



GOBIERNO DE CHILE
SERVICIO NACIONAL DE
GEOLOGIA Y MINERIA

1455

SERVICIO NACIONAL DE GEOLOGIA Y MINERIA
SUBDIRECCION NACIONAL DE GEOLOGIA

**GEOLOGÍA E HIDROGEOQUÍMICA DE LAS CABECERAS
DEL RÍO MAPOCHO: APORTE A LA NORMA SECUNDARIA
DE CALIDAD DE AGUAS DE LA CUENCA DEL RIO MAIPO**



Igor Aguirre A.
Geólogo

Santiago, septiembre de 2005

GEOLOGÍA E HIDROGEOQUÍMICA DE LAS CABECERAS DEL RÍO MAPOCHO: APORTE A LA NORMA SECUNDARIA DE CALIDAD DE AGUAS DE LA CUENCA DEL RÍO MAIPO

Igor Aguirre

*Departamento de Geología Aplicada
Subdirección Nacional de Geología*

INTRODUCCIÓN

Este trabajo se ha realizado a solicitud de CONAMA RM y aporta antecedentes para la elaboración de la Norma Secundaria de calidades de agua para las aguas superficiales de la Región Metropolitana, específicamente, en las cabeceras del río Mapocho. Para ello, en mayo de 2005, se realizó una campaña de muestreo a los esteros San Francisco, Dolores y Yerba Loca. Participaron de esta campaña: Cecilia Adasme (DIGA, SERNAGEOMIN), Verónica Rodríguez (CONAMA), Lenie Gajardo (Anglo American) y el suscrito (Departamento Geología Aplicada, SERNAGEOMIN).

Ubicación

La zona estudiada se ubica en la Región Metropolitana de Santiago, en las cabeceras de la cuenca del río Mapocho, estero San Francisco y estero Yerba Loca. La figura 1 muestra el área considerada para este estudio.



Fig. 1. Ubicación del área de estudio.

1456

Objetivos

Contribuir con antecedentes hidrogeoquímicos y geológicos al establecimiento de la Norma Secundaria de calidad de aguas de la cuenca del río Maipo, específicamente, en el sector de los esteros San Francisco y Yerba Loca.

Metodología

Recopilación de información geológica del sector estero San Francisco y análisis químico de muestras de agua superficial y de minerales precipitados en el cauce del estero San Francisco.

Limitaciones

Como limitación principal de este estudio se destaca la carencia de un muestreo sistemático en diversas estaciones del año, a diferentes profundidades y medición de parámetros no considerados en este estudio. Adicionalmente, durante la campaña de terreno no fue posible tener acceso al estero El Plomo, por lo que no se cuenta con muestras de este estero.

GEOLOGÍA

Las unidades geológicas que predominan en el sector estudiado corresponden a rocas intrusivas y volcánicas del Mioceno y rocas volcanosedimentarias del Oligoceno-Mioceno. Un mapa geológico con la ubicación de estas unidades se muestra en la figura 2, tomado del Mapa Geológico de Chile, escala 1:1.000.000 (SERNAGEOMIN, 2002).

