

## **MINERALOGÍA Y GEOQUÍMICA DE METALES PESADOS CONTAMINANTES PRESENTES EN SUELOS MINEROS DEL SUR DE CHILE**

**Irma Estela González Muñoz<sup>1</sup>, Manuel Miguel Jordán Vidal<sup>2</sup> &  
Teófilo Francisco Sanfeliu Montolio<sup>3</sup>**

<sup>1</sup> Laboratorio de Recursos Naturales y Procesos. Departamento de Industria.  
Facultad de Ingeniería. Universidad Tecnológica Metropolitana. Avda. J.P.  
Alessandri, 1242. Santiago de Chile. Chile.  
[igonzale@omega.utem.cl](mailto:igonzale@omega.utem.cl)

<sup>2</sup> Departamento de Agroquímica y Medio Ambiente. Universidad Miguel Hernández.  
Avda El Ferrocarril s/n.03202 Elche, Alicante.  
[manuel.jordan@umh.es](mailto:manuel.jordan@umh.es)

<sup>3</sup> Unidad de Mineralogía Aplicada y Ambiental, Departamento de Ciencias  
Experimentales. Universidad Jaume I. Campus de Riu Sec s/n. 12080 Castellón.  
[sanfeliu@exp.uji.es](mailto:sanfeliu@exp.uji.es)

Recibido 1 de marzo de 2002; revisado 20 de abril; aceito 25 de abril.

**RESUMEN** - En los placeres auríferos con clima templado lluvioso del sur de Chile, se han podido detectar elevados niveles de metales pesados, en muchos casos contaminantes, que suponen un riesgo para la salud del hombre y para toda la cadena trófica de su medio. Los principales metales pesados encontrados son mercurio, plomo, cadmio, cromo, telurio, indio, zinc, iridio, paladio, circonio, rubidio, estaño, cobalto, cobre, platino, oro y algunas tierras raras como; cerio, praseodimio, gadolinio, neodimio, samario y lantano. La metodología utilizada en la caracterización de la mineralogía asociada consiste en someter cada muestra representativa, a una separación granulométrica, análisis de los parámetros estadísticos y análisis mineralógico, utilizando lupa binocular, microscopio petrográfico y MEB con microsonda incorporada. La composición química ha sido definida mediante fluorescencia de rayos X y análisis microquímico. Se presentan los resultados del estudio de lavaderos auríferos en la X

Región de Chile, destacando los metales pesados y las especies mineralógicas que los conforman.

**Palabras clave:** Oro, contaminación ambiental, análisis microquímico.

**ABSTRACT** - In the Southern part of Chile, with mild and a rainy climate, high levels of heavy metals have been detected on many gold placer deposits, many of them contaminants, which means a human's life risk and as a consequence, a damage for the trofic chain of its environment. The main heavy metals found as a result of the study are mercury, lead, cadmium, chrome, tellurium, indium, zinc, iridium, palladium, zirconium, rubidium, tin, cobalt, copper, platinum and gold and on the other hand, some not very common elements such as cerium, praseodymium, gadolinium, neodymium, samarium and lanthanum. The type of methodology used on the characterization of the associated mineralization consists of testing each representative sample to a granulometric separation, statistical parameters analysis and a mineralogical analysis using a binocular magnifying glass, a petrographic microscope and SEM/EDX. The chemical compound has been defined by means of X ray fluorescence and microchemical analysis. The results of the study about gold placers in the Southern part of Chile are presented. Heavy metals, minerals and its classification are an important part of this research project.

**Key words:** gold, environmental contamination, microchemical analysis.

**RESUMO** - Nos placers auríferos com clima temperado chuvoso do sul do Chile, pode-se detectar elevados níveis de metais pesados, em muitos casos contaminantes, que supõem um risco para a saúde do homem e para toda a cadeia trófica do seu meio. Os principais metais pesados encontrados são mercúrio, chumbo, cádmio, cromo, telúrio, índio, zinco, irídio, paládio, zircônio, rubídio, estanho, cobalto, cobre, platina, ouro e algumas terras raras como; cério, praseodímio, gadolínio, neodímio, samário e lantânio. A metodologia utilizada na caracterização da mineralogia associada consiste em submeter

cada amostra representativa, a uma separação granulométrica, análise dos parâmetros estatísticos e análise mineralógica, utilizando lupa binocular, microscópio petrográfico e MEB com microsonda incorporada. A composição química foi definida mediante fluorescência de raios X e análises microquímicas. Como resultado do estudo das lavras auríferas na Região Sul do Chile, destacando os metais pesados e as espécies mineralógicas presentes.

