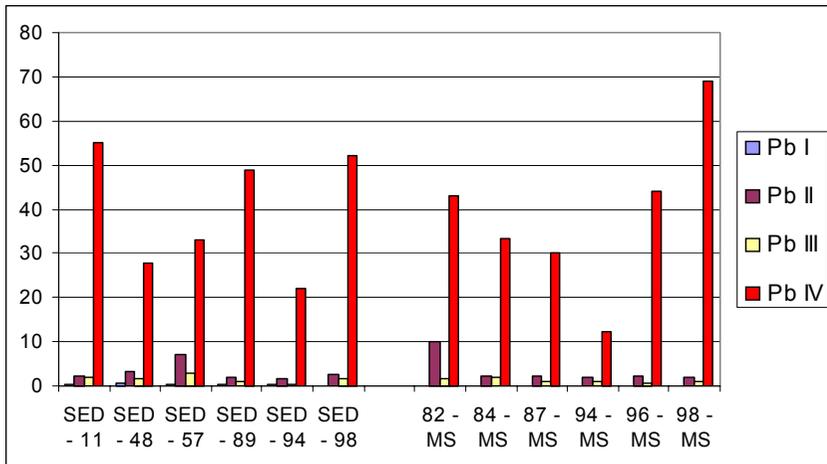


Figura 3 Fracciones de metales pesados de ZINC por el método de especiación secuencial química de los sedimentos y del material en suspensión

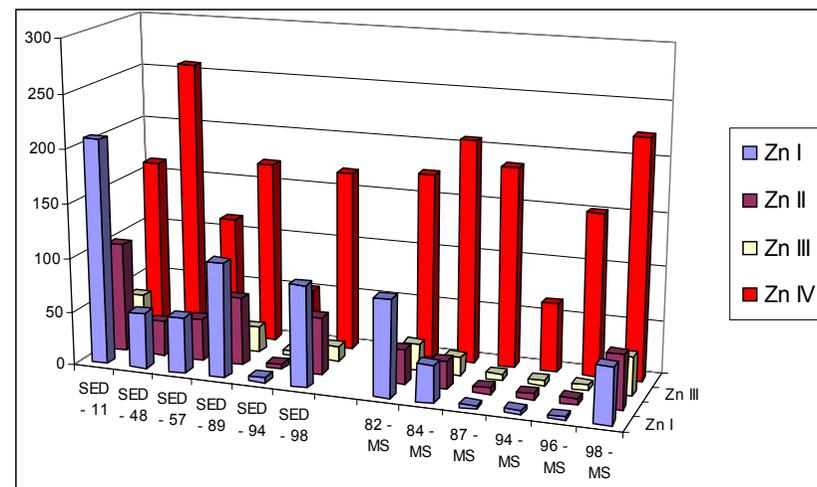
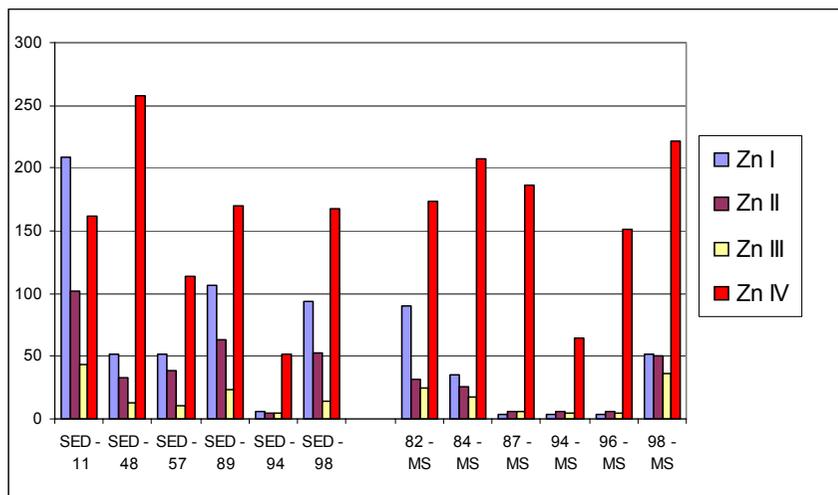


Figura 4 Fracciones de metales pesados de ALUMINIO por el método de especiación secuencial química de los sedimentos y del material en suspensión

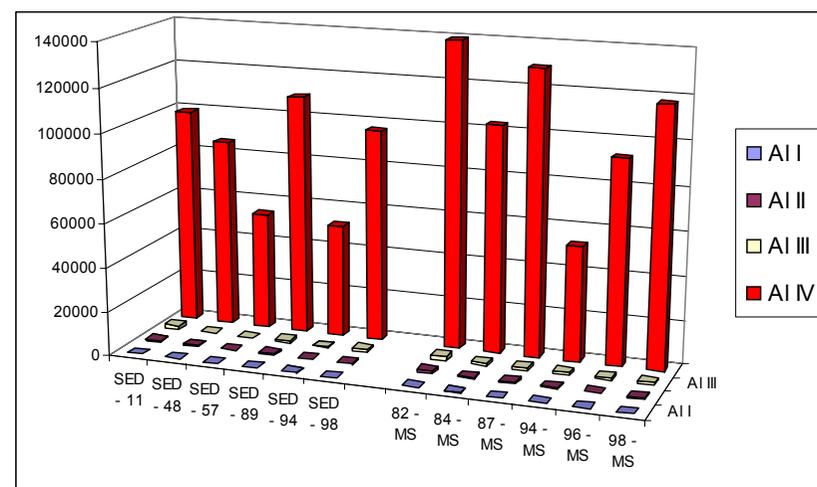
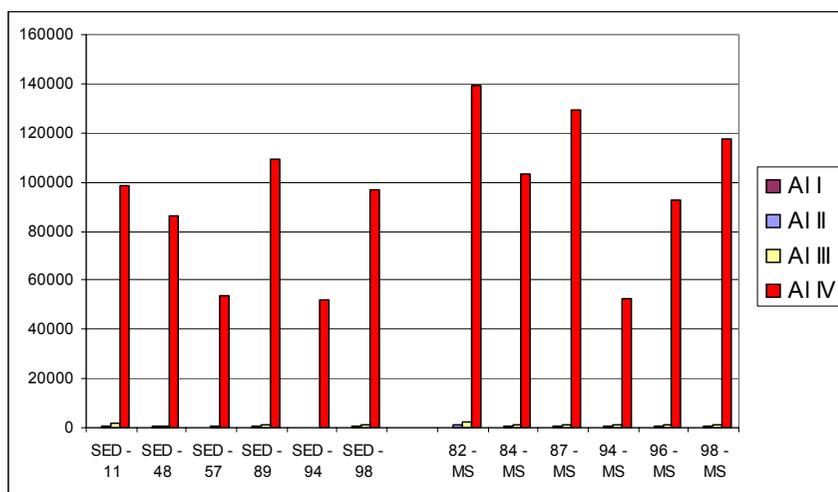


Figura 5 Fracciones de metales pesados de NIQUEL por el método de especiación secuencial química de los sedimentos y del material en suspensión

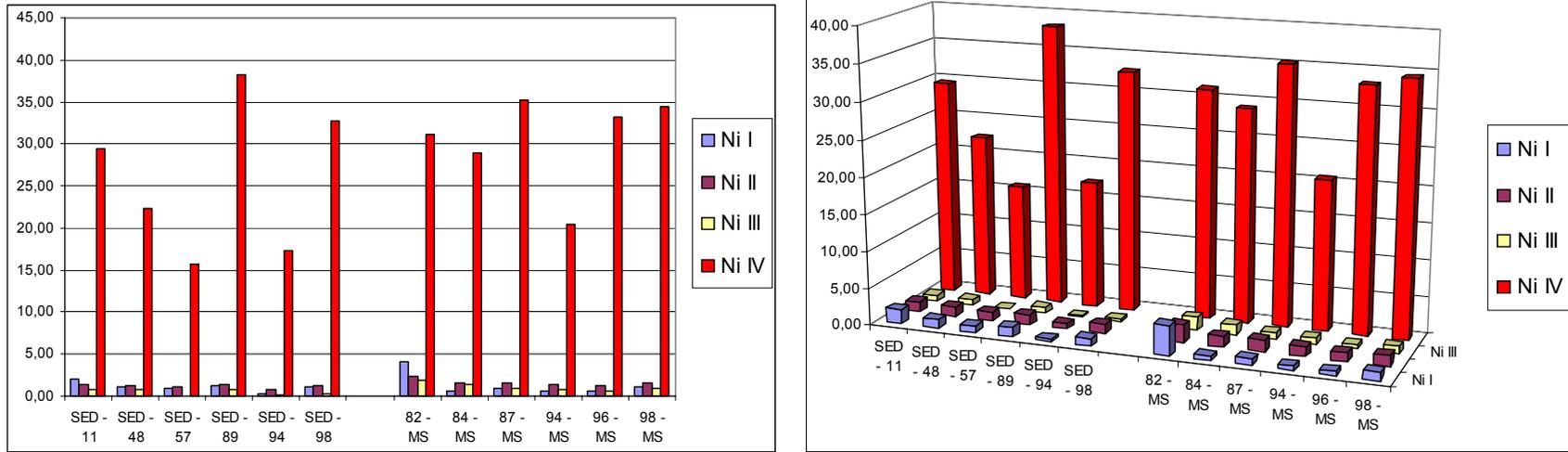


Figura 6 Fracciones de metales pesados de CROMO por el método de especiación secuencial química de los sedimentos y del material en suspensión

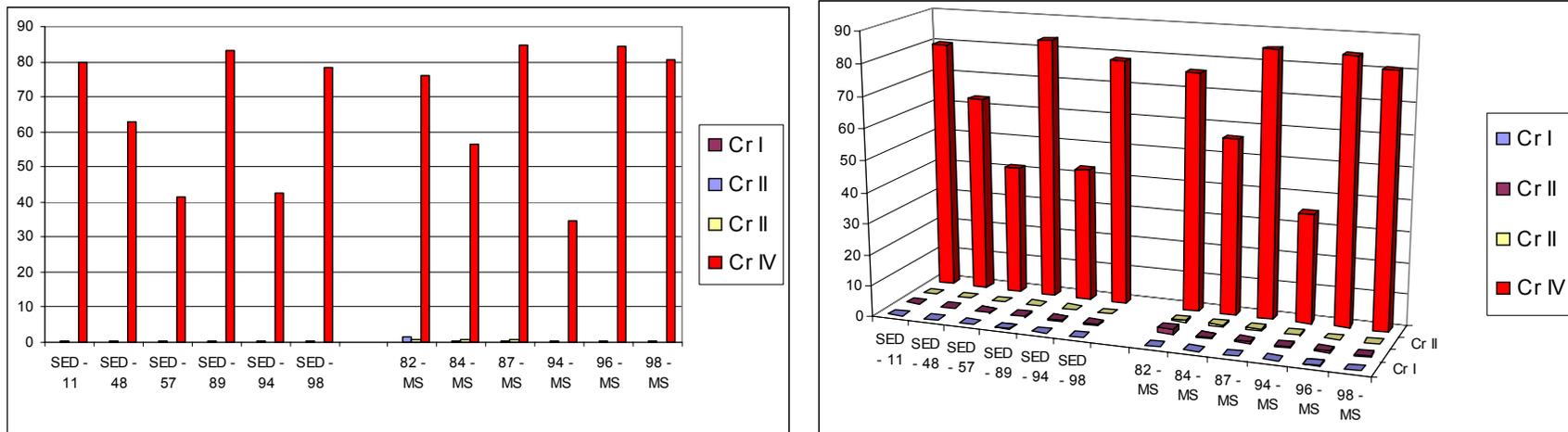


Figura 7 Fracciones de metales pesados de CADMIO por el método de especiación secuencial química de los sedimentos y del material en suspensión

