

ANTECEDENTES PRELIMINARES SOBRE LA COMPOSICION Y GENESIS DE LAS CROMITAS DE LA CABAÑA (CAUTIN)

GUILLERMO ALFARO

Inst. Invest. Geol., Casilla 10465, Santiago, Chile.

RESUMEN

El presente trabajo se refiere a las rocas ultramáficas y cromitas que afloran en el sector de La Cabaña, 25 km al norte de Trovolhue, Provincia de Cautín.

Se hace un resumen general acerca de los yacimientos de cromita y se sitúan los afloramientos de La Cabaña en el contexto geológico, geoquímico y geofísico regionales.

Mediante análisis con microsonda electrónica (EPMA) se estudió la composición de las cromitas, concluyéndose que corresponden a cromitas aluminicas, de tipo refractario, aun cuando por efectos secundarios se han formado cromitas férricas, las cuales se caracterizan por la lixiviación de Cr y Al, y enriquecimiento relativo de Fe.

Se calculó, usando difracción de rayos X, la dimensión de la celda unitaria y se usó este parámetro para determinar simi-cuantitativamente el contenido de cromo del mineral.

El estudio microscópico concluyó que la roca huésped es una serpentinita; originalmente fue una dunita, posiblemente con núcleos de wherlita. Los difractogramas de la serpentina permiten clasificarla como antigorita, lo cual indica que el ambiente de serpentización fue a presión y temperaturas altas ($T = 500^{\circ}\text{C}$, $P > 500 \text{ atm}$), propia de cuerpos ultramáficos, emplazados en ambiente alpino.

Las características geológicas, químicas y mineralógicas de los afloramientos con cromita de La Cabaña, permiten recomendar su exploración en detalle, con el objeto de conocer sus reales posibilidades económicas.

ABSTRACT

A study of ultramafic rocks and chromitites that crop out in La Cabaña area, 25 km north of Trovolhue, Province of Cautín and a general review of chromite ore deposits is presented. La Cabaña outcrops are defined in their regional geological, geochemical and geophysical context.

The composition of chromite was studied by electron microprobe analysis (EPMA) and it was concluded that it belongs to the refractories aluminous type. Supergene processes leached Cr and Al from the chromites and caused a comparative Fe-enrichment.

The unit cell of chromite samples was calculated from X-ray diffractometry data and this parameter was used in order to provide a semi-quantitative estimate of the Cr contents of the ore. It was microscopically concluded that the host rock is serpentinite, possibly a former dunite with a wherlita core.

Serpentine diffractograms showed that it is mainly composed of antigorite, indicating a serpentization environment of a high pressure and temperature type ($T = 500^{\circ}$, $P > 500 \text{ atm}$), which is characteristic of alpine ultramafic bodies.

The geological, chemical and mineralogical characteristics of the La Cabaña outcrops allow to recommend its detailed exploration in order to ascertain its economic possibilities.

INTRODUCCION

UBICACION Y ACCESO

Los afloramientos de rocas serpentínicas con cromita están situados en el lugar conocido como

La Cabaña, 25 km al norte de la localidad de Trovolhue, provincia de Cautín. Las coordenadas geográficas del lugar son $38^{\circ}30'$ Lat. sur y $73^{\circ}15'$ Long. oeste; la altitud promedio del área es 300 m

s.n.m. (Fig. 1).

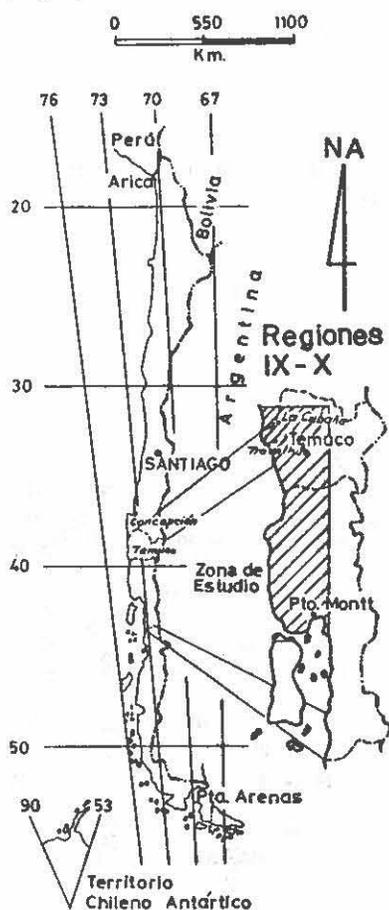


FIG. 1. Mapa de ubicación

El acceso a la zona es posible mediante vehículo, en los meses secos (noviembre a marzo), a través de la bifurcación que nace del camino ripiado, que une las localidades de Carahue y Trovolhue. Este camino lateral lleva a La Cabaña, luego de un recorrido de 30 km. También es posible llegar a los afloramientos usando un camino de segunda clase, no estabilizado, que une los poblados de Mahuilque (Arauco) y Relún (Cautín); esta huella es transitable durante el período seco.