**Palabras clave:** ouro, contaminação ambiental, análise microquímica.

## INTRODUCCIÓN

### ANTECEDENTES

Al igual que en cualquier actividad productiva, la explotación de recursos mineros produce impactos negativos sobre los tres elementos del Medio Ambiente: agua, atmósfera y suelo, sin importar lo cerca o lejos que éstos se ubiquen respecto de los centros poblados. De esta forma logra vislumbrarse la importancia que está adquiriendo una adecuada gestión medioambiental de los proyectos mineros chilenos, tanto industriales como semi-industriales o artesanales (González et al., 1999).

Si bien la minería artesanal hace uso intensivo de elementos contaminantes como mercurio y cianuro, las cantidades globales son comparativamente similares a las empleadas y vertidas al medio ambiente por dragas y relaves de las plantas de cianuración en la minería tradicional (Olivo, 2000). El impacto ambiental de la minería artesanal se produce fundamentalmente por la dispersión de muchas operaciones pequeñas, que dificultan la aplicación de medidas preventivas o correctivas, y por la ubicación inconveniente de estas instalaciones en lugares urbanos o asentamientos rurales con alta densidad de población (Prieto, 2000).

Los niveles de contaminación, en el caso de la minería artesanal, pese a poseer menor producción y menor cantidad de equipos, resulta tener, en muchos casos, altas repercusiones en el ecosistema, esto radica fundamentalmente en el gran número de contaminantes que involucran. Es así como las contaminaciones por gases de escape, aceites usados, ruido, alteraciones de los cursos de ríos, pérdidas de suelo y capa vegetal, etc., son abundantes (González et al., 1999).

Grandes cantidades de aguas se contaminan con lamas tóxicas, sobre todo en la explotación de placeres en lechos recientes de ríos y desembocaduras de lagos o esteros. Generalmente no se lleva a cabo una depuración posterior de las aguas. La carga de sedimento suspendido ocasiona alteraciones duraderas detectables a más de 30 km río abajo. Por un lado, el agua destinada para el consumo, que se recoge del río directamente, especialmente en los valles, es dañada fuertemente en su calidad, porque no son sometidas a procesos de depuración. Por otro lado, se ocasiona un cambio o aniquilación de la flora y fauna originaria del río debido a la alteración de su medio ambiente acuático. Esto trae consecuencias negativas no solamente para los pescadores sino también para el abastecimiento de alimentos con proteínas animales. Los elementos contaminantes entran al ciclo biológico produciendo daños irreparables, debido a que éstos, por sus características físicas y químicas, no pueden ser destruidos, sólo pueden transformarse de un compuesto a otro y tienden a acumularse en los suelos, en los cursos de aguas y en los organismos vivos (González et al., 2000).

Como es sabido, la tercera parte de los elementos químicos conocidos se clasifican como metales, tienen un brillo característico, son muy densos, con G

>  $3.3\text{g/cm}^3$  como consecuencia de sus redes metálicas, con índices de coordinación elevados (8 a 12) son buenos conductores de electricidad y calor, pudiendo formar cationes. Además de compartir características semejantes en lo relativo a su densidad es muy frecuente referirse a los metales pesados como aquellos que se asocian con problemas de contaminación y toxicidad. Así, consideraremos metales pesados al As, Co, Bi, Ni, Cu, Zn, Sn, Se, Te, Pd, Cd, In, Cr, Hg, Tl, Pb, Sb, Au y Pt. También resulta interesante la existencia de un grupo de elementos químicos conocidos como “tierras raras” entre los que podemos nombrar: Ce, Pr, Sm, Gd, La y otros. Generalmente se encuentran en minerales del grupo del platino, con el que tienen gran afinidad. Una de las principales fuentes de tierras raras, es el mineral monacita. Otros minerales menos frecuentes que contienen cantidades pequeñas de tierras raras son: cerita, gadolinita y samarsquita (Ruiz y Peebles, 1988).