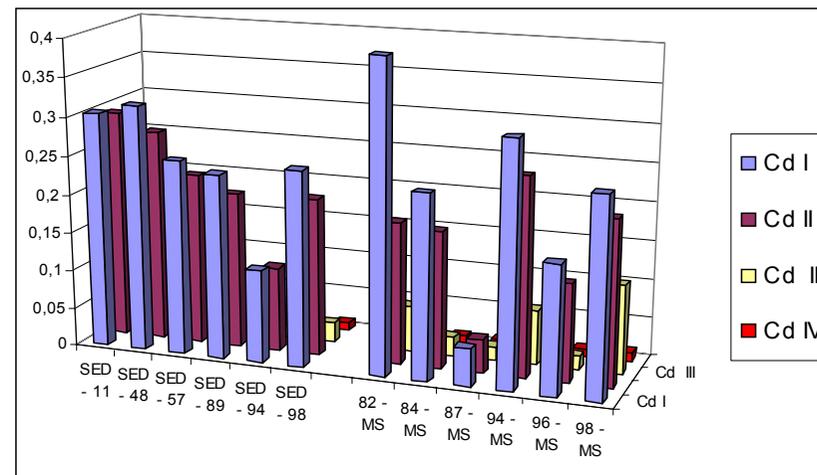
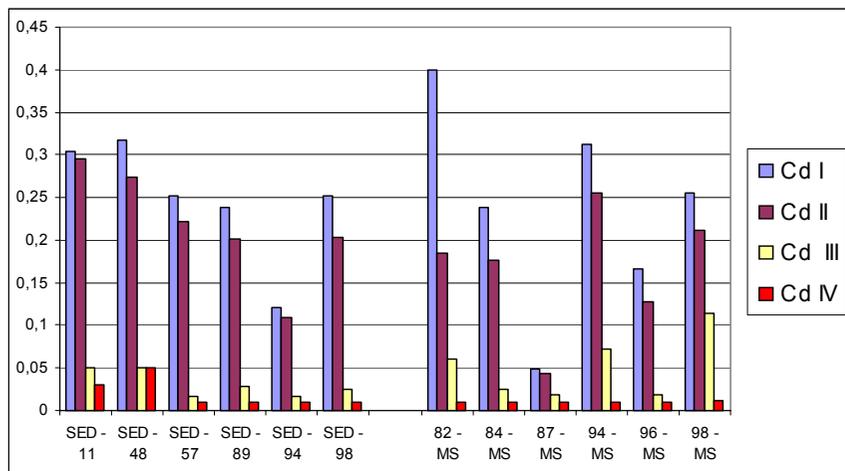
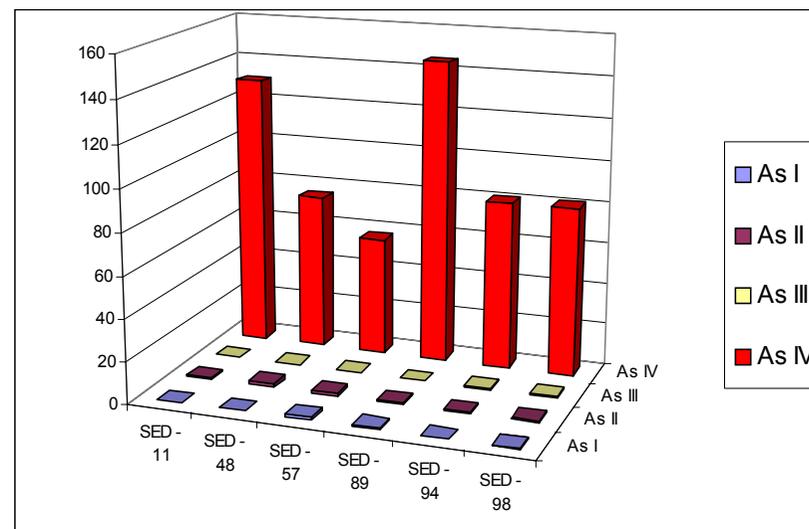
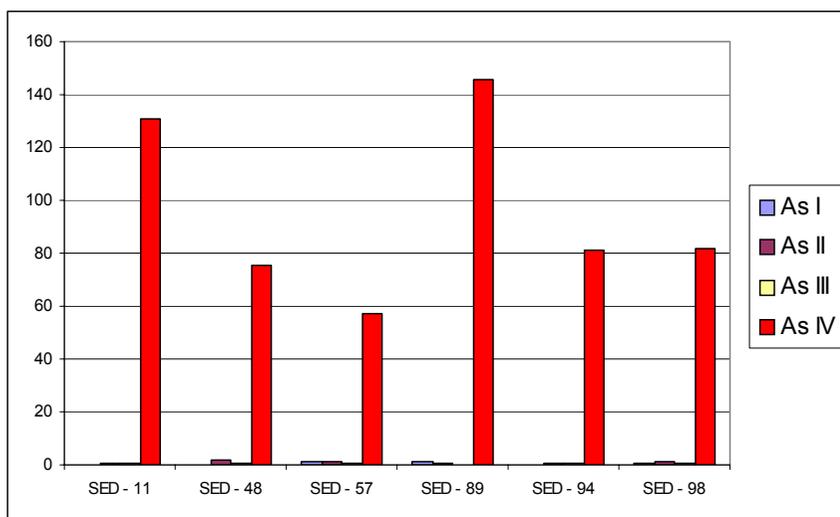


Figura 8 Fracciones de metales pesados de ARSENICO por el método de especiación secuencial química de los sedimentos



OBSERVACIONES, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

OBSERVACIONES Y CONCLUSIONES

- Para el muestreo sistemático geoquímico en el río principal de la cuenca hidrográfica del río Ramis y afluente del lago Titicaca, se recolectaron 40 muestras de sedimentos y 45 muestras de aguas (cationes, aniones y metales pesados).
- En la zona de Huancané —ubicada en las coordenadas UTM 8 296 056 N 397 598 E— se recolectó la muestra 6HUA-ATU-AGUA. 100 en un pozo con emanaciones de salmuera; en ella se encontraron concentraciones muy elevadas de As (88 mg/l) que exceden el LMP según la ley peruana y que desembocan en el lago Titicaca, casi en línea recta y a una distancia aproximada de 3 km.
- La descarga de metales pesados como consecuencia de las operaciones mineras desarrolladas sin ningún control técnico en la zona de Ananea (antes concesiones de Centromin Perú) generan un alto riesgo al acelerar su bioacumulación y por tanto pueden reaccionar a los diferentes agentes ambientales a través de la biodisponibilidad. Esto podría generar efectos irreversibles en el hábitat del lago Titicaca, con consecuencias en los contextos social, económico y ambiental.
- Las evidencias muestran que los metales son lixiviados y transportados, dando lugar a la concentración de los elementos contaminantes de los ríos y a que los impactos negativos estén en relación directa con el proceso de concentración y reconcentración, es decir que mientras más largo sea este proceso, más grandes serán los efectos. Si se considera que la secuencia lacustre del Cuaternario reciente presenta también altos valores de elementos contaminantes, tendremos que concluir que el problema de la contaminación en este sector viene de épocas antiguas pero que en esta última década ha tenido mayor incidencia.
- El proceso de transporte y la distribución del material morrénico lavado en Ananea por los mineros se ha concentrado en forma de lamas en todo el recorrido del río Ramis, principalmente en las barras de punta (*point bar*). La naturaleza plástica de estos sedimentos dificulta su movilización, y para su limpieza pueden transcurrir meses o incluso años, dependiendo de la frecuencia de las precipitaciones y del grado de compactación.
- La presencia de metales en la cuenca del río Ramis se debe a la movilización de la «concentración natural» originada por los procesos de glaciación que arrancaron y transportaron los materiales rocosos de la formación Ananea. Ellos fueron rotos, triturados y molidos, liberando el oro y los sulfuros contenidos, y depositándolos en el valle de Carabaya en forma de morrenas.
- Si bien es cierto que la presencia de mercurio en agua se encuentra dentro de los niveles permitidos por la norma ambiental peruana, es preciso recordar que la acumulación se realiza a través de decenas de años y es continua, y si no se toman medidas, la recuperación de los lechos podría resultar muy costosa y convertirse en un pasivo ambiental más.
- Se delimitó el área de mayor actividad minera en Ananea y se recolectaron 5 muestras de las terrazas de las morrenas que, luego de concentrarlas y analizarlas, dieron resultados con alto contenido de Au, As, Hg, Cu, Zn, Cr, Ni y Fe. Las concentraciones de estos metales fueron disminuyendo a medida que se muestreó aguas abajo.
- El muestreo en dos periodos diferentes ha demostrado que la erosión antrópica del material morrénico cataliza y concentra el contenido de los metales pesados que se encuentran «estabilizados» en la zona de Ananea, puesto que las aguas del curso del río Ramis se mostraron transparentes y con bajo contenido de metales cuando las operaciones mineras se paralizaron aproximadamente durante un mes.
- La información colectada permite interpretar que la actividad minera desarrollada en Ananea es la mayor fuente de contaminación porque genera alta dispersión de metales, sedimentos y materia en suspensión. Los puntos de mayor impacto se encuentran desde la naciente del río hasta la zona de Azángaro.
- Las operaciones mineras en la zona de estudio son del tipo modular y se han identificado más de 200 módulos productivos compuestos principalmente por cargadores frontales/camiones-volquete y una quinta parte por excavadoras/camiones-volquete. Los rendimientos unitarios son hasta de 500 m³, concentrando en tolva, clasificador y canaleta, con leyes

promedio de 0,3 g/m³ de Au, operando en jornadas de 10 h/día, con una recuperación aproximada del 50% y alcanzando producciones de Au de 75 g/día.

- La explotación-beneficio del material aurífero implica una intensiva y continua remoción de gravas, arena y arcillas, lo que ocasiona que la cabecera del río Ramis presente elevadas concentraciones de sólidos en suspensión.
- Las actividades mineras no tienen ningún plan de minado y carecen de sistemas de sedimentación y almacenamiento de relaves finos y arcillas, los cuales son descargados al cauce del río a pesar de la alta concentración de sólidos en suspensión.
- Los relaves gruesos mayores de 2 pulgadas, provenientes de las operaciones de lavado del material aurífero, son acumulados en pilas hasta de 12 m de altura. En la zona de Chaquiminas, donde las operaciones se realizan con mayor intensidad, se estima el volumen de relaves en 5 000 000 m³.
- El arsénico supera los límites permisibles, pero el estudio de muestras de sedimentos y materia en suspensión por especiación secuencial determina que su presencia ocurre fundamentalmente en la fase residual o fase litogénica. Sin embargo, dado que supera los LMP en agua de la norma peruana, se recomienda intervención.
- Los mayores componentes de los sedimentos muestran una concentración decreciente en el río de metales pesados, y constante a decreciente en el caso de los silicatos.
- Luego del análisis químico total de aguas y sedimentos, para determinar el grado de concentración de metales, y el estudio de especiación secuencial para determinar el grado de contaminación disponible en el medioambiente, se concluye que el nivel de contaminación no está determinado por los metales pesados.
- Los resultados de la microscopía en las muestras de materia en suspensión indican que la mayoría de testigos superan el 99% en ganga, encontrándose trazas de esfalerita, oropimente, rejalgar, pirita, calcopirita, arsenopirita, óxidos de hierro de diversas formas e incluso oro nativo distribuido en menos del 1%.
- Por otro lado, un estudio de difracción de rayos X muestra la composición de los minerales (ganga) que contienen dichas muestras de materia en suspensión, tal como se presenta en el Cuadro 8.1, llegando a la conclusión de que la mayor dispersión de metales pesados y arcillas ocurre en las temporadas de trabajos mineros en la parte alta de la cuenca (zona de Ananea). Además, la mayor fuente de contaminación

se encuentra en los sólidos en suspensión. Aunque la distribución de metales pesados no alcance los LMP, es conveniente considerarlos puesto que son bioacumulables y están en relación directa con el grado de movimiento de material morrénico de la parte alta y el grado de concentración de todo material contaminante.