OBJETIVO DEL TRABAJO

El objetivo de este trabajo es entregar información preliminar sobre la composición química y mineralógica de las cromitas y rocas ultramáficas fuertemente serpentinizadas que afloran en el área de La Cabaña. Además se hace un análisis, a la luz

de los antecedentes disponibles, sobre las posibilidades económicas de dichos cuerpos y se plantea su relación con otras serpentinitas, que han sido reconocidas en la Cordillera de la Costa entre las provincias de Arauco y Llanquihue. En la mayoría de dichas serpentinitas, no se han encontrado manifestaciones de cromitas superiores a los contenidos normales en las rocas ultramáficas, al menos, en comparación con las existentes en La Cabaña. Las referencias a yacimientos minerales, exploración geoquímica y geofísica se hacen en el contexto regional.

GENERALIDADES SOBRE LOS YACIMIENTOS DE CROMITA

Los yacimientos de cromita aparecen, invariablemente, asociados a rocas máficas y ultramáficas. Se ha reconocido la existencia de placeres derivados de ellos, sin embargo, de acuerdo a sus características genéticas, los yacimientos son agrupados en 2 categorías claramente diferenciables, los cuales, a su vez, presentan variaciones (Thayer, 1956; Staton, 1973):

- a) cromitas asociadas a secuencias "estratificadas" máficas, de grandes complejos ígneos.
- b) cromitas asociadas con intrusiones ultramáficas de "tipo alpino", en zonas orogénicas, las cuales son, a veces, parte de secuencias ofiolíticas.

Ambos grupos tienen como rocas parentales a peridotitas, dunitas, piroxenitas y sus variedades; las relaciones con tipos más ácidos, como gabros y anortositas, son raras.

El primer grupo corresponde a rocas emplazadas en áreas no orogénicas; conforman grandes complejos "estratiformes" que, desde el punto de vista petrográfico, son más bien complejos máficos que ultramáficos. Ejemplos de este grupo son los famosos cuerpos de Bushveld, Stillwater, Muscox y Sudbury (Staton, 1973). Todos ellos se caracterizan por la gran extensión y regularidad de las "capas" que varían entre peridotitas, en la base, a granitoides, en el techo. Estas "capas" incluyen bandas de cromitas que, al igual que las demás rocas de la serie, tienen gran extensión lateral y pueden seguirse por kilómetros.

El segundo grupo de yacimientos de cromitas se emplaza en macizos ultramáficos de "tipo alpino", relacionados con regiones orogénicas, llegando a adquirir una morfología podiforme debida a movi-

mientos sin- y post-orogénicos. Algunos autores consideran los cuerpos de tipo alpino como parte de complejos ofiolíticos (Coleman, 1971) que se han empleado, a veces, con un mínimo de dislocación, manteniéndose completa la secuencia ofiolítica; otras veces, las rocas ultramáficas aparecen como bloques aislados. En estos yacimientos la cromita es el primer mineral que cristaliza o, al menos, se genera en estado ortomagmático, presentando formas macizas, diseminado o con textura en cadena. Morfológicamente, los yacimientos son irregulares, aun cuando a pequeña escala, pueden ser regularmente bandeados. Por efecto del ambiente orogénico en que se emplazan, hay fenóme-

nos de dislocación (formación de cuerpos podiformes) y alteración de la cromita. La serpentinitización es un fenómeno frecuente e intenso en la roca, la cual puede llegar a ser reemplazada totalmente. Si bien estos yacimientos, en forma individual, no tienen gran extensión areal, en general, conforman largos "cinturones serpentiniticos" y tienen mayor ley de cromo que los yacimientos "estratificados".

La separación de los yacimientos de cromita, de acuerdo a su ambiente geológico, se refleja asimismo en la composición de la roca huésped; los "estratiformes" son denominados también "depósitos noríticos" y los alpinos, "depósitos duniticos" (Thayer, 1956).

GEOLOGIA

GEOLOGIA REGIONAL

La interpretación de la geología general del área ha variado en la medida que se han hecho nuevos estudios. En el Mapa Geológico de Chile del IIG, edición 1968, forma parte del Basamento Cristalino asignado al Pre-Cámbrico y/o Paleozoico Indiferenciado cuya litología está representada por pizarras, filitas, esquistos y gneises.

Alvarez (1970) y Vergara (1970) estudiaron el Basamento Cristalino en el sector costero de Arauco y Cautín, en relación a la exploración de yacimientos de hierro metasedimentarios. Ambos autores reconocen intrusiones serpentiniticas. Vergara inicia la exploración de los afloramientos de La Cabaña que, junto con Lavaderos, son los principales cuerpos con cromita.

González - Bonorino (1970) hace un estudio regional de las metamorfitas del Basamento Cristalino diferenciando 3 zonas que denominó Curepto I, Curepto II y Curepto III, definidas por la siguiente asociación mineralógica:

- Curepto I : cuarzo-muscovita-clorita-(albita)
- Curepto II : cuarzo-muscovita-biotita-(albita)
- Curepto III : cuarzo-muscovita-clorita-albita-(granate)

El cuerpo ultramáfico de La Cabaña se emplaza en la zona denominada Curepto III.