Existen diversos estudios toxicológicos en donde se establece que los seres humanos presentan una tendencia a acumular metales, como demuestra la prolongada vida media de algunos de estos metales; 1640 días para el plomo y 200 días para el cadmio. Los más dañinos para el hombre son el mercurio, plomo, cadmio, además de otros elementos problemáticos como al arsénico, antimonio, vanadio y níquel.

## **OBJETIVOS**

En trabajos anteriores (González y otros, 1999-2000), se ha podido detectar la existencia de metales pesados contaminantes, asociados al oro, en lavaderos localizados en el sur de Chile, cuya densa cobertura vegetal y clima templado lluvioso, permite una buena caracterización de los materiales que

rellenan la cuenca hidrográfica y, por lo tanto, del entorno geológico. Complementando estos estudios, se pretende realizar un trabajo orientado a la investigación de los componentes mineralógicos de las diferentes fracciones de los sedimentos auríferos, poniendo énfasis en aquellos elementos tóxicos que constituyen un riesgo para la salud del Hombre.

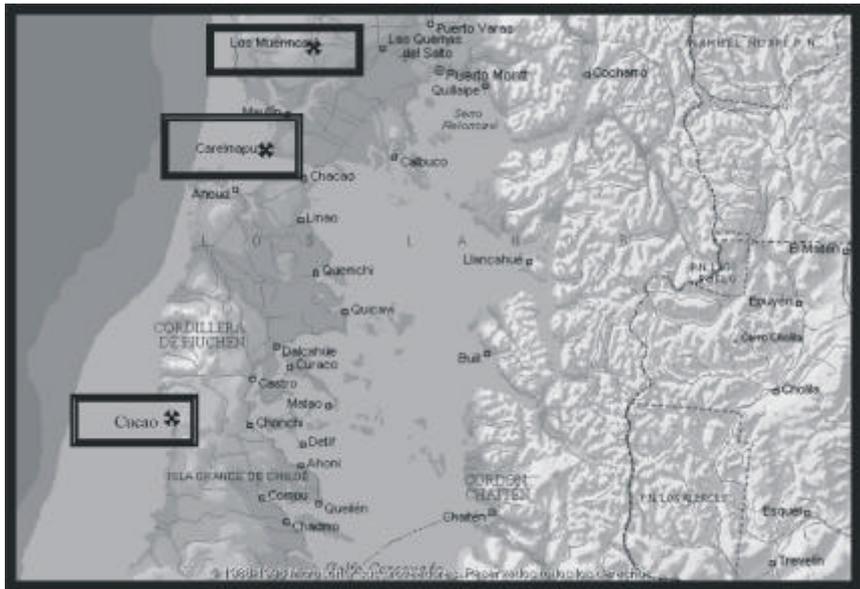
El presente estudio, muestra algunos de los resultados preliminares acerca de la distribución y el contenido de elementos pesados en sedimentos de lavaderos del sur de Chile.

### **UBICACIÓN GEOGRÁFICA DEL ÁREA DE ESTUDIO.**

Las zonas de estudio seleccionadas (**Figura 1**), corresponden a los lavaderos artesanales de Río Gato (41°19' hasta 41°32'S y 73°20' hasta 73°45'W, Los Muermos) Carelmapu (41°44'35''S y 73°44'17''W) y Cucao (42°39'08''S y 74°07'12'' W, Isla Grande de Chiloé), todos ellos ubicados en la X Región de Los Lagos en Chile. El acceso es difícil y se efectúa por caminos de tierra en mal estado, desde la ciudad de Puerto Montt. A modo de ejemplo de este tipo de instalaciones artesanales, se muestra en la **Figura 2** el lavadero de Río Gato (Los Muermos).

### **MATERIALES Y MÉTODOS**

Las áreas seleccionadas para el estudio, fueron consideradas especialmente por los contenidos importantes de minerales pesados. En el caso de los lavaderos de oro, se llevó a efecto el estudio por contar con antecedentes donde existieron o existen extracciones de oro en la actualidad, de acuerdo a la distribución geológica de estos yacimientos secundarios en el país (Ruiz y Peebles, 1988).