- Los metales Cu, Pb, Zn, Cr, Ni, Al, As presentan a lo largo del río una proporción mayor de su contenido total en la fase residual (origen litogénico). En cambio, en todo el sistema acuático el Cd se halla en las fases de origen antropogénico (f-1, f-2, f-3). Asimismo, en el caso de los sedimentos el Zn tiene una significativa relevancia en la fase de intercambio de iones y asociación con carbonatos (f-1), mientras que en la materia en suspensión ocurre lo mismo solo en algunas muestras. Sin embargo, en el caso del Pb, su presencia es preponderante en la cuarta fase, es significativa en la fase dos (f-2), y es un metal asociado a óxidos de hierro y manganeso. Este metal puede entrar en el agua si se pasa a condiciones de acción oxidante.
- Las concentraciones medias de los metales analizados en las aguas del Ramis presentan la siguiente secuencia:
Cu: fase residual > oxihidróxidos Fe-Mn > materia orgánica > intercambiables y carbonatos
Pb: fase residual > oxihidróxidos Fe-Mn > materia orgánica > intercambiables y carbonatos
Zn: fase residual > intercambiables y carbonatos > oxihidróxidos Fe-Mn > materia orgánica
Cd: intercambiables y carbonatos > oxihidróxidos Fe-Mn > materia orgánica > fase residual
Cr: fase residual > oxihidróxidos Fe-Mn > materia orgánica > intercambiables y carbonatos
Ni: fase residual > oxihidróxidos Fe-Mn > materia orgánica > intercambiables y carbonatos
As: fase residual > oxihidróxidos Fe-Mn > materia orgánica > intercambiables y carbonatos

RECOMENDACIONES

- Se recomienda la implementación de pozas de sedimentación y pozas de relave, con un manejo adecuado de las mismas para la mitigación. Esto debe ser parte de un proceso de manejo ambiental integral.
- Se debe establecer un calendario de monitoreo continuo puesto que la zona implicada está vinculada a la agricultura y ganadería, actividades económicas fundamentales de esa parte del altiplano.

- Es recomendable profundizar los estudios ambientales y sus posibles contingencias puesto que la forma de ocurrencia de los metales determina que la concentración sea rápida, a través de simples cambios meteorológicos. El trabajo con maquinaria pesada no hace más que acelerar el proceso de concentración.
- Se debe realizar un estudio de ordenamiento ambiental, definiendo espacios para cada actividad productiva, poblaciones y biodiversidad, con parámetros cuantitativos.
- Es necesario desarrollar un plan de monitoreo integral e interinstitucional que genere una base de datos.
- Se recomienda implementar un programa de tratamiento de los relaves provenientes de la actividad minera con permanente supervisión.
- Es necesario coordinar con las entidades gubernamentales de control sanitario para desarrollar estudios de los efectos como consecuencia de la contaminación.
- Se debe desarrollar programas de recuperación ambiental a través de investigaciones y la aplicación de tecnologías económicas.
- Se debe establecer normas con soporte jurídico para el caso de los sedimentos.
- Los resultados de esta investigación deben ser complementados con estudios de salud pública en las comunidades cercanas.
- Se debe realizar un estudio permanente de especiación secuencial de los relaves mineros de minas abandonadas y zonas vulnerables para evaluar la posibilidad de desestabilización de contaminantes.
- Es necesario realizar un estudio detallado de suelos en la cuenca ganadera al norte del departamento de Puno para determinar la existencia de metales pesados, el grado de concentración y la dispersión.
- Se recomienda realizar estudios de especiación secuencial durante los trabajos de línea base ambiental.
- Se recomienda intervenir en la zona de Jatun Ayllu-Ahuallani, distrito de Pusi, provincia de Huancané, donde se tomó la muestra 45 del anexo (6 HUA-ATU-AGUA.100), para sellar la perforación y tratar la contaminación que produce su fluido desde hace más de una década.

BIBLIOGRÁFICAS

- BONNEMAISON, M., et al. (1983) - Oro primario y oro detrítico en la Cordillera Sur-Oriental del Perú. El papel de la geomorfogénesis en la formación de los placeres. En: Acción Conjunta Orstom-INGEMMET, Convenio 1980-1983, *Informe Final*. Lima, vol. II, 104 p.
- CARN, M., et al. (1990) - Prospección eléctrica en placeres fluvio-glaciares de oro del distrito de Ananea (departamento de Puno, Perú suroriental). *Géodynamique*, 5(1): 3-16.
- CHÁVEZ, A., et al. (1996) - Geología de los cuadrángulos de Putina y la Rinconada. *INGEMMET, Boletín, Serie A: Carta Geológica Nacional*, 66, 170 p.
- CHÁVEZ, A., et al. (1997) - Geología de los cuadrángulos de Corani y Ayapata. *INGEMMET, Boletín, Serie A: Carta Geológica Nacional*, 90, 128 p.
- CLAVERÍAS, R., et al (2001) – *Fortalecer el capital humano, conservar la biodiversidad y lograr el desarrollo de las economías andinas. Impacto del CIED en Puno 1996-2000* (en línea). Lima: Centro de Investigación, Educación y Desarrollo, 51 p. (Consulta: marzo 2006). Disponible en Web: <<http://www.ciedperu.org/publicaciones/pdf/cied-puno2001.pdf>>
- DE LA CRUZ, J., et al. (1996) - Geología del cuadrángulo de Macusani. *INGEMMET, Boletín, Serie A: Carta Geológica Nacional*, 79, 197 p.
- DE LA CRUZ, N. & CARPIO, M. (1996) - Geología de los cuadrángulos de Sandia y San Ignacio. *INGEMMET, Boletín, Serie A: Carta Geológica Nacional*, 82, 165 p.
- DE LA CRUZ, N. (1995) - Geología de los cuadrángulos de Velille, Yauri, Ayaviri y Azángaro. *INGEMMET, Boletín, Serie A: Carta Geológica Nacional*, 58, 144 p.
- EKAMOLLE (2004) - *Proyecto de investigación en red sobre organización e institucionalidad en la minería artesanal y en pequeña escala* (en línea). (Consulta: marzo 2006). Disponible en Web: <http://www.ekamolle.org/investigacion_red>
- FANFANI, L. et al (1997) - Heavy metals speciation analysis as a tool for studying mine tailings weathering. *Journal of Geochemical Exploration*, 58(2-3): 241-248.
- FONDO ROTATORIO DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA EXPLORACIÓN DE LOS RECURSOS NATURALES (1990) – *Exploración de metales base y oro en dos zonas del Perú; informe final, Zona I: Ananea (San Antonio de Poto)*. Naciones Unidas, 144 p.
- FORNARI, M., et al. (1981) - Las mineralizaciones auríferas en la Cordillera Sur-Oriental del Perú. El papel de la evolución geomorfológica en la formación de los placeres. En: Acción Conjunta Orstom-INGEMMET, Convenio 1977-1980, *Informe Final*. Lima, vol. II, 74 p.
- GALLOSO, A., et al. (1996) - *Evaluación geológico-minera por oro y dispersión de mercurio en el río Madre de Dios (Boca del Colorado-Lago Sandoval) y estudio geofísico de las áreas: Huepetuhe, Caychihue, Puquiri y Puerto Carlos*, informe inédito. Lima: INGEMMET, 82 p. (disponible A.T. IngemmetA5085)
- INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA E INFORMÁTICA (2005) - *Estadísticas ambientales, Informe técnico, junio 2005* (en línea). (Consulta: marzo 2006). Disponible en Web: <<http://www.inei.gob.pe/web/BoletinFlotante.asp?file=7008.pdf>>
- JARA, M. (2003) - *Distribución de metales pesados en agua y sedimentos y sus efectos sobre la vida acuática en la cuenca superior del río Santa*. Tesis Maestría, Universidad Nacional de Ingeniería, Lima, 171 p.
- KIHLEN, A. (1985) - Geología y génesis del yacimiento aurífero de San Antonio de Poto. *Boletín Sociedad Geológica del Perú*, (74): 17-31.
- LAUBACHER, G. (1978) - Estudio geológico de la región norte del Lago Titicaca. *Instituto de Geología y Minería, Boletín, Serie D: Estudios Especiales*, 5, 120 p.
- LENNTECH - *Tabla periódica. Clasificación periódica de los elementos químicos* (en línea). Delft: Lenntech.

- (consulta: marzo 2006). Disponible en Web: <<http://www.lennotech.com/espanol/tabla-periodica.htm>>
- MEDRANO, W. (2001) - *Evaluación de la calidad de aguas residuales de la planta de tratamiento de Alba Rancho (SEMAPA) con fines de riego* (en línea). Tesis Maestría, Universidad Mayor San Simón, Cochabamba. (Consulta: julio 2006). Disponible en Web: <<http://www.umss.edu.bo/epubs/earts/downloads/71.pdf>>
- MINING, MINERALS AND SUSTAINABLE DEVELOPMENT (MMSD) PROJECT, et al., eds. (2002) - *Minería, minerales y desarrollo sustentable en América del Sur*. International Institute for Environment and Development y World Business Council for Sustainable Development, 623 p.
- MONGE, R. & ZEDANO, J. (1996) - Geología del cuadrángulo de Limbani. *INGEMMET, Boletín, Serie A: Carta Geológica Nacional, 184*, 181 p.
- MONGE, R., et al. (1997) - Geología de los cuadrángulos de Esquena, Santa Bárbara y Azata. *INGEMMET, Boletín, Serie A: Carta Geológica Nacional, 91*, 124 p.
- NEWELL, N.D. (1949) - *Geology of the Lake Titicaca region, Perú and Bolivia*. Boulder, CO: Geological Society of America, Memoir 36, 111 p.
- NÚÑEZ, S., et al. (2006) - Estudio geoambiental de la cuenca del río Chancay-Lambayeque. *INGEMMET, Boletín, Serie C: Geodinámica e Ing. Geológica, 33*, 139 p.
- PALACIOS, O., et al. (1993) - Geología de la Cordillera Occidental y Altiplano al oeste del Lago Titicaca – Sur del Perú (Proyecto Integrado del Sur). *INGEMMET, Boletín, Serie A: Carta Geológica Nacional, 42*, 257 p.
- PÉREZ, C.; CASTRO, M. & LOAIZA, E. (2003) - *Reconocimiento de las actividades mineras y metalúrgicas en la Cordillera Suroriental, San Antonio de Putina - Puno; informe de visita técnica de campo*. Lima: INGEMMET, 66 p.
- PERÚ. MINISTERIO DE ENERGÍA Y MINAS. DIRECCIÓN GENERAL DE ASUNTOS AMBIENTALES (1998) - Evaluación ambiental territorial de las zonas auríferas de Puno (en línea). Lima: MINEM. (Consulta: mayo 2006). Disponible en Web: <<http://www.minem.gob.pe/archivos/dgaam/publicaciones/evats/puno/puno1.pdf>>
- PERÚ. MINISTERIO DE ENERGÍA Y MINAS. DIRECCIÓN GENERAL DE MINERÍA (2005) - Informe final de la Comisión Especial conformada por D.S. 028-2005-EM (en línea). Lima: MINEM. (Consulta: junio 2006). Disponible en WEB: <<http://www.minem.gob.pe/archivos/dgm/publicaciones/informes/InformeFinalComisionEspecialVF2.pdf>>
- PERÚ. MINISTERIO DE ENERGÍA Y MINAS. DIRECCIÓN GENERAL DE ASUNTOS AMBIENTALES (1999) - *Ley General de Aguas Decreto Ley 17752 (1969)* (en línea). Lima: MINEM. (Consulta: 28 junio 2006), disponible en Web: <<http://www.minem.gob.pe/archivos/dgaam/publicaciones/compendio99/17752.pdf>>
- PIZARRO, F. (1978) - *Drenaje agrícola y recuperación de suelos salinos*. Madrid: Agrícola Española, 521 p.
- RIVERA, H. (2001) - *Introducción a la geoquímica general y aplicada*. Lima: Publigráf, 279 p.
- ROSAS, H. (2001) – Estudio de la contaminación por metales pesados en la cuenca del Llobregat (en línea). Tesis Doctoral, Universitat Politècnica de Catalunya. (Consulta: junio 2006). Disponible en Web: <<http://www.tesisenxarxa.net/TDX-0712101-075103>>
- TESSIER, A.; CAMPBELL, P.G.C. & BISSON, M. (1979) - Trace metal speciation in the Yamaska and St. Francois rivers (Quebec). *Canadian Journal of Earth Sciences*, 17(1): 90-105.
- TESSIER, A.; CAMPBELL, P.G.C. & BISSON, M. (1980) - Trace metal speciation of USGS reference sample MAG-I. *Geostandards Newsletter*, 4(2): 145- 148.
- UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA. FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES (1999) - Investigación y monitoreo de los ríos Carabaya-Ramis y Cabanillas y del lago Titicaca. Lima: UNALM, 62 p.
- VIDALÓN, J. & SUÁREZ, J. (2005) - *Programa de desarrollo sostenible en las áreas de Pampa Blanca, Vizcachani y Chaquiminas, Ananea, Puno, Perú: propuesta de prevención y manejo de impactos en las operaciones mineras de Pampa Blanca, Vizcachani y Chaquiminas*. Informe de la Comisión D.S. 028-EM. Lima: Ministerio de Energía y Minas, 58 p.
- VILLAS BOAS, R.C. (1997) - The mercury problem in the Amazon due to gold extraction. *Journal of Geochemical Exploration*, 58(2-3): 217-222.
- ZAVALA, B & GUERRERO, C. (2006) – Estudio geoambiental de la cuenca del río Ramis. *INGEMMET, Boletín, Serie C: Geodinámica e Ing. Geológica, 30*, 196 p.