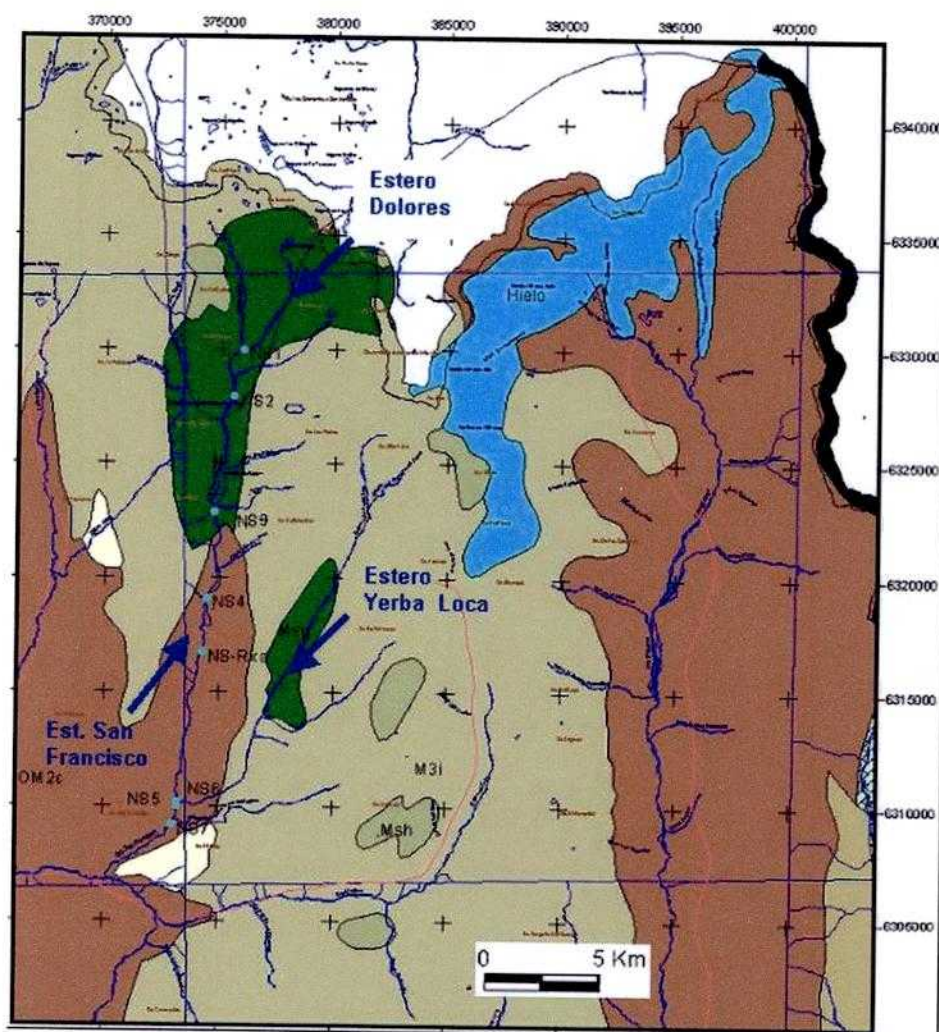


Fig. 2. Mapa geológico del sector estudiado, esteros San Francisco, Dolores, El Plomo y Yerba Loca.

LEYENDA

- Msg:** **Mioceno Superior (13-7 Ma).** Granodioritas de hornblenda y biotita, en menor proporción monzogranitos, monzonitas cuarcíferas y monzodioritas.
- M3i:** **Mioceno Inferior-Medio.** Complejos volcánicos parcialmente erosionados y secuencias volcánicas: lavas, brechas, domos y rocas piroclásticas andesítico-basálticas a dacíticas: Formación Farellones.
- OM2c:** **Oligoceno-Mioceno** Secuencias volcanosedimentarias: lavas basálticas a dacíticas, rocas epiclásticas y piroclásticas. Formación Abanico

1457

Con el objeto de conocer las características hidrogeoquímicas de los esteros San Francisco, Dolores y Yerba Loca, el día 26 de mayo de 2005, se tomaron muestras de agua de estos esteros y de precipitados de color verdoso en gravas y rípios del cauce del estero San Francisco. Los antecedentes de terreno se muestran en la tabla 1. La ubicación de estas muestras se representa en la figura 2.

Tabla 1. Antecedentes del muestreo hidrogeoquímico.

Nombre	N	E	Cota	Temp °C	pH	Eh mV	Conduct micro S/cm	Observaciones
NS1	6329968	376020	2895	0,9	6,99	+7	476	Agua, estero Dolores
NS2	6327910	375618	2656	0,9	5,69	+77	958	Agua, estero San Francisco
NS3	6323300	374650	2656	3,4	7,23	+6	487	Agua, estero San Francisco, aguas abajo Tranque Pérez Caldera
NS4	6319095	374477	2649	1,9	6,32	+42	32	Nieve, estero San Francisco, Paso Marchant
NS5	6310148	373280	1330	7,3	7,98	-47	811	Agua, estero San Francisco, antes confluencia Yerba Loca. Turbia
NS6	6309980	373271	1322	4,3	7,29	-9	371	Agua, estero Yerba Loca, antes confluencia con San Francisco pH=6,5 con indicador
NS7	6309169	373025	1281	—	—	—	—	Agua, estero San Francisco
NS-Rxa	6316742	374303	1755	—	—	—	—	Roca, estero San Francisco

El día 30 de Mayo, se solicitó al Laboratorio Químico de SERNAGEOMIN la realización de los análisis mineralógicos (difracción de rayos X) y análisis químico de las muestras de roca y de agua tomadas en el estero San Francisco en mayo de 2005. Para los análisis químicos de aguas se solicitó análisis de elementos mayores, menores y trazas. Se anexa informe con las determinaciones químicas, finalmente entregadas en julio de 2005.

Análisis hidroquímicos

Los análisis indican que las aguas de los esteros San Francisco, Dolores y Yerba Loca son predominantemente sulfatadas cálcicas, siendo en este sentido de carácter similar (ver Anexos). Respecto del contenido de iones menores, el estero San Francisco presenta Cu, Mn y Fe por sobre las normas primarias. El estero Yerba Loca presenta excesos de Cu y Fe.

Destacan valores del orden de 2-2,4 mg/l de Al y 0,0001 mg/l de Hg disuelto en el estero San Francisco. Para el caso del estero Yerba Loca, no se detectó Al ni Hg disuelto, al menos por sobre el límite de detección (ver Anexos).

Respecto al Cu disuelto (Fig. 3) se observa un elevado contenido en el estero San Francisco aguas arriba del tranque Pérez Caldera (NS2). Aguas abajo, inmediatamente antes de la confluencia entre los esteros San Francisco y Yerba Loca, destaca un mayor valor para el Cu en el estero Yerba Loca (1,16 mg/l) respecto del estero San Francisco (0,05 mg/l).