**Figura 1** - Mapa de ubicación de las zonas de estudio: Río Gato, Caremapu, Cucao y Los Muermos (Sur de Chile).



**Figura 2.-** Lavadero artesanal de Río Gato.

En cada zona de estudio se realizó un muestreo en superficie y en profundidad, destinado a la obtención de muestras representativas. Las muestras fueron procesadas en el “Laboratorio de Recursos Naturales y Procesos”, de la Universidad Tecnológica Metropolitana, sometiéndolas a tamizaje a phi medio en mallas W. Styler Standard Sieve Series de 2.00 a 0.05 mm. Posteriormente se realizó separación magnética, donde las fracciones no magnéticas fueron sometidas a la segregación con líquidos pesados (Bromoformo y Yoduro de Metileno), con el objeto de obtener las fracciones pesadas con peso específico mayor de 3.32, que corresponde a aquellas que presentan los minerales de nuestro interés. La caracterización e identificación se llevó a efecto mediante lupa binocular, microscopio petrográfico y MEB; la determinación de la composición química de los sedimentos se realizó por fluorescencia de rayos X y la identificación mineralógica corroborada mediante microanálisis químico (**Figura 3**).

## **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

El presente estudio comprende dos muestras representativas de cada uno de los lavaderos estudiados. Los sedimentos analizados, mediante fluorescencia de rayos X (tabla 1), presentan un amplio rango de elementos en su composición, éstos van desde el hierro, magnesio, oro y platino, hasta algunas tierras raras como samario, gadolinio y lantano.

La **Tabla 1**, muestra los resultados preliminares de la variación del contenido de los elementos traza en el área estudiada. El análisis de los contenidos medios de algunas trazas en los sedimentos de Río Gato, Carelmapu y Cucao, muestran concentraciones mayores para el hierro, magnesio, titanio y manganeso.

**TABLA 1** - Análisis Semicuantitativo de Metales Pesados Por Fluorescencia de Rayos X

ELEMENTO	% DE CONCENTRACIÓN					
	M 1-A	M 2-A	M 1-B	M 2-B	M 1-C	M 2-C
HIERRO	2,53	40,6	24,8	41.30	0.599	27.00
TITANIO	0,444	12,7	11.90	11.60	0.0512	1.89
CIRCONIO	0,0602	2,2	0.377	0.183	0.0019	0.438
ORO	-	-	-	0.0106	0.0003	0.0162
PLATINO	-	-	-	0.0105	0.0002	-
MERCURIO	0,0005	1,8	-	-	-	0.0111
PLOMO	-	0,0543	-	-	0.0001	-
RENIO	-	1,73	-	-	-	-
AZUFRE	0,0046	1,13	0.0336	-	0.003	0.0102
MANGANESO	0,115	0,312	0.303	0.324	0.0082	0.36
ARSÉNICO	0.0008	0,261	-	-	-	-
MAGNESIO	37,7	0,252	43.40	0.514	24.4	2.92
NIQUEL	0,0012	0,202	-	-	0.0004	0.0338
BROMO	-	0,145	-	-	-	-
VANADIO	0,0043	0,13	-	-	0.0011	0.0291
ANTIMONIO	-	0.112	-	-	-	-
CROMO	0.0052	0,0893	0.0874	0.0755	0.001	0.031
CESIO	0.0044	0,0609	-	0.0578	-	-
COBALTO	0.0029	0,0495	-	-	-	0.0405
GERMANIO	-	0,0616	-	-	-	-
ZINC	0,0014	0,0427	0.025	0.0365	0.0005	0.0464
NIOBIO	-	0,0245	-	-	-	-
COBRE	0.0004	0,0199	-	-	0.0003	-
ESCANDIO	-	0,017	-	-	-	-
ESTRONCIO	0.0003	0,0176	-	-	0.0008	0.075
TALIO	0.0004	0,0131	-	0.0126	0.0002	-
ITRIO	0.0013	0.0051	-	-	0.0001	0.0149
RUBIDIO	-	0,0034	-	-	0.0001	-
WOLFRAMIO	0,0109	-	0.0127	0.0206	-	0.0253
CERIO	0.0088	-	-	-	-	0.108
PRASEODIMIO	0.0074	-	-	0.162	-	0.100
SAMARIO	-	0,077	-	-	0.0013	-
GADOLINIO	-	0,0472	0.0445	-	-	0.0537
LANTANO	0.0008	-	-	-	0.0002	-
NEODIMIO	-	-	-	-	0.0009	-
INDIO	0,005	-	0.044	-	0.0022	-
CADMIO	0.0001	-	-	-	-	-
TORIO	0.0006	-	-	-	-	-
PALADIO	0.0006	-	-	-	0.0003	-
IRIDIO	0.0006	-	-	-	0.0005	-
ESTAÑO	0.0063	-	-	0.0554	-	-
RUTENIO	-	-	-	-	0.0002	-
TELURO	-	-	-	-	0.0033	-