ANEXOS



Foto N° 11 Vista parcial de la ciudad de Puno y el lago Titicaca.



Foto N° 12 Perforación de pozo para petróleo sin mayor protección y con constante flujo, en la zona de Huancané.



Foto N° 13 Agua contaminada por la perforación de pozo de exploración de petróleo, cuyas emanaciones alteran el ambiente en la zona de Jatun Ayllu-Ahuallani, distrito de Pusi, provincia de Huancané. Ubicación: 8 296 056 N 397 598 E.



Foto N° 14 Emanaciones fluidas atraviesan tierras cultivables y desembocan en el lago Titicaca a lo largo de una distancia aproximada de 3 km.



Foto N° 15 Vista parcial de infraestructura de la bocatoma de la irrigación Progreso. Se observa la sedimentación de sólidos finos (Lamas) transportados de las nacientes del río Ramis y la turbidez de las aguas que comprenden el sistema de riego de la microcuenca Azángaro.



Foto N° 16 Toma de muestras donde se han concentrado lamas provenientes de la zona alta, cabecera del río Ramis.



Foto N° 17 Procedimiento del muestreo de sedimentos: en una distancia de 20 a 30 m se va seleccionando la muestra, utilizando la malla 30.



Foto N°18 Muestreo de sedimentos: proceso de clasificación y disposición en bolsas microporosas.



Foto N° 19 Punto de muestreo de sedimentos en parte de la cabeza de una barra en punta (point bar) del sector del río Ramis que corresponde a la zona de Huancané.



Foto N°20 Grietas de desecación típicas de la presencia de limos



Foto N° 21 Vista panorámica del curso del río Grande, cabecera del río Ramis, junto con desmonte y escombros de la morrena aurífera lavada.



Foto N° 22 Zona de Ananea sin explotación minera, marzo de 1999.



Foto N° 23 Vista de la misma zona de la fotografía anterior con explotación minera, julio de 2007.



Foto N° 24 Cobertura de las nacientes del río Ramis con lamas producidas por la explotación minera. Al fondo se observa las zonas de explotación de las morrenas.



Foto N° 25 Zona de Chaquiminas donde se explotan tres terrazas de material morrénico.



Foto N° 26 Arreglos e instalaciones de chute nuevo para explotación minera en la zona de Pampa Blanca



Foto N° 27 Camélidos comparten su hábitat con las operaciones mineras.



Foto N° 28 Zona de Ananea en ambas márgenes del río Ramis; se observan los clastos de la morrena así como lamas lavadas y transportadas hacia las partes bajas.



Foto N° 29 En la zona de Ananea se observan las lagunas artificiales realizadas por los mineros para el lavado de concentrado con mercurio.



Foto N° 30 Zona de Ananea en la que se observa la magnitud de la depredación y el desborde del río Ramis por el rebalse de lamas.



Foto N° 31 Río Ancocala inundado por lamas de morrenas de Ananea.



Foto N° 32 Zona de Chaquiminas-Ananea: se toman medidas y muestras de las terrazas-morrenas para determinar los elementos que contaminan.



Foto N° 33 Vista parcial del centro poblado La Rinconada. La pendiente acumula los fluidos provenientes de las operaciones mineras subterráneas que forman parte del flujo de Ananea.



Foto N° 34 Molinos polveadores dentro de vivienda en La Rinconada.



Foto N° 35 Taller casero de fabricación de molinos en La Rinconada.



Foto N° 36 Niños que viven en el área de la mina Cerro Lunar en La Rinconada (región de Puno).



Foto N° 37 Zona de diversión de los niños que viven en el área de explotación de la mina Cerro Lunar en La Rinconada. Nótese que se encuentra en un contexto de desechos sólidos e inorgánicos.



Foto N° 38 Preparación y revisión de muestras de sedimentos en los ambientes de la Universidad Nacional del Altiplano de Puno, para su envío posterior a los laboratorios del INGEMMET.



Foto N° 39 Preparación y preservación de muestras de aguas en los locales de la Universidad Nacional del Altiplano de Puno, antes de ser enviadas a los laboratorios del INGEMMET.

Base de Datos de Muestreo de Sedimentos - Cuenca del Río Ramis (marzo - abril de 2006)

Nº	Código de Muestra	Cu ppm	Pb ppm	Zn ppm	Cd ppm	As ppm	Hg ppm	Cr ppm	Ni ppm	Co ppm	Ag ppm	Fe %	Mn ppm	Al ppm	Sb ppm	Li ppm	Sr ppm	Ti ppm
1	6HUA - BAL - SED.36	19	26	99	< 0,5	17	1,50	54	18	8	<0,5	3,6	542	5,89	< 5	53	252	0,64
2	6JUL - PRE - SED.38	19	21	95	< 0,5	23	0,51	55	16	8	< 0,5	3,5	543	7,02	< 5	52	286	0,54
3	6JUL - CAC - SED. 43	19	27	96	< 0,5	23	0,82	54	19	9	≤ 0,5	4,0	610	6,17	< 5	52	307	0,68
4	6JUL - ACH - SED. 24	25	38	120	< 0,5	21	0,23	77	23	15	< 0,5	5,9	751	6,62	< 5	46	436	0,78
5	6JUL - PAM - SED. 48	33	35	154	< 0,5	78	3,30	64	27	15	<0,5	4,1	638	8,65	< 5	89	144	0,53
6	6AZA - SAH - SED. 49	22	29	139	< 0,5	40	1,80	50	18	8	<0,5	2,8	481	6,2	< 5	67	136	0,48
7	6AZA - QUE - SED. 50	24	33	134	< 0,5	42	3,60	52	18	7	<0,5	2,9	452	5,62	<5	63	131	0,53
8	6AZA - TUM - SED. 52	22	30	113	< 0,5	35	2,70	42	13	8	< 0,5	2,9	405	4,98	< 5	21	119	0,61
9	6AZA - SAÑ - SED. 54	32	45	231	< 0,5	71	0,45	49	21	14	< 0,5	3,2	487	6,73	< 5	70	89	0,5
10	6AZA - JAP - SED. 57	29	44	200	< 0,5	60	3,50	42	18	10	<0,5	3,0	452	5,38	< 5	62	84	0,56
11	6AZA - INA - SED. 59	52	63	275	< 0,5	134	0,46	93	39	24	< 0,5	5,2	743	10,6	< 5	102	122	0,53
12	6AZA - ANT - SED. 61	23	39	162	< 0,5	68	0,10	45	16	10	<0,5	2,7	364	4,83	< 5	53	70	0,59
13	6MAC - CAN - SED. 63	24	45	171	< 0,5	57	0,38	44	15	10	< 0,5	2,9	442	4,60	<5	54	71	0,71
14	6MAC - NAS - SED. 82	27	43	158	< 0,5	76	0,07	43	15	8	<0,5	2,8	398	4,50	< 5	49	64	0,75
15	6MAC - CAR - SED. 88	58	58	313	< 0,5	146	0,25	93	45	30	<0,5	5,8	736	11,8	< 5	128	115	0,53
16	6MAC - ART - SED. 89	46	53	364	< 0,5	148	0,27	84	43	28	< 0,5	5,5	659	11,0	< 5	109	114	0,51
17	6MAC - QUI - SED. 11	36	60	515	1,0	132	0,26	81	34	23	≤ 0,5	4,7	613	9,95	< 5	98	111	0,48
18	6MAC - CUL - SED. 97	33	45	186	< 0,5	92	0,33	73	30	21	<0,5	4,1	513	9,42	< 5	88	81	0,49
19	6MAC - CRU - SED. 98	39	55	333	< 0,5	83	0,24	79	37	24	<0,5	4,7	622	9,72	11	93	90	0,50
20	6LIM - ROS - SED. 83	20	20	100	< 0,5	68	0,05	39	20	14	<0,5	2,6	362	5,61	< 5	54	67	0,45
21	6LIM - CHI - SED. 84	19	26	102	< 0,5	65	0,53	37	21	14	<0,5	2,8	367	5,46	< 5	52	63	0,46
22	6LIM - UCH - SED. 86	20	20	66	< 0,5	64	0,03	39	17	10	<0,5	2,6	328	5,00	< 5	51	59	0,46
23	6PUT - CHU - SED. 66	19	18	57	< 0,5	69	0,05	36	15	10	< 0,5	2,6	314	3,84	< 5	42	56	0,62
24	6LIM - JAP - SED. 87	18	19	61	< 0,5	70	0,03	41	17	11	≤ 0,5	2,7	343	9,65	< 5	44	55	0,54
25	6PUT - TAP - SED. 94	24	25	68	< 0,5	82	0,03	44	20	12	< 0,5	2,9	351	5,2	< 5	50	62	0,57
26	6PUT - ORI - SED. 96	22	24	70	< 0,5	11	0,06	38	19	8	< 0,5	3,2	329	4,65	< 5	42	57	0,75
27	6HUA - HUA - SED. 30	14	30	63	< 0,5	8	0,64	42	16	8	< 0,5	2,6	417	4,98	< 5	48	135	0,43
28	6HUA - HUA - SED. 31	12	19	56	< 0,5	6	0,11	43	15	6	<0,5	2,1	354	4,6	<5	43	125	0,43
29	6PUT - PUT - SED. 32	17	27	92	< 0,5	18	0,71	46	21	7	<0,5	2,7	431	5,59	5	71	112	0,42
30	6PUT - PAM - SED. 33	13	34	91	< 0,5	8	0,28	45	17	7	<0,5	2,6	479	4,7	<5	55	151	0,41
31	6PUT - GRA - SED. 34	9	20	47	< 0,5	22	0,36	40	15	7	<0,5	2,2	303	5,92	5	34	94	0,49
32	6JUL - RAM - SED. 42	23	28	103	< 0,5	23	0,25	61	22	10	<0,5	4,4	679	6,23	<5	45	456	0,64
33	6JUL - PUC - SED. 01	27	35	109	< 0,5	27	0,14	61	20	13	< 0,5	4,4	651	6,33	< 5	49	489	0,63
34	6JUL - CHI - SED. 04	32	48	165	< 0,5	14	0,81	105	29	21	≤ 0,5	10,3	1143	6,44	< 5	41	452	0,63
35	6JUL - PUC - SED. 02	27	41	110	< 0,5	32	0,18	64	21	15	< 0,5	5,1	780	7,04	< 5	52	463	0,69
36	6AZA - JUN - SED. 55	17	20	77	< 0,5	16	0,25	44	15	7	<0,5	3,4	488	5,49	< 5	61	176	0,58
37	6MAC - ROS - SED. 09	126	38	263	1	30	0,50	44	23	14	<0,5	2,7	1056	6,14	< 5	100	91	0,42
38	6JUL - CAL - SED. 40	27	32	113	< 0,5	27	0,35	65	22	13	<0,5	4,8	696	6,92	< 5	51	418	0,67
39	6MAC - COS - SED. 10	641	189	2540	13,8	53	0,60	57	24	15	<0,5	3,2	1400	6,42	5	96	120	0,44
40	6PUT - BAL - SED. 19	9	10	49	< 0,5	8	< 0,02	22	10	6	< 0,5	2,3	548	3,13	< 5	24	40	0,61