Comparación con normas primarias

Sólo como indicador, en la tabla 2 se presentan comparaciones respecto de los análisis químicos de los esteros San Francisco, Dolores y Yerba Loca y las normas para consumo potable (NCh409) y riego (NCh 1333). De la tabla 2 se observan excesos por sobre las normas primarias de consumo potable y agua para riego en Cu, Mn y Fe.

Tabla 2. Comparación con normas primarias.

Nro	Cu mg/l	Mo mg/l	As mg/l	Mn mg/l	Fe mg/l	SO ₄ mg/l	Zn mg/l	Al mg/l	Cd mg/l	Se mg/l	Hg mg/l	pH terreno	pH lab	TSD mg/l
	1,000	-	0,100	0,200	5,00	250	5,000	-	0,010	0,020	0,001	< 5,5 ó > 9,0	< 5,5 ó > 9,0	1000
	1,000	-	0,050	0,100	0,30	250	5,000	-	0,010	0,010	0,001	< 6,0 ó > 8,5	< 6,0 ó > 8,5	1000
	0,200	0,010	0,100	0,200	5,00	250	2,000	5,00	0,010	0,020	0,001	< 5,5 ó > 9,0	< 5,5 ó > 9,0	500
NS1	0,386	<0,001	<0,005	0,896	0,920	176	0,444	0,37	0,001	<0,001	<0,0001	6,99	4,83	317
NS2	9,460	0,001	0,020	2,020	0,280	293	1,450	2,02	0,006	0,002	0,0001	5,69	4,22	639
NS3	0,319	0,007	<0,005	2,070	0,120	177	0,140	<0,1	0,001	0,001	0,0001	7,23	6,73	333
NS4	0,036	<0,001	<0,005	0,065	1,160	18	0,392	0,84	<0,001	<0,001	0,0001	6,32	5,03	53
NS5	0,050	0,002	0,011	0,291	2,780	112	0,130	2,38	0,002	0,001	0,0001	7,98	7,00	495
NS6	1,160	0,002	<0,005	0,385	0,091	156	0,157	<0,1	0,001	<0,001	<0,0001	7,29	6,11	261
NS7	0,013	0,002	<0,005	0,250	0,045	128	<0,1	<0,1	<0,001	<0,001	0,0002	-	6,61	310

Valor sobre NCh 409 y 1333

NCh de agua potable NCh 409

NCh de agua para riego NCh 1333

Valor cercano a normas

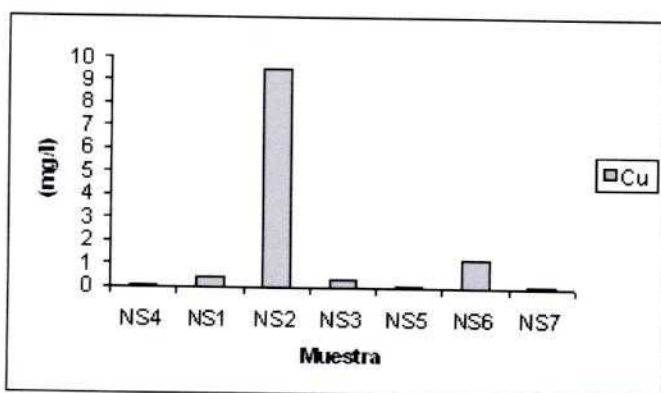


Fig. 3. Valores de Cu a lo largo del estero San Francisco (NS2, NS3, NS5, NS7), de una muestra de nieve (NS4), del estero Dolores (NS1) y del estero Yerba Loca (NS6).

La figura 4 muestra la diferencia en coloración dada por una mayor turbidez en el estero San Francisco en comparación con la del estero Yerba Loca.



Fig. 4. Diferencia de coloración entre los esteros San Francisco (izquierda) y Yerba Loca (derecha).

Análisis geoquímicos

Los análisis geoquímicos (Anexo) indican que los precipitados minerales en torno a las gravas y ripios del cauce del estero San Francisco (y posiblemente también en los sedimentos del cauce), corresponden a:

- 1) illita-montmorillonita ($K_{1-1.5}Al_4[Si_{7-6.5}Al_{1-1.5}O_{20}](OH)_4$, illita - $(\frac{1}{2}Ca, Na)_{0.7}(Al, Mg, Fe)_4[(Si, Al)_8O_{20}](OH)_4 \cdot nH_2O$, montmorillonita),
- 2) crisocola ($CuSiO_3 \cdot nH_2O$),
- 3) lindgrenita ($Cu_3(MoO_4)_2(OH)_2$, un óxido-hidróxido de cobre y molibdeno) y
- 4) trazas de ktenasita $Zn_2(Cu_{4.8}Zn_{3.2})(SO_4)_4(OH)_{12}(H_2O)_{12}$, un hidróxido de cobre, zinc y molibdeno hidratado).