Las muestras M1-A; M2-A, corresponden al placer aurífero de Cucao, las muestras M1-B; M2-B, corresponden al lavadero de Rfo Gato y las muestras M1-C; M2-C corresponden al lavadero de Carelmapu.

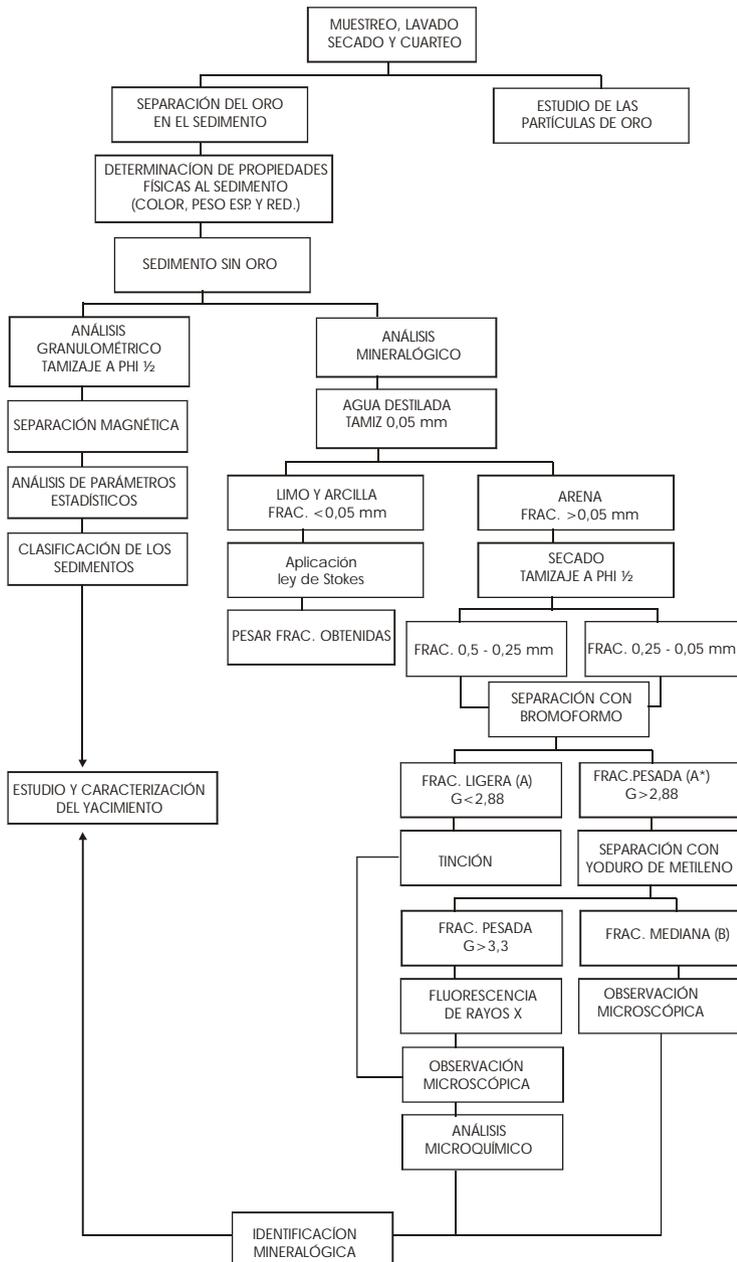


Figura 3 - Diagrama de Flujo Metodológico

También nos indica claramente, que los sedimentos presentan una existencia poco usual de circonio, plomo, mercurio, vanadio, renio, níquel, platino y de algunas tierras raras. Estos están presentes en concentraciones que pueden ser consideradas relativamente bajas, pero debe tenerse en cuenta que la porción de muestra analizada por el espectrometro de rayos X, fue de aproximadamente 3g de la fracción no magnética con  $G > 3.32$ .