**DIRECCION DE LABORATORIOS
LABORATORIO DE RAYOS "X"**

REPORTE N° 071- 2006-LRX

MEMORANDUM	:	N° 147-2006-DGPEM
SOLICITADO POR	:	Dr. Humberto Chirif Rivera
PROCEDENCIA	:	Proyecto GE-7 : Zona Suroriental del Perú
N° DE MUESTRAS	:	05
FECHA	:	Lima 20 de Junio de 2006

Para el análisis, se utilizo tubo de Cu en un difractor SHIMADZU modelo XRD-6000, con energía de 40 Kv, 30 mA

RESULTADOS DEL ANALISIS:

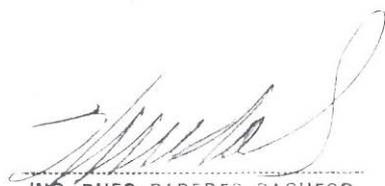
N°	MINERAL	FORMULA	%
MUESTRA N° 82			
01	Cuarzo	SiO ₂	48.39
02	Albita	(Na, Ca) (Si, Al) ₄ O ₈	43.03
03	Muscovita	(K, Na) (Al,Mg, Fe) ₂ (Si ₃ Al ₁₀)O ₁₀ (OH) ₂	4.10
04	Clorita	Mg ₅ Al ₂ Si ₃ O ₁₀ (OH) ₈	3.19
05	Augita	Ca(Mg, Fe, Al) (Si, Al) ₂ O ₂	0.85
06	Actinolita	Ca ₂ (Mg, Fe) ₅ Si ₈ O ₂₂ (OH) ₂	0.44
MUESTRA N° 84			
01	Cuarzo	SiO ₂	65.11
02	Albita	(Na, Ca) (Si, Al) ₄ O ₈	27.65
03	Muscovita	(K, Na) (Al,Mg, Fe) ₂ (Si ₃ Al ₁₀)O ₁₀ (OH) ₂	4.21
04	Clorita	Mg ₅ Al ₂ Si ₃ O ₁₀ (OH) ₈	3.03
MUESTRA N° 94			
01	Cuarzo	SiO ₂	79.87
02	Albita	(Na, Ca) (Si, Al) ₄ O ₈	9.83
03	Muscovita	(K, Na) (Al,Mg, Fe) ₂ (Si ₃ Al ₁₀)O ₁₀ (OH) ₂	3.93
04	Clorita	Mg ₅ Al ₂ Si ₃ O ₁₀ (OH) ₈	3.18
05	Calcita	CaCO ₃	1.23
06	Cloropatita	Ca ₅ (PO ₄) ₃ Cl	0.98
07	Augita	Ca(Mg, Fe, Al) (Si, Al) ₂ O ₂	0.49
08	Hematita	Fe ₃ O ₃	0.26
09	Anatasa	TiO ₂	0.23

MUESTRA N° 96

01	Cuarzo	SiO ₂	46.34
02	Albita	(Na, Ca) (Si, Al) ₄ O ₈	44.07
03	Clorita	Mg ₅ Al ₂ Si ₃ O ₁₀ (OH) ₈	4.14
04	Muscovita	(K, Na) (Al,Mg, Fe) ₂ (Si ₃ Al ₁₀)O ₁₀ (OH) ₂	3.68
05	Augita	Ca(Mg, Fe, Al) (Si, Al) ₂ O ₂	0.69
06	Actinolita	Ca ₂ (Mg, Fe) ₅ Si ₈ O ₂₂ (OH) ₂	0.51
07	Molisita	FeCl ₃	0.32
08	Halita	NaCl	0.25

MUESTRA N° 98

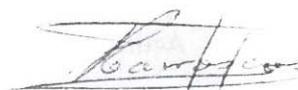
01	Cuarzo	SiO ₂	61.77
02	Albita	(Na, Ca) (Si, Al) ₄ O ₈	31.00
03	Clorita	Mg ₅ Al ₂ Si ₃ O ₁₀ (OH) ₈	2.61
04	Dolomita	CaMg(CO ₃) ₂	2.54
05	Muscovita	(K, Na) (Al,Mg, Fe) ₂ (Si ₃ Al ₁₀)O ₁₀ (OH) ₂	1.54
06	Halita	NaCl	0.28
07	Magnesiohorblenda	(Ca, Na) _{2,25} (Mg, Fe, Al) _{5,15} (Si, Al) ₈ O ₂₂ (OH) ₂	0.26



ING. RUFO PARFEDER PACHECO

Sub Director de Laboratorios

INGEMMET



Espino, PAREDES PACHECO E.

Labo. de Sayas y Ancho, Multigoleminal

INGEMMET



F-LA-MI-004

Dirección de Laboratorios
Petromineralogía

INFORME DE ESTUDIO MINERALOGICO

Solicitado por	: DR. HUMBERTO CHIRIF R.
Muestra Original N°	: SOLIDOS EN SUSPENSION 6 PUT-ORI-AGUA-96
Código de Laboratorio	: 13060601
Referencia	: MEMORANDUM N°147-2006-DGEPM
Estudiado por	: ING. LEONOR RAMIREZ Y.
Fecha	: AGOSTO DE 2006

1. DESCRIPCION MICROSCOPICA:

Minerales libres	Porcentaje aproximado (%)
Ganga	99.40
Esfalerita	traza
Oxidos de fierro	0.2
Oropimente	TRAZA
Pirita framboidal	TRAZA
Rejalgar	TRAZA
Oro nativo	TRAZA

Minerales asociados o intercrecidos

Ganga-óxidos de fierro	<0.15
Ganga-oropimente	TRAZA
Limeñita - hematita-ganga	TRAZA
Ganga-rejalgar?	TRAZA

2. OBSERVACIONES:

La muestra consiste de agregados por efecto de la preparación, también contiene granos libres de ganga, óxidos de fierro, esfalerita oropimente, pirita framboidal y cúbica, rejalgar y oro nativo, e intercrecidos como ganga-óxidos de fierro, ganga-oropimente, ganga-rejalgar?, los cuales ocurren como inclusión el la ganga, y la ilmenita-hematita-ganga ocurre como intercrecimiento reticular e inclusión.

El oro nativo tiene tamaño de 4micrones y los sulfuros de arsénico tienen tamaños menores de 12 micrones.

Los granos asociados llegan a medir hasta 38 micrones.

Dirección de Laboratorios
Petrominerología

INFORME DE ESTUDIO MINERALOGICO

3. ANEXOS

Fotomicrografía/s

Muestra Original : SOLIDOS EN SUSPENSION Clave de Laboratorio: N°13060601

6 PUT-ORI-AGUA-96

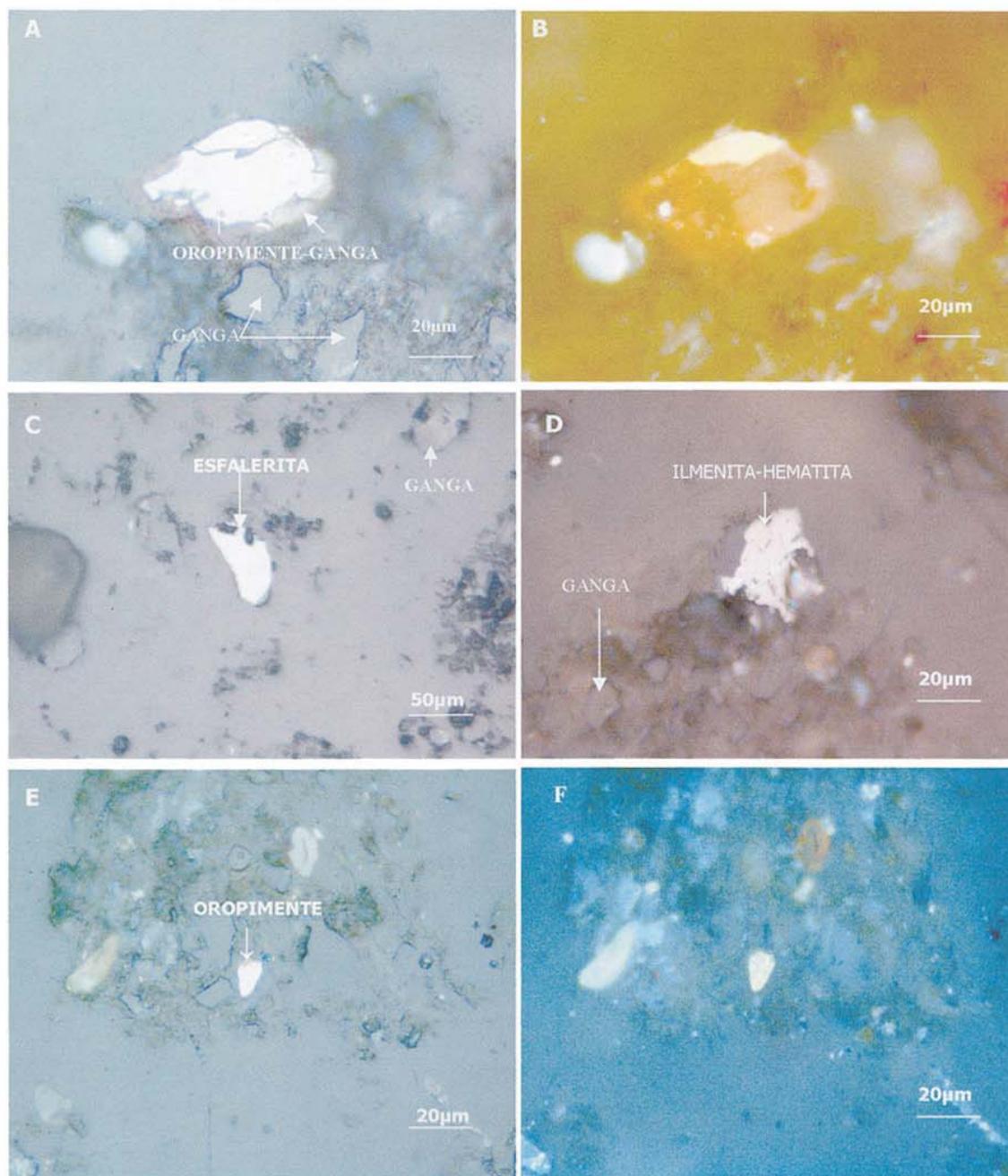


Foto micrografía A.- Granos de ganga libre, y orpimente asociado a la ganga. Luz natural. B.-Foto micrografía anterior (A) en nicoles cruzados. C.-Granos libres de esfalerita y ganga. Luz Natural. D.- Granos libres de ganga, e ilmenita asociado a hematita con inclusiones de ganga. Luz Natural. E.-Granos libres de ganga y orpimente Luz Natural. F.- Fotomicrografía anterior (E) en Nicoles Cruzados.