Los precipitados presentan baja cristalinidad y predominan los dos primeros. Las figuras 5 y 6 muestran estos precipitados en el cauce del estero San Francisco, hacia aguas abajo del tranque de relaves Pérez Caldera.



Fig. 5. Precipitados minerales en gravas y ripios del estero San Francisco.

La figura 6 muestra los precipitados de Cu y la confluencia de los esteros Yerba Loca y San Francisco.



Fig. 6. Precipitados de Cu en el estero San Francisco (izquierda) y confluencia de los esteros San Francisco y Yerba Loca (derecha).

Composición química de las aguas v/s precipitados en el cauce del estero San Francisco.

De los antecedentes analizados es posible establecer una clara correlación entre la composición de las aguas superficiales y las características geoquímicas de los precipitados a lo largo del cauce del estero San Francisco, precipitando el Cu y otros elementos en el cauce como crisocola, lindgrenita y trazas de ktenasita. De la figura 3, es claro que el Cu disuelto en agua aumenta fuertemente en el tramo aguas abajo del estero Dolores y aguas arriba del tranque de relaves Pérez Caldera. En el sector terminal de este tramo, habría un importante potencial de neutralización de aguas ácidas (asociado a los relaves), el que aumentaría el pH de las aguas, precipitando el Cu en el cauce del estero San Francisco.

Origen geogénico v/s antrópico del Cu disuelto en agua

Para el caso del estero Yerba Loca, los elevados valores de Cu disuelto en esta cuenca, se deben al pH relativamente ácido y a una condición geogénica. Lo anterior, al no contar con registros de actividad minera y constatar la presencia de unidades geológicas similares a las del estero San Francisco.

Para el caso del estero San Francisco, a pesar de presentar una condición geológica similar a la del estero Yerba Loca (especialmente en la zona de cabeceras), el efecto antrópico es claro, especialmente hacia aguas arriba del tranque de relaves Pérez Caldera donde el Cu disuelto alcanza valores cercanos a 10 mg/l. Sin embargo, hacia aguas abajo este valor disminuye a menos que 0,32 mg/l, precipitando el cobre a lo largo del estero San Francisco. Esta situación se mantendrá en la medida que la capacidad de neutralización de los relaves se conserve en el tiempo o la capacidad de generación de acidez disminuya. Esto último, debido a la exposición atmosférica de los sulfuros, parece poco probable de que ocurra.

CONCLUSIONES

La calidad química de las aguas superficiales está íntimamente ligada con la composición de origen geológico de las cuencas que las albergan. Esto es especialmente claro para el caso del estero Yerba Loca.

Para el caso del estero San Francisco, existe un efecto combinado, antrópico y geogénico. El efecto antrópico en el agua es claro en la zona aguas arriba del tranque Pérez Caldera. Sin embargo, hacia aguas abajo de éste la composición química del agua sufre una disminución en sus concentraciones ($< 0,32$ mg/l), precipitando el Cu y otros elementos en el cauce del estero San Francisco como crisocola, lindgrenita y trazas de ktenasita.

RECOMENDACIONES

Para efectos de establecer estaciones de control y/o monitoreo de las calidades de aguas superficiales se recomienda separar el efecto del estero San Francisco del estero Yerba Loca, dado que evidencian condiciones diferentes. El menor valor de Cu disuelto detectado en el estero San Francisco, aguas abajo del tranque de relaves Pérez Caldera y aguas arriba de la confluencia con el estero Yerba Loca, evidencia una condición favorable en la medida que el potencial de neutralización establecido antrópicamente en este estero por efecto de los relaves, no se agote. Este potencial neutraliza el bajo

pH detectado hacia aguas arriba del tranque Pérez Caldera (muestra NS2), y condicionaría hacia aguas abajo de este tranque la precipitación del Cu disuelto. Otra posibilidad es que el potencial de acidez en las cabeceras del estero se agote antes, pero parece poco probable.

Se recomienda para futuras normativas de calidades de agua considerar el efecto antropogénico de la cuenca y, especialmente, de los sedimentos del cauce de los cursos superficiales, evaluando la posibilidad de descontar el efecto antropogénico del geogénico. Para ello, se requiere de estudios geoquímicos adicionales, especialmente centrados en escenarios futuros respecto del posible comportamiento del Cu y otros metales disueltos en el estero San Francisco y hacia aguas abajo de éste.

REFERENCIAS

SERNAGEOMIN. 2002. Mapa Geológico de Chile. *Servicio Nacional de Geología y Minería*. Carta Geológica de Chile. Serie Geología básica, No. 75, 1 mapa en 3 hojas, escala 1:1.000.000.

1462

IAA/svg.