Es sabido que la concentración de elementos pesados en sedimentos marinos está relacionada con las variaciones texturales y granulométricas. La concentración de elementos traza aumenta significativamente en limos y arcillas, en comparación con granulometría más gruesa, encontrándose normalmente en sedimentos finos las mayores concentraciones de metales pesados, los cuales forman sus respectivas especies mineralógicas, como por ejemplo zinc en esfalerita, circonio en zircón, magnesio en olivino e hiperstena, titanio en ilmenita, plomo en galena y mercurio en cinabrio.

En este sentido, el análisis semicuantitativo de metales pesados por fluorescencia de rayos X, nos permite conocer sólo % de elementos y no las especies mineralógicas que conforman. Para esto se realizó la observación y separación, bajo lupa binocular, de las diferentes especies que conformaban los sedimentos. Estas fueron reconocidas mediante análisis microquímico (**Figuras 4, 5, 6 y 7**), que permitió reconocer las siguientes especies:

- Lavadero de Río Gato: oro, zircón, olivino, ilmenita, hornblenda, hiperstena, hematita, granate, cromita, clorita, augita, anfíbolita-epidótica, magnetita y platino en forma indeterminada.

- Lavadero de Carelmapu: cinabrio, zircón, cromita, epidota, galena, granate, olivino, hiperstena, augita, hornblenda, ilmenita, magnetita, oro y pirita.
- Lavadero de Cucao: esfalerita, cinabrio, zircón, cromita, epidota, marcasita, galena, granate, hematite, olivino, hiperstena, hornblenda, ilmenita, magnetita, oro y pirita.

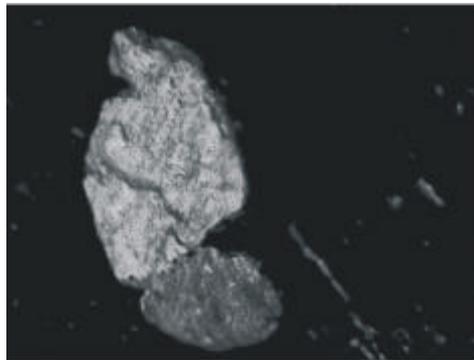
De lo expuesto anteriormente y aún cuando faltan numerosos datos y estudios en estos sedimentos, se deduce que los componentes mayoritarios como hierro, magnesio y titanio, se encuentran presentes como magnetita e hiperstena para el primero, granate para el segundo e ilmenita para el tercero.

En forma general, son numerosos los minerales pesados susceptibles de ser concentrados mecánicamente en la naturaleza, aunque sólo algunos presentan valor económico. En nuestra zona de estudio, éstos corresponden principalmente a oro, platino, zircón, magnetita e ilmenita. Los otros, como pirita, epidota, olivino, etc, suelen acompañar a los anteriores y ello ocurre principalmente debido a que en estos terrenos los procesos de denudación actúan más rápidamente que los de oxidación.

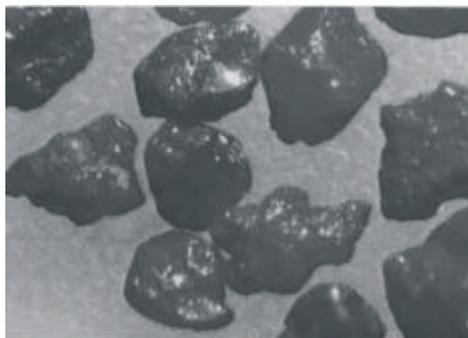
La presencia de “tierras raras”, en los lavaderos estudiados, resulta importante como elemento indicador de platino (que se encuentra presente en las zonas en especie no identificada), además del valor económico que tienen éstas.