F-LA-MI-004

Dirección de Laboratorios
Petromineralogía

INFORME DE ESTUDIO MINERALOGICO

Fotomicrografía/s

Muestra Original : SOLIDOS EN SUSPENSION Clave de Laboratorio: N°13060601
6 PUT-ORI-AGUA-96

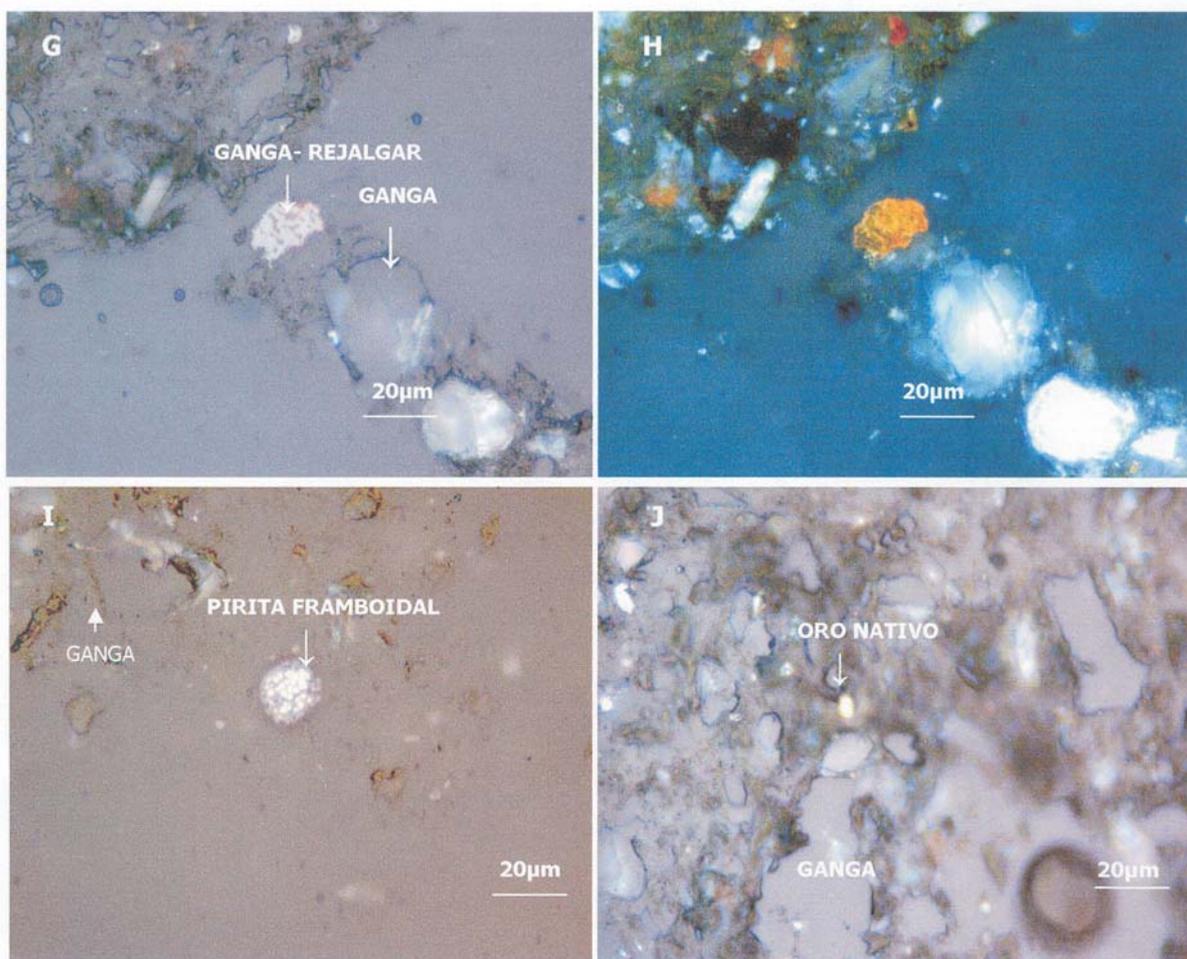


Foto micrografía **G.**- Granos de ganga libre, y ganga asociado a rejalgar. Luz natural. **H.**-Foto micrografía anterior (**G**) en ní-cruzados. **I.**-Granos de pirita framboidal y ganga. Luz Natural. **J.**- Granos libres de ganga, y oro nativo. Luz Natural.



Dirección de Laboratorios
Petromineralogía

INFORME DE ESTUDIO MINERALOGICO

Solicitado por : DR. HUMBERTO CHIRIF R.
Muestra Original N° : SOLIDOS EN SUSPENSION
 6 MAC-CRU-AGUA-98
Código de Laboratorio : 13060602
Referencia : MEMORANDUM N°147-2006-DGEPM
Estudiado por : ING. LEONOR RAMIREZ Y.
Fecha : AGOSTO DE 2006

1. DESCRIPCION MICROSCOPICA:

Minerales libres	Porcentaje aproximado (%)
Ganga	<99.75
Pirita	0.15
Calcopirita	0.1
Electrum	TRAZA
Oropimente?	TRAZA
Rejalgar?	TRAZA

2. OBSERVACIONES:

La muestra consiste de agregados por efecto de la preparación, también contiene granos libres, como los sulfuros: pirita, calcopirita, oropimente y rejalgar?; ganga y oro nativo. No se ha localizado minerales asociados o intercrecidos.

El tamaño del electrum y de los sulfuros tienen tamaños de 3 y menores de 6 micrones respectivamente.



F-LA-MI-004

Dirección de Laboratorios
 Petromineralogía

INFORME DE ESTUDIO MINERALOGICO

3. ANEXOS

Fotomicrografía/s

Muestra Original : **SOLIDOS EN SUSPENSIÓN** Clave de Laboratorio: **Nº13060602**
6 MAC-CRU-AGUA-98

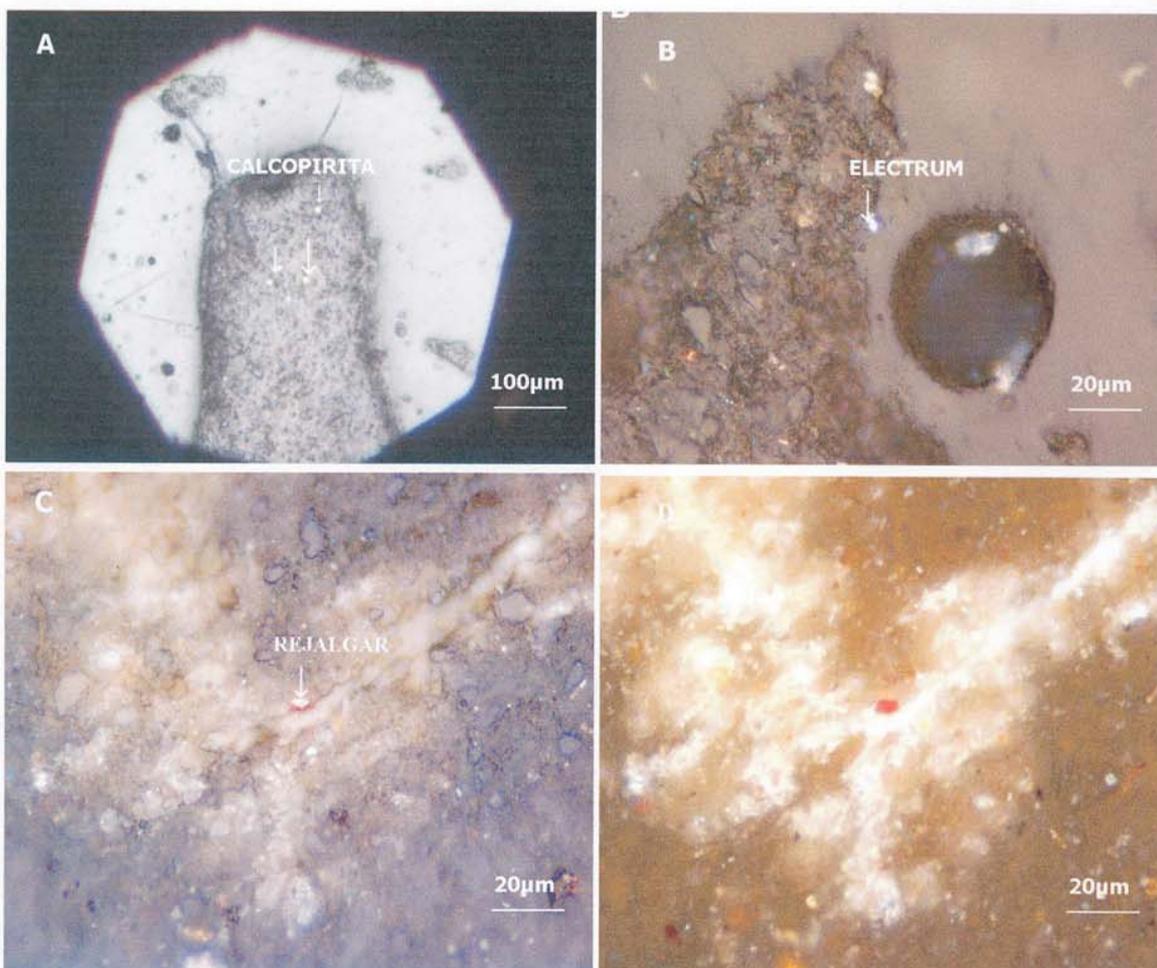


Foto micrografía **A.**- Granos libres de ganga , calcopirita. Luz natural. **B.**- Granos libres de ganga y electrum. Luz natural **C.**-Granos libres de realgar y ganga. Luz Natural. **D.**- Fotomicrografía anterior (D) en Nícoles cruzados.



**Dirección de Laboratorios
Petromineralogía**

INFORME DE ESTUDIO MINERALOGICO

Solicitado por : DR. HUMBERTO CHIRIF R.
Muestra Original N° : SOLIDOS EN SUSPENSION
 6 LIM-CHI-AGUA-84
Código de Laboratorio : 13060603
Referencia : MEMORANDUM N°147-2006-DGPEM
Estudiado por : ING. LEONOR RAMIREZ Y.
Fecha : AGOSTO DE 2006

1. DESCRIPCION MICROSCOPICA:

Minerales libres	Porcentaje aproximado (%)
Ganga	99.92
Arsenopirita	TRAZA
Limonitas	0.06
Electrum	TRAZA

Minerales asociados o intercrecidos

Ganga-oropimente	TRAZA
Ganga-rejalgar	TRAZA

2. OBSERVACIONES

La muestra consiste de agregados de granos por efecto de la preparación, también contiene granos libres como la ganga, sulfuros como arsenopirita; limonitas y electrum, como minerales asociados tenemos ganga-oropimente y ganga-rejalgar



F-LA-MI-004

Dirección de Laboratorios
Petromineralogía

INFORME DE ESTUDIO MINERALOGICO

3. ANEXOS

Fotomicrografía/s

Muestra Original : SOLIDOS EN SUSPENSION Clave de Laboratorio: N°13060603
6 LIM-CHI--AGUA-84