Santiago, septiembre de 2005

ANEXOS

ANÁLISIS HIDROGEQUÍMICOS

SERVICIO NACIONAL DE GEOLOGIA Y MINERIA

1463



LABORATORIO QUIMICO
CERTIFICADO DE ANALISIS No. 2005-92AT

REMITENTE : SERNAGEOMIN - Sr. IGOR AGUIRRE
PROYECTO :
REFERENCIA : MEMORANDUM 058

ANALISIS : FELIPE LLONA - CLAUDIA HURTADO - JUANA VASQUEZ

	NS1 mg/l	NS2 mg/l	NS3 mg/l	NS4 mg/l	NS5 mg/l	NS6 mg/l	NS-7 mg/l
Be	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
B	<0.05	0,35	<0.05	<0.05	0,09	<0.05	0,1
Al	0,37	2,02	<0.1	0,84	2,38	<0.1	<0.1
P	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	0,115	<0.1	<0.1
V	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010
Cr	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005
Mn	0,896	2,020	2,070	0,065	0,291	0,385	0,250
Fe	0,920	0,280	0,120	1,160	2,780	0,091	0,045
Co	0,009	0,029	<0.005	<0.005	<0.005	0,016	<0.005
Ni	<0.010	0,026	<0.010	<0.010	<0.010	0,010	<0.010
Cu	0,386	9,460	0,319	0,036	0,050	1,160	0,013
Zn	0,444	1,450	0,140	0,392	0,130	0,157	<0.1
As	<0.005	0,020	<0.005	<0.005	0,011	<0.005	<0.005
Se	<0.001	0,002	0,001	<0.001	0,001	<0.001	<0.001
Mo	<0.001	0,001	0,007	<0.001	0,002	0,002	0,002
Ag	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010
Cd	0,001	0,006	0,001	<0.001	0,002	0,001	<0.001
Sn	<0.050	<0.050	<0.050	<0.050	<0.050	<0.050	<0.050
Sb	0,0005	0,0002	0,0007	0,0009	0,0007	0,0003	0,0003
Ba	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
Pb	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010
Hg	<0.0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	<0.0001	0,0002
COT	0,20	0,67	0,63	1,7	0,76	0,22	0,92

Felipe Llona R.
Jefe Laboratorio Químico

29-06-2005



LABORATORIO QUIMICO

1464

CERTIFICADO DE ANALISIS DE AGUA N° 2005-92AM
REF. MEMO N°058

REMITENTE :	SERNAGEOMIN SR. IGOR AGUIRRE
PROYECTO :	
MUESTRA :	NS1
QUIMICOS :	Juan Bustamante-Juana Vasquez-Loreto Morales

CATIONES		mg/l	me/l	ANIONES		mg/l	me/l
Calcio	Ca	74	3,69	Hidróxidos	OH		
Magnesio	Mg	5,1	0,42	Carbonatos	CO ₃		
Sodio	Na	9,4	0,41	Bicarbonatos	HCO ₃	8,5	0,14
Potasio	K	2	0,06	Sulfatos	SO ₄	176	3,67
Litio	Li	<0,02		Cloruros	Cl	22	0,82
				Nitratos	NO ₃	6,9	0,11
				Fluor	F	0,3	
			4,58				4,54
Dureza total		205,6	mg/l CaCO ₃	pH	4.83	a	16,1°C
Dureza carbonatosa		7,0	" "	Anh. Carbónico,disuelto (CO ₂)			mg/l
Dureza no carbonatosa		198,6	" "	Conductividad			
Alcalinidad total			" "				
Sólidos disueltos,suma		300,1	mg/l				
Sólidos disueltos por evaporación a 103°C		316,9	mg/l				



LABORATORIO QUIMICO

CERTIFICADO DE ANALISIS DE AGUA N° 2005-92AM
REF. MEMO N°068

REMITENTE : SERNAGEOMIN SR. IGOR AGUIRRE
PROYECTO :
MUESTRA : NS-2
QUIMICOS : Juan Bustamante-Juana Vasquez-Loreto Morales

CATIONES		mg/l	me/l	ANIONES		mg/l	me/l
Calcio	Ca	98	4,89	Hidróxidos	OH		
Magnesio	Mg	19	1,66	Carbonatos	CO ₃		
Sodio	Na	68	2,96	Bicarbonatos	HCO ₃	6,1	0,10
Potasio	K	4,4	0,11	Sulfatos	SO ₄	293	6,10
Litio	Li	0,05		Cloruros	Cl	116	3,24
				Nitratos	NO ₃	4,3	0,07
				Flúor	F	0,3	
			9,52				9,52
Dureza total		322,7	mg/l CaCO ₃	pH	4,22	a	16,1°C
Dureza carbonatosa		6,0	" "	Anh. Carbónico,disuelto (CO ₂)			mg/l
Dureza no carbonatosa		317,7	" "	Conductividad			
Alcalinidad total			" "				
Sólidos disueltos,suma		606,1	mg/l				
Sólidos disueltos por evaporación a 103°C		638,9	mg/l				



LABORATORIO QUIMICO

CERTIFICADO DE ANALISIS DE AGUA N° 2005-92AM
REF. MEMO N°058

REMITENTE : SERNAGEOMIN SR. IGOR AGUIRRE
PROYECTO :
MUESTRA : NS-3
QUIMICOS : Juan Bustamante-Juana Vasquez-Loreto Morales