El contenido de plomo en los lavaderos de Carelmapu y Cucao permiten comprobar niveles de contaminación importantes, al igual que la presencia de mercurio en cinabrio, cuya formación se debe a la extracción artesanal del oro (**Figuras 8, 9, 10 y 11**). Uno de los resultados más graves de esta persistencia

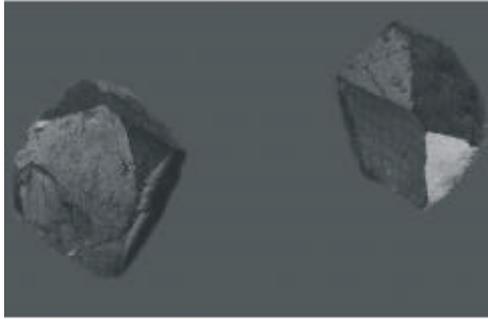
es el aumento de los mismos en las cadenas tróficas. Así, como consecuencia de este proceso, los niveles de metales pesados en los miembros superiores de esta cadena, pueden alcanzar niveles mayores a los que se encuentran en el agua o en el aire. Pudiendo constituir, la ingesta de muchos animales y plantas, verdaderos peligros para la salud humana.



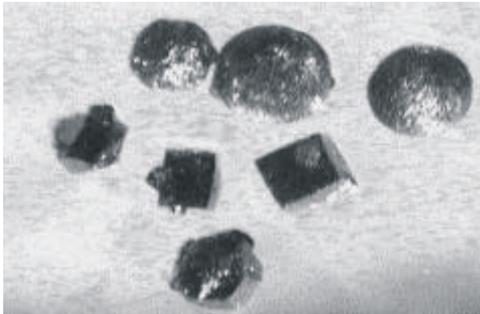
**Figura 4** - Microfotografía de partículas de oro metálico (30x).



**Figura 5** - Microfotografía de partículas de cinabrio puro (40x).



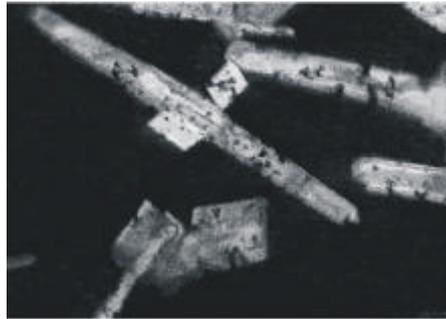
**Figura 6** - Microfotografía de partículas de galena (30x).



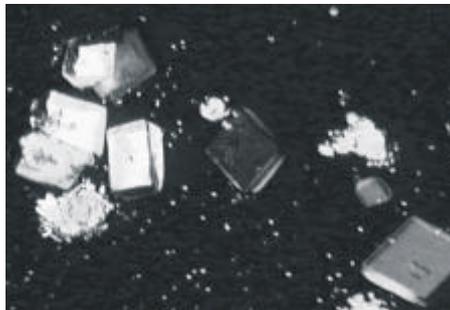
**Figura 7** - Microfotografía de partículas de pirita (30x).



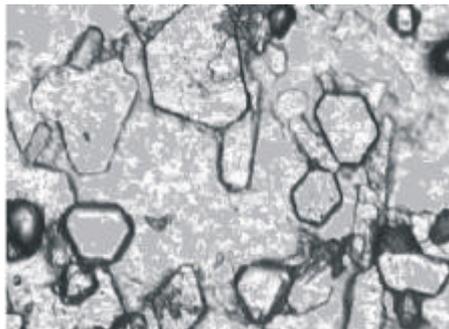
**Figura 8** - Microfotografía (250x) de cristales dendríticos azules de  $\text{CoHg}(\text{SCN})_4$ .



**Figura 9** - Microfotografía (650x) de cristales aciculares y octaedros de Au<sup>0</sup> y TlCl.



**Figura 10** - Microfotografía (500x9) de cristales romboédricos de PbHg(SCN)<sub>4</sub>.



**Figura 11** - Microfotografía (400x) de cristales hexagonales de PbI<sub>2</sub>.

## CONCLUSIONES

A través del estudio realizado y desde el punto de vista económico, Los Muermos-Río Gato es el área que presenta mayor interés. Allí, existen arenas con contenidos de circón, oro y platino. En segundo lugar se ubican las áreas de Carelmapu y Cucao, donde existen arenas con contenidos de oro y circón.