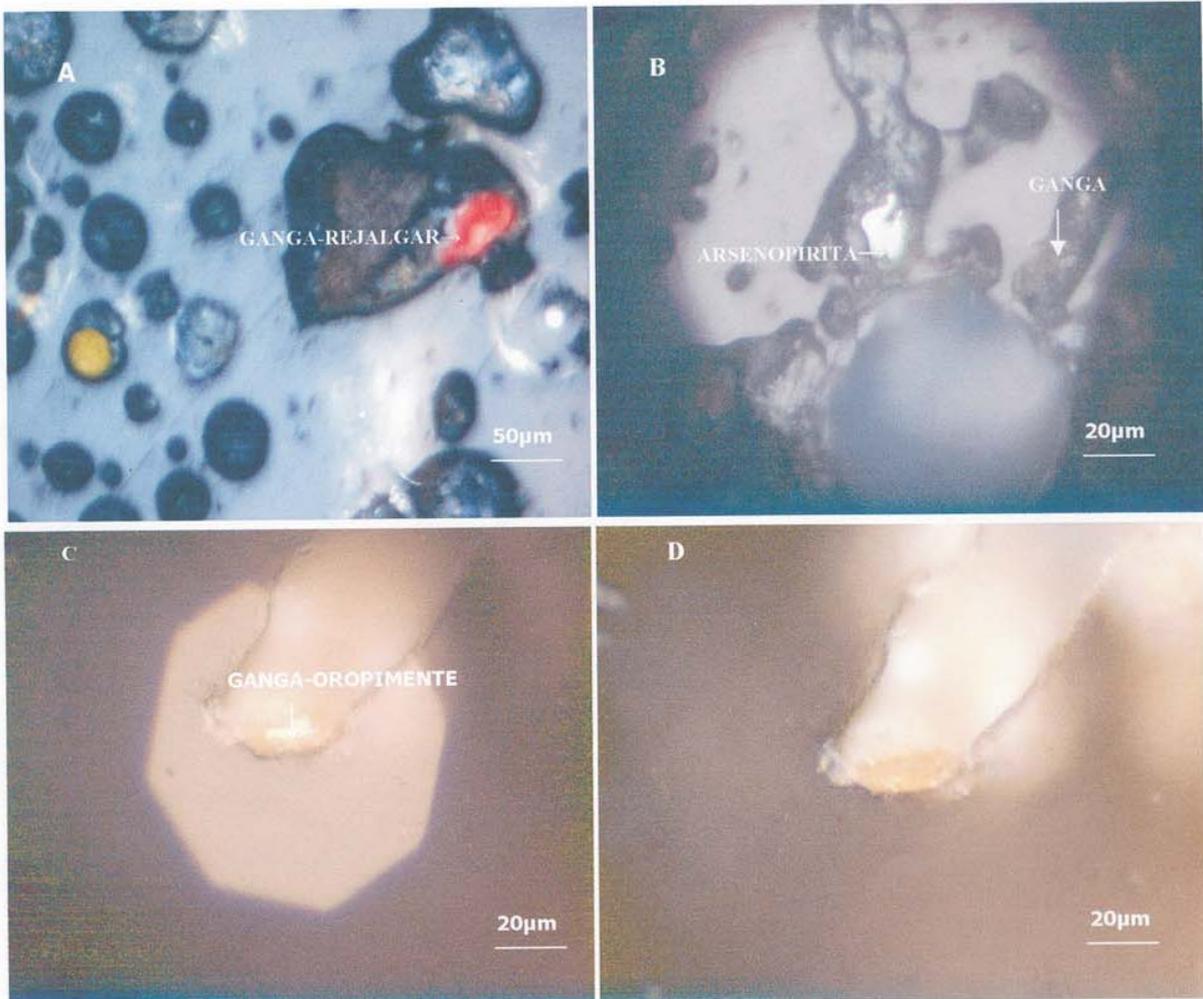


Foto micrografía **A.**- Grano intercrecido con de ganga-rejalgar. Luz natural. **B.**- Grano libre de arsenopirita y ganga. Luz natural. **C.**-Grano asociado de ganga-arsenopirita. Luz Natural. **D.**- Foto micrografía anterior (C) en Nícoles cruzados.



Dirección de Laboratorios
Petromineralogía

INFORME DE ESTUDIO MINERALOGICO

Solicitado por	: DR. HUMBERTO CHIRIF R.
Muestra Original N°	: SOLIDOS EN SUSPENSION 6 HUA-CUA-AGUA-37
Código de Laboratorio	: 13060604
Referencia	: MEMORANDUM N°147-2006-DGPEM
Estudiado por	: ING. LEONOR RAMIREZ Y.
Fecha	: AGOSTO DE 2006

1. DESCRIPCION MICROSCOPICA:

Minerales libres	Porcentaje aproximado (%)
Ganga	99.90
Rejalgar?	TRAZA
Pirita	TRAZA

Minerales asociados o intercrecidos

Ganga-pirita	TRAZA
Ganga-oropimente	TRAZA

2. OBSERVACIONES:

La muestra consiste de agregados de granos por efecto de la preparación, pero también contiene granos libres y asociados. Se observa granos de ganga y rejalgar? y granos intercrecidos de ganga-pirita y ganga-oropimente.



F-LA-MI-004

Dirección de Laboratorios
Petrominerología

INFORME DE ESTUDIO MINERALOGICO

3. ANEXOS

Fotomicrografía/s

Muestra Original : SOLIDOS EN SUSPENSION Clave de Laboratorio: N°13060604
6 HUA-CUA--AGUA-37

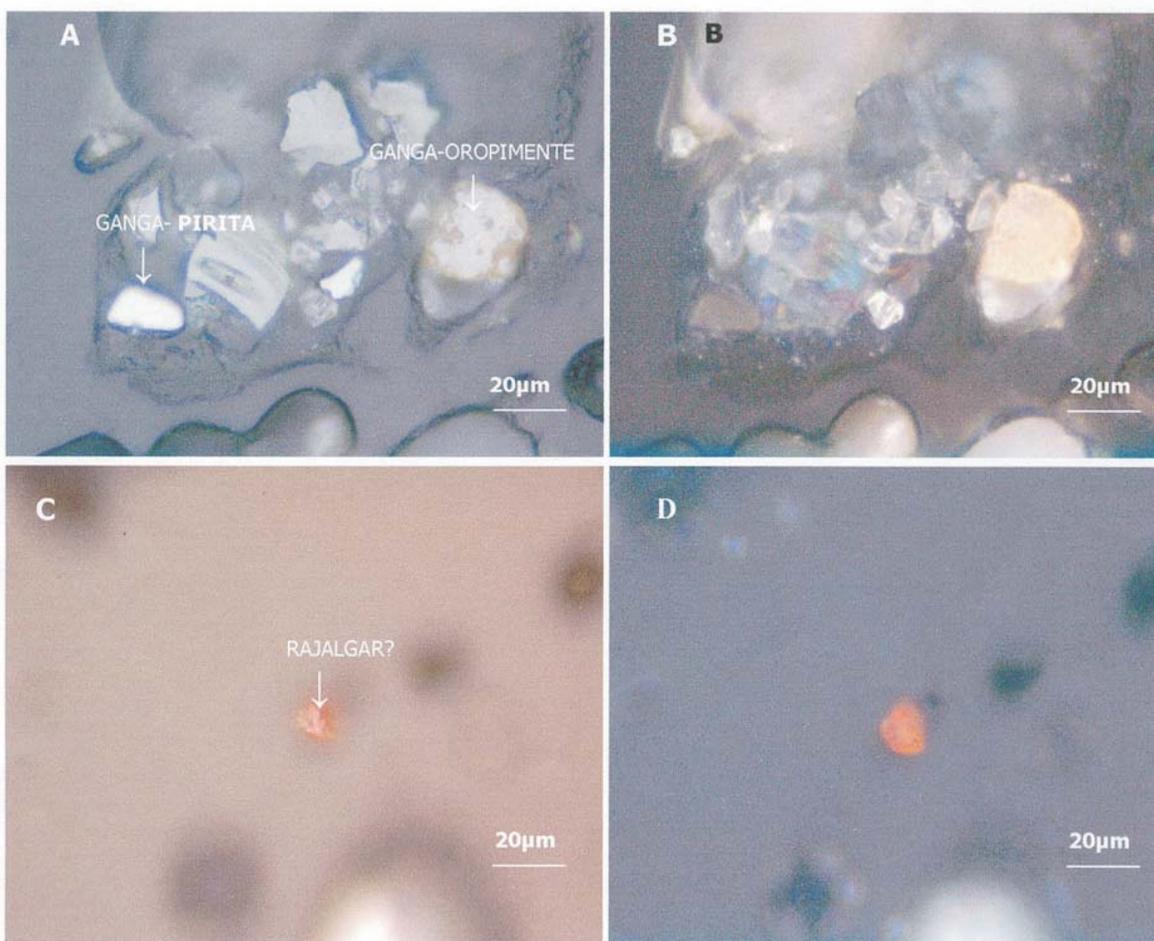


Foto micrografía **A.**- Grano intercrecido con de ganga-pirita. Luz natural. **B.**-Foto micrografía anterior (A) en Nícoles cruzados. **C.**-Grano libre de rejalgár. Luz Natural. **D.**- Foto micrografía anterior (C) en Nícoles cruzados.



Dirección de Laboratorios
Petrominerología

INFORME DE ESTUDIO MINERALOGICO

Solicitado por	: DR. HUMBERTO CHIRIF R.
Muestra Original N°	: SOLIDOS EN SUSPENSION 6 MAC-NAS-AGUA-82
Código de Laboratorio	: 13060605
Referencia	: MEMORANDUM N°147-2006-DGPEM
Estudiado por	: ING. LEONOR RAMIREZ Y.
Fecha	: AGOSTO DE 2006

1. DESCRIPCION MICROSCOPICA:

Minerales libres	Porcentaje aproximado (%)
Ganga	99.6
Cobre nativo	TRAZA
Pirita	TRAZA
Esfalerita	TRAZA
Limonitas	TRAZA
Oro nativo?	TRAZA

Minerales asociados o intercrecidos

Ganga-electrum	TRAZA
----------------	-------

2. OBSERVACIONES

La muestra consiste de agregados de granos por efecto de la preparación, pero también contiene granos libres y asociados. Se observa granos de ganga, sulfuros como pirita, esfalerita: limonitas; elementos nativos como oro y cobre nativo y granos intercrecidos de ganga-electrum. los granos de oro tiene tamaño de 2 micrones y cobre nativo tiene tamaño de 30 micrones. electrum asociado a la ganga tiene tamaño de 2 micrones.



F-LA-MI-004

Dirección de Laboratorios
Petromineralogía

INFORME DE ESTUDIO MINERALOGICO

3. ANEXOS

Foto micrografía/s

Muestra Original : **SOLIDOS EN SUSPENSION** Clave de Laboratorio: **N°13060605**

6 MAC-NAS-AGUA-82

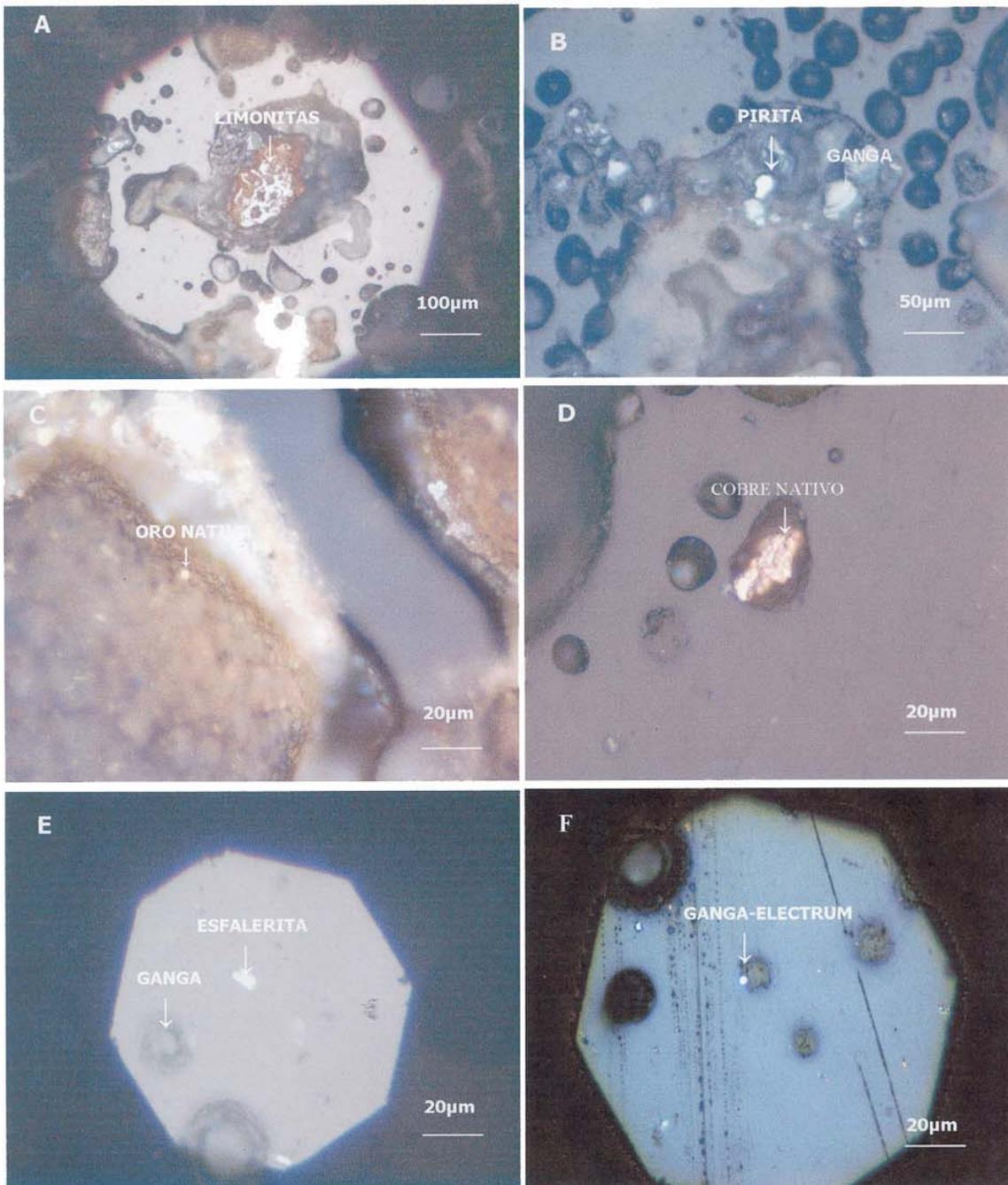


Foto micrografías **A.**- Grano libre limonitas. Luz natural. **B.**-Granos libres de pirita, ganga. Luz Natural. **C.**-Grano libre de oro nativo. Luz natural. **D.**-Grano libre de cobre nativo. Luz Natural. **E.**- Granos libres de esfalerita y ganga. Luz Natural. **F.**-Grano asociado de ganga-electrum. Luz Natural.