1465

CATIONES				ANIONES			
		mg/l	me/l			mg/l	me/l
Calcio	Ca	72	3,59	Hidróxidos	OH		
Magnesio	Mg	9,1	0,75	Carbonatos	CO ₃		
Sodio	Na	13	0,57	Bicarbonatos	HCO ₃	37	0,61
Potasio	K	2,2	0,06	Sulfatos	SO ₄	177	3,69
Litio	Li	<0,02		Cloruros	Cl	21	0,59
				Nitratos	NO ₃	2,5	0,04
				Flúor	F	0,3	
			4,96				4,93
Dureza total		217,1	mg/l CaCO ₃	pH	6,73	a	16,0°C
Dureza carbonatosa		30,5	" "	Anh. Carbónico,disuelto (CO ₂)			mg/l
Dureza no carbonatosa		186,6	" "	Conductividad			
Alcalinidad total			" "				
Sólidos disueltos,suma		315,4	mg/l				
Sólidos disueltos por evaporación a 103°C		333,1	mg/l				



LABORATORIO QUIMICO

CERTIFICADO DE ANALISIS DE AGUA N° 2005-92AM
REF. MEMO N°058

REMITENTE : SERNAGEOMIN SR. IGOR AGUIRRE
PROYECTO :
MUESTRA : NS-4
QUIMICOS : Juan Bustamante-Juana Vasquez-Loreto Morales

CATIONES				ANIONES			
		mg/l	me/l			mg/l	me/l
Calcio	Ca	7,4	0,37	Hidróxidos	OH		
Magnesio	Mg	2,6	0,21	Carbonatos	CO ₃		
Sodio	Na	4,8	0,21	Bicarbonatos	HCO ₃	11	0,18
Potasio	K	1,3	0,03	Sulfatos	SO ₄	18	0,37
Litio	Li	<0,02		Cloruros	Cl	8,5	0,24
				Nitratos	NO ₃	1,9	0,03
				Flúor	F	<0,1	
			0,83				0,83
Dureza total		29,2	mg/l CaCO ₃	pH	5,03	a	16,1°C
Dureza carbonatosa		9,0	" "	Anh. Carbónico,disuelto (CO ₂)			mg/l
Dureza no carbonatosa		20,2	" "	Conductividad			
Alcalinidad total			" "				
Sólidos disueltos,suma		49,9	mg/l				
Sólidos disueltos por evaporación a 103°C		52,7	mg/l				

CERTIFICADO DE ANALISIS DE AGUA N° 2005-92AM
REF. MEMO N°058

REMITENTE : SERNAGEOMIN SR. IGOR AGUIRRE
PROYECTO :
MUESTRA : NS-5
QUIMICOS : Juan Bustamante-Juana Vasquez-Loreto Morales

CATIONES		mg/l	me/l	ANIONES		mg/l	me/l
Calcio	Ca	62	3,09	Hidróxidos	OH		
Magnesio	Mg	7,4	0,81	Carbonatos	CO ₃		
Sodio	Na	92	4,00	Bicarbonatos	HCO ₃	59	0,96
Potasio	K	4,3	0,11	Sulfatos	SO ₄	112	2,33
Litio	Li	<0,02		Cloruros	Cl	154	4,34
				Nitratos	NO ₃	8,3	0,13
				Fluor	F	0,2	
			7,81				7,77
Dureza total		185,1	mg/l CaCO ₃	pH	7,00	a	16,3°C
Dureza carbonatosa		48,0	" "	Anh. Carbónico, disuelto (CO ₂)			mg/l
Dureza no carbonatosa		137,1	" "	Conductividad			
Alcalinidad total			" "				
Sólidos disueltos, suma		469,0	mg/l				
Sólidos disueltos por evaporación a 103°C		495,3	mg/l				

1466



CERTIFICADO DE ANALISIS DE AGUA N° 2005-92AM
REF. MEMO N°058

REMITENTE : SERNAGEOMIN SR. IGOR AGUIRRE
PROYECTO :
MUESTRA : NS-6
QUIMICOS : Juan Bustamante-Juana Vasquez-Loreto Morales

CATIONES		mg/l	me/l	ANIONES		mg/l	me/l
Calcio	Ca	59	2,94	Hidróxidos	OH		
Magnesio	Mg	6,1	0,50	Carbonatos	CO ₃		
Sodio	Na	6,9	0,30	Bicarbonatos	HCO ₃	13	0,22
Potasio	K	1,4	0,04	Sulfatos	SO ₄	156	3,25
Litio	Li	<0,02		Cloruros	Cl	8,8	0,25
				Nitratos	NO ₃	2,2	0,04
				Fluor	F	0,2	
			3,78				3,75
Dureza total		172,3	mg/l CaCO ₃	pH	6,11	a	16,7°C
Dureza carbonatosa		11,0	" "	Anh. Carbónico,disuelto (CO ₂)			
Dureza no carbonatosa		161,3	" "	Conductividad			
Alcalinidad total			" "				
Sólidos disueltos,suma		247,2	mg/l				
Sólidos disueltos por evaporación a 103°C		261,0	mg/l				