También se pudo observar la presencia recurrente de plomo, azufre y mercurio, entre otros, que en especies mineralógicas como galena y cinabrio, revelan índices de acumulación, producto de la acción contaminadora del Hombre. Esto es apreciable, debido a que no existen antecedentes de yacimientos naturales de estos minerales que puedan justificar su presencia y sí se manejan antecedentes de explotaciones semi-industriales para la extracción de oro en los que se utiliza mercurio en los procesos de amalgamación.

Existen también concentraciones de tierras raras, que hacen necesario un estudio más profundo y detallado, porque al igual que en el caso anterior, no existen antecedentes bibliográficos que indiquen su existencia ni explotación, pero si se maneja información referente a que estos minerales están asociados al grupo del platino, lo que nos permite establecer que pueden llegar a constituir una buena guía de prospección para este metal precioso.

En términos generales, se advierte que las mayores concentraciones de minerales pesados se ubican en la zona de mayor energía. En las muestras se determinó que en arena fina con buena selección de grano, más del 70% de los minerales pesados se distribuyen entre los tamaños de grano correspondientes a mallas de 0.250-0.06mm. Esto indica que existe una fuerte tendencia de los minerales pesados a concentrarse en las clases granulométricas más finas.

A medida que el sedimento es más oscuro contiene un mayor porcentaje de minerales pesados. Esto se debe a la presencia de magnetita, que por lo general sobrepasa el 50% de la fracción de minerales pesados.

El contenido de minerales pesados, como magnetita, ilmenita y zircón, en las fracciones finas del sedimento constituye también, una muy buena guía de prospección para el oro. El método de separación de minerales pesados en líquidos pesados (Bromoformo y Yoduro de Metileno) es eficaz sólo a escala de laboratorio ya que es lento y caro, además, no se pueden utilizar grandes cantidades de sedimentos. Sin embargo, tiene la ventaja que se logran separar, todos los granos más pesados que un peso específico determinado.

## **AGRADECIMIENTOS**

El presente trabajo da a conocer parte de la información obtenida durante la realización del Proyecto 108/98 “Prospección de Yacimientos Secundarios de Oro y Evaluación de la Contaminación Producto de su Explotación” financiado por la Universidad Tecnológica Metropolitana de Chile.

## **REFERENCIAS**

- González, I., Hevia, M., Balocchi, C., Sanfeliu, T., Prieto, M., Quiroz, M., Olivo, P. (1999): Detección de mercurio y gases contaminantes en placeres auríferos chilenos. III Conferencia Internacional de la Metalurgia de los Metales Preciosos y IV Conferencia Nacional sobre Metalurgia del Oro y la Plata, Oruro-Bolivia, p.79-80.
- González, I., Jordán, M., Prieto, M., Quiroz, M., Olivo, P. (1999): Prospección de oro, platino y mercurio mediante análisis microquímico en placeres de la X Región, Chile. III Conferencia Internacional de la Metalurgia de los Metales Preciosos y IV Conferencia Nacional sobre Metalurgia del Oro y la Plata, Oruro-Bolivia, p. 81-90.

- González, I., Prieto, M; Sanfeliu, T., Jordán, M., Olivo, P. (2000): Determinación de minerales pesados asociados a depósitos secundarios auríferos de la X Región, Chile. II Seminario Internacional: Gas Natural en la Industrialización del Hierro-Acero y otros Metales, Cusco-Perú, p.63-75.
- Prieto, M. (2000): Estudio sedimentológico, mineralógico y geoquímico de los placeres auríferos de Cucao, X Región Chile. Memoria para optar al título de Ing. Ejec. Químico, Universidad Tecnológica Metropolitana, Santiago-Chile, p. 71-74.
- Olivo, P. (2000): Prospección geoquímica y mineralógica de áreas favorables para explotar oro y minerales pesados, X Región Chile. Memoria para optar al título de Ing. Ejec. Químico,. Universidad Tecnológica Metropolitana, Santiago-Chile, p. 56-58.
- Ruiz, C., Peebles, F. (1988): Geología, distribución y génesis de los yacimientos metalíferos Chilenos, Editorial Universitaria, Santiago-Chile, p. 105-110.