Dirección de Laboratorios
Petromineralogía

INFORME DE ESTUDIO MINERALOGICO

Solicitado por : DR. HUMBERTO CHIRIF R.
Muestra Original N° : SOLIDOS EN SUSPENSION
 6 PUT-TAP-AGUA-94
Código de Laboratorio : 13060606
Referencia : MEMORANDUM N°147-2006-DGPEM
Estudiado por : ING. LEONOR RAMIREZ Y.
Fecha : AGOSTO DE 2006

1. DESCRIPCION MICROSCOPICA:

Minerales libres	Porcentaje aproximado (%)
Ganga	99.4
Rejalgar	TRAZA
Pirita framboidal	TRAZA
Oropimente	TRAZA
Limonitas	TRAZA
Pirita cúbica	TRAZA

Minerales asociados o intercrecidos

Ganga-electrum	TRAZA
Ganga-rejalgar	TRAZA
Magnetita-hematita	TRAZA
Ganga-calcopirita-pirita	TRAZA
Ganga-oropimente	TRAZA
Ganga-Limonitas.	TRAZA

2. OBSERVACIONES

La muestra consiste de agregados de granos por efecto de la preparación, pero también contiene granos libres y asociados. Se observa mayormente granos libres de ganga; rejalgar, pirita framboidal, limonitas, oropimente y pirita cúbica, como minerales intercrecidos tenemos: ganga-electrum, ganga-rejalgar, magnetita-hematita, ganga-pirita-calcopirita, ganga-oropimente, y ganga-limonitas.



F-LA-MI-004

Dirección de Laboratorios
 Petromineralogía

INFORME DE ESTUDIO MINERALOGICO

3. ANEXOS

Foto micrografía/s

Muestra Original : SOLIDOS EN SUSPENSION 6 PUT-TAP-AGUA-94

Clave de Laboratorio: N°13060606

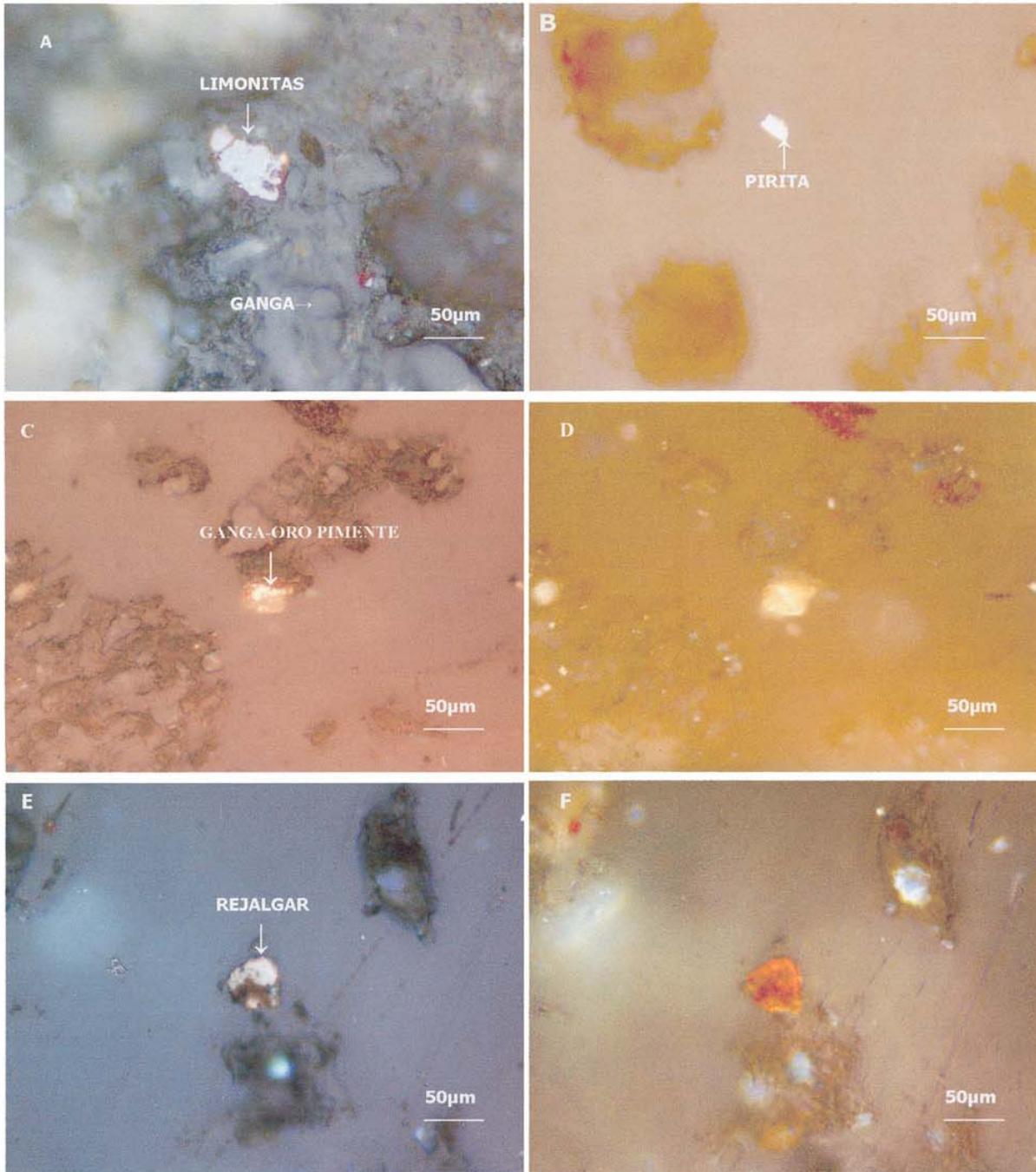


Foto micrografías **A.**- Granos libres limonitas y ganga. Luz natural. **B.**-Granos libres de pirita. Luz Natural. **C.**-Grano intercrecido de oropimente. Luz natural. **D.**-Foto micrografía anterior © en Nícoles cruzados **E.**- Granos libres de realgar. Luz Natural. **F.** Fotomicrografía anterior (E) en Nícoles cruzados.

Dirección de Laboratorios
Petromineralogía

INFORME DE ESTUDIO MINERALOGICO

Foto micrografía/S

Muestra Original : **SOLIDOS EN SUSPENSION** Clave de Laboratorio: **N°13060606**
6 PUT-TAP-AGUA-94

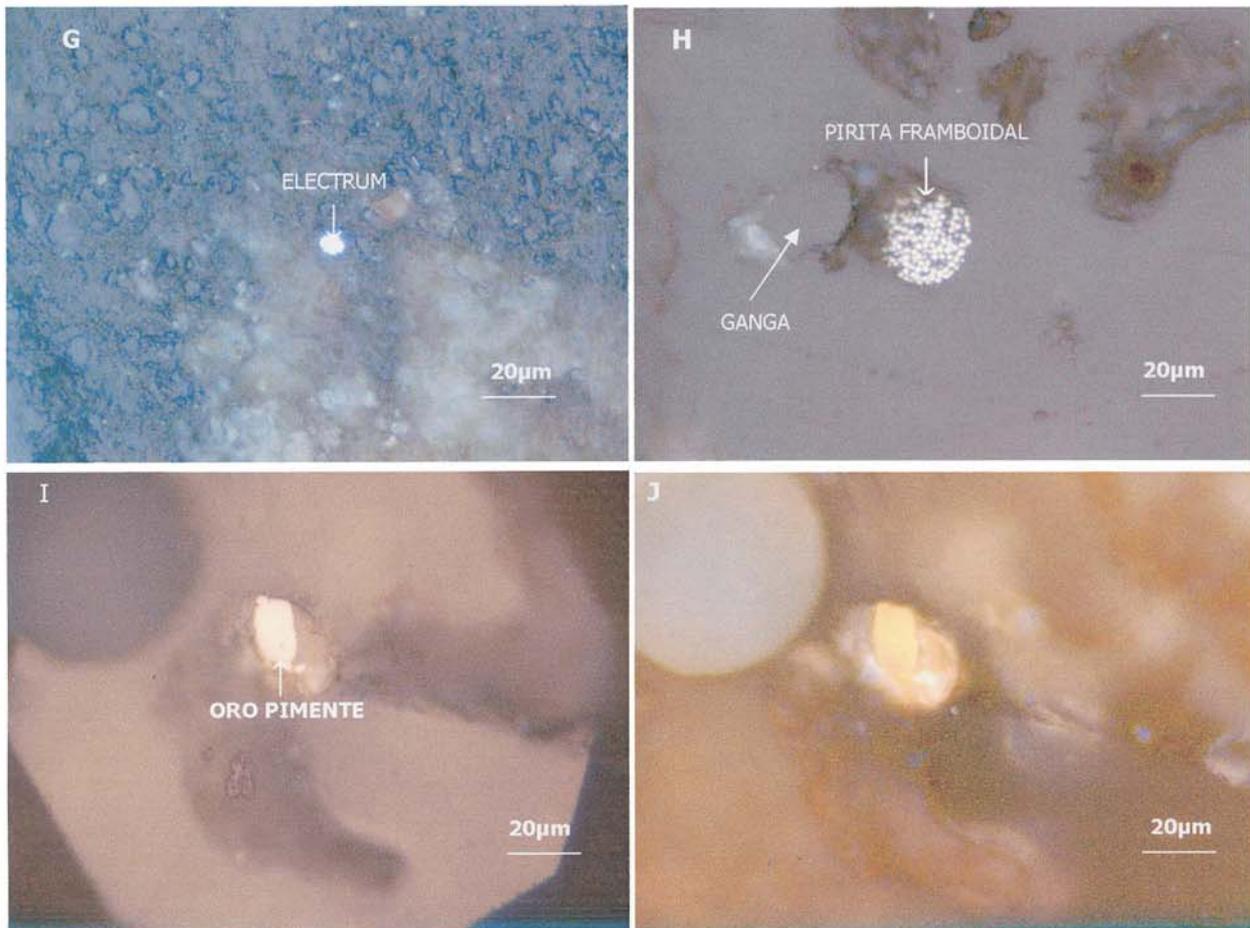


Foto micrografías **G.**- Grano libre de electrum. Luz natural. **H.**-Granos libres de pirita framboidal y ganga. Luz Natural. **I.**-Grano libre de oropimente. Luz natural. **J.**-Foto micrografía anterior (I) en Nícoles cruzados.



Leonor Ramirez Yataco
ING. LEONOR RAMIREZ YATACO
Laboratorio de Petromineralogía
INGEMMET