LABORATORIO QUIMICO

1467

CERTIFICADO DE ANALISIS DE AGUA N° 2005-92AM
REF. MEMO N°058

REMITENTE : SERNAGEOMIN SR. IGOR AGUIRRE
PROYECTO :
MUESTRA : NS-7
QUIMICOS : Juan Bustamante-Juana Vasquez-Loreto Morales

CATIONES		mg/l	me/l	ANIONES		mg/l	me/l
Calcio	Ca	56	2,79	Hidróxidos	OH		
Magnesio	Mg	6,1	0,50	Carbonatos	CO ₃		
Sodio	Na	31	1,35	Bicarbonatos	HCO ₃	34	0,55
Potasio	K	2,5	0,06	Sulfatos	SO ₄	128	2,67
Litio	Li	<0,02		Cloruros	Cl	50	1,41
				Nitratos	NO ₃	3,1	0,05
				Flúor	F	0,2	
			4,71				4,68
Dureza total		164,8	mg/l CaCO ₃	pH	6,61	a	16,5°C
Dureza carbonatosa		27,5	" "	Anh. Carbónico,disuelto (CO ₂)			mg/l
Dureza no carbonatosa		137,3	" "	Conductividad			
Alcalinidad total			" "				
Sólidos disueltos,suma		293,4	mg/l				
Sólidos disueltos por evaporación a 103°C		309,8	mg/l				



Laboratorio de Rayos X

Informe 35805

1468

Solicitado por: Sr. Igor Aguirre *I*
Depto. Geología Aplicada
Cantidad de muestras: 1
Fecha de entrega: 23 de junio de 2005

La muestra (sin número) se denominó Verde. Corresponde a una costra fina de color verde claro en un canto de andesita. Esta costra se raspó y se preparó en portamuestra de cuarzo. El difractograma indica la siguiente composición mineralógica cualitativa:

Illita-montmorillonita, crisocolla, lindgrenita y trazas de ktenasita

Como se puede observar en el diagrama, la cristalinidad de las especies presentes es baja, según el score de la lista final, los minerales predominantes son los dos primeros. Se anexa una caracterización química de los dos minerales menos conocidos.

Cualquier duda comunicarse con el laboratorio.

Eugenio Fonseca P.
Eugenio Fonseca P.
Geólogo

Laboratorio de Rayos X y Mineralogía

AVDA. SIA MARA 0104 - PROVIDENCIA - FON: (56-2) 237 50 50 - FAX: (56-2) 237 2155 - Pág. Web: www.sernageomin.cl - Email: ingenieros@sernageomin.cl
CASILLA 70105 Y 70117, CORREO 2° - SANTIAGO - CHILE

ICURQUE
Grimes, Bolson 125
Fono: 422872
Cable: 177

ANTOFAGASTA
Arturo Toro 356
Fono: 222350

COPILQUE
Almeida Manuel
García Moll 384
Fono: 212292

LA SERENA
Pedro Pablo Muñoz 520
Fono: 277110

VALPARAISO
Manuel Rodríguez 838
Cable: 150
Fono: 528118 - 528116

CONCEPCION
San Martín 1385
Fono: 227323

Date: 6/23/2005 Time: 10:40:28 AM

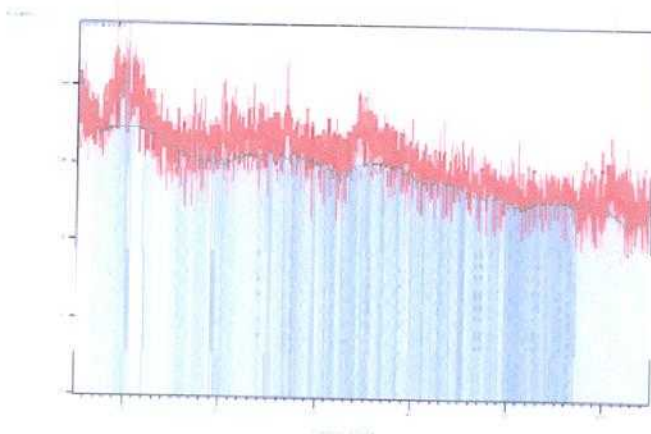
File: costra.verde

User: Servico Nacional

Anch - Scan Parameters

Dataset Name: costra.verde
 File name: C:\X Pert Data\costra.verde.xrdml
 Measurement Date / Time: 6/22/2005 3:00:45 PM
 Operator: Eugenia Fonseca P.
 Raw Data Origin: *R0 measurement at XRDML
 Scan Axis: 2 θ
 Start Position [°2 θ]: 5.00
 End Position [°2 θ]: 34.900
 Step Size [°2 θ]: 1.000
 Scan Step Time (s): 3.000
 Scan Type: Continuous
 Offset [°2 θ]: 0.000
 Divergence Slit Type: Fixed
 Divergence Slit Size [°]: 0.4785
 Specimen Length (mm): 10.00
 Receiving Slit Size (mm): 0.1000
 Measurement Temperature [°C]: 25.00
 Anode Material: Cu
 Generator Settings: 40 mA, 45 kV
 Scintillator Radius [mm]: 300.00
 Dist. Focus-Diverg. Slit (mm): 54.00

1469



Date: 6/23/2005 Time: 10:40:28 AM

File: costra.verde

User: Servico Nacional

Peak List

Pos. [°2 θ]	Height [cts]	FWHM [°2 θ]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]	Tipwidth [°2 θ]	Matched by
8.5052	30.20	0.2362	9.92594	81.53	0.2834	00-035-0652; CO...
22.8345	9.05	0.1966	3.92851	24.42	0.2362	00-014-0685; Cl...
26.7868	21.04	0.1181	3.32823	100.00	0.1417	00-035-0652; CO...
31.5177	4.93	0.1966	2.80395	13.31	0.2362	01-075-1438; Cl...
34.0377	15.14	0.4723	2.63400	51.67	0.3668	00-014-0685; Cl...
45.0852	4.64	0.0230	2.00250	12.54	0.7557	01-075-1438; Cl...
60.5976	8.10	1.1520	1.52683	21.87	1.3824	00-014-0685; Cl...

Pattern List

Visible	Ref. Code	Score	Compound Name	Displ. [°2 θ]	Scale Fac.	Chem. Formula
*	00-035-0652	17	Illite-montmorillonite..	0.000	0.568	K Al ₂ (Si, Al) ₄ O ₁₀ ...
*	00-014-0685	11	Chrysocolla	0.000	0.735	(Cu, Mg) Si ₂ O ₆ ...
*	01-075-1438	7	Lindgrenite	0.000	0.413	Cu ₃ (Mo, C4) 2 (O...
*	01-083-2247	2	Ktenasite	0.000	0.100	Zn ₂ (Cu ₄ , S, Zn) ₂ ...

Name and formula

Reference code: 01-075-1438

Mineral name: Lindgrenite

ICSD name: Copper Molybdenum Oxide Hydroxide

Empirical formula: $\text{Cu}_3\text{H}_2\text{Mo}_2\text{O}_{10}$

Chemical formula: $\text{Cu}_3 (\text{MoO}_4)_2 (\text{OH})_2$

1470

Crystallographic parameters

Crystal system: Monoclinic

Space group: P21/n

Space group number: 14

a (Å): 5.3940

b (Å): 14.0230

c (Å): 5.6080

Alpha (°): 90.0000

Beta (°): 98.5000

Gamma (°): 90.0000

Calculated density (g/cm³): 4.31

Volume of cell (10⁶ pm³): 419.53

Z: 2.00

RIR: 2.18

Subfiles and Quality

Subfiles: Inorganic
Mineral
Corrosion
ICSD Pattern

Quality: Calculated (C)

Comments

Sample source: Specimen from Chuquicamata, Chile.

Additional pattern: See PDF 00-036-0405 and PDF 01-086-2311.

ICSD collection code: 030946

Test from ICSD: Calc. density unusual but tolerable.
At least one TF implausible.

References

Primary reference: Calculated from ICSD using POWD-12++

Structure: Hawthorne, F.C., Eby, R.K., *Neues Jahrb. Mineral., Monatsh.*, 1985, 234, (1985)

Name and formula

Reference code: 01-083-2247

Mineral name: Ktenasite
ICSD name: Copper Zinc Sulfate Hydroxide Hydrate

Empirical formula: $\text{Cu}_{4.8}\text{H}_{36}\text{O}_{40}\text{S}_4\text{Zn}_{5.2}$
Chemical formula: $\text{Zn}_2(\text{Cu}_{4.8}\text{Zn}_{3.2})(\text{SO}_4)_4(\text{OH})_{12}(\text{H}_2\text{O})_{12}$

1471

Crystallographic parameters

Crystal system: Monoclinic
Space group: P21/c
Space group number: 14

a (Å): 5.5890
b (Å): 6.1660
c (Å): 23.7510
Alpha (°): 90.0000
Beta (°): 95.5500
Gamma (°): 90.0000

Calculated density (g/cm³): 2.95
Measured density (g/cm³): 2.97
Volume of cell (10⁶ pm³): 814.66
Z: 1.00

RIR: 3.90

Subfiles and Quality

Subfiles: Inorganic
Mineral
Corrosion
ICSD Pattern

Quality: Calculated (C)

Comments

Sample source: Specimen from Miniera Trentin, Vicenza, Italy.
Additional pattern: See PDF 00-029-0591 and PDF 00-046-1351.
ICSD collection code: 200402
Test from ICSD: At least one TF missing.
Calc. density unusual but tolerable.

References

Primary reference: Calculated from ICSD using POWD-12++
Structure: Mellini, M., Merlino, S., Z. Kristallogr., Kristallgeom.,
Kristallphys., Kristallchem., 147, 129, (1978)