Aguirre *et al.* (1972) divide el Basamento Cristalino en 2 unidades: Serie Occidental y Serie Oriental, de acuerdo a las condiciones de metamorfismo, correspondiendo el área de La Cabaña a la serie de alta presión (Serie Occidental).

Hervé (1975) estudia las rocas metamórficas de la Cordillera de Nahuelbuta y mantiene la nomenclatura de Aguirre *et al.* (1972). Hervé reconoce, en la Serie Occidental, metabasitas, esquistos micáceos, metachert y serpentinitas cuyo metamorfismo representa condiciones de presión y temperatura altas.

Desde el punto de vista regional, el cuerpo ultramáfico, en el cual se emplazan las cromitas estudiadas, se sitúa en la parte septentrional de un conjunto de afloramientos con serpentinitas, que se extienden desde el cordón que divide las lagunas Lanalhue y Lleu-Lleu, provincia de Arauco (Lat. 30°00'sur) hasta el río Bueno (Lat. 40°15 sur) (Illies, 1970; Alvarez y Rivera, 1970; Alvarez, 1970; Vergara, 1970; Hervé, 1975; Cruzat, 1976; Alfaro, 1979), conformando un "cinturón serpentinitico", en el sentido de Staton (1973). Dicho "cinturón serpentinitico" está constituido por 2 franjas paralelas de rumbo NNE-SSW y 1 ó 2 franjas de rumbo aproximado NNW-SSE; ambas se cortan en el área de Loncoche (Fig. 2).

GEOLOGIA ECONOMICA

No se conocen grandes yacimientos minerales en el área estudiada. Al norte de La Cabaña, se ha explorado el yacimiento de hierro sedimentario tipo "itabirita" denominado Relún o Mahuilque. Este depósito consiste en una secuencia de capas de hematita con ganga silíceas emplazada en la Serie Occidental (Hervé, 1975) con una ley media de hierro de 30%. Cerca de Trovohue se han explo-

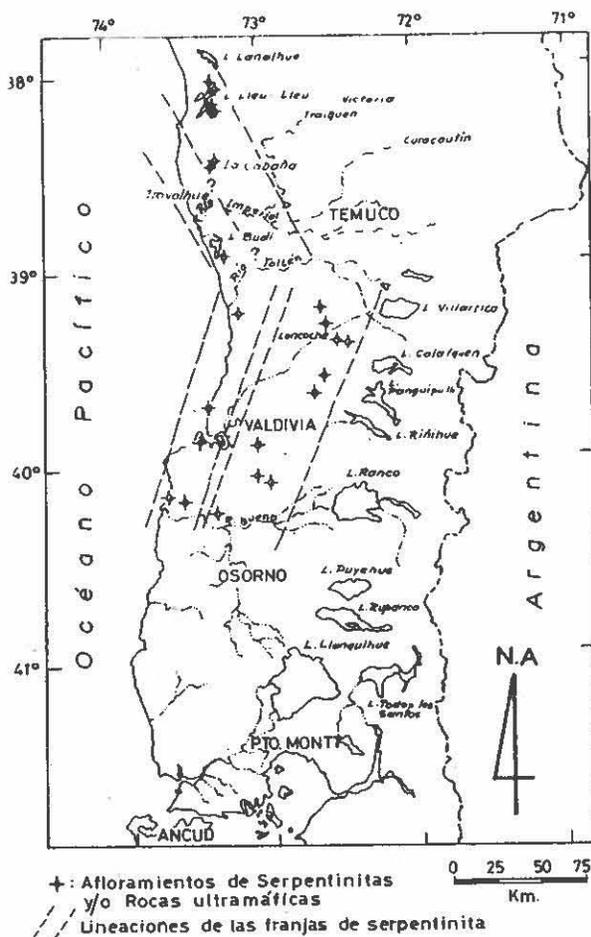


FIG. 2. Cinturón serpentínico de la Cordillera de la Costa, Sur de Chile.

tado limonitas, artesanalmente, utilizándolas para filtrar gas. Pequeños placeres de oro se explotan temporalmente en toda el área; hacia el naciente de

La Cabaña, cerca del río Damas, ha existido, desde la colonia, una continua producción de oro, que aún se mantiene. No se conocen otros yacimientos aun cuando hay referencias sobre talco, asbesto, carbón, arcillas refractarias y cuarzo (Alvarez, 1970; Vergara, 1970).

El año 1960, la empresa canadiense Loockwood efectuó, a solicitud del IIG, un levantamiento aeromagnético y radiométrico en la Cordillera de la Costa entre las provincias de Cautín y Chiloé, con el objeto de determinar la extensión y nuevas posibilidades de los yacimientos sedimentarios de hierro. Como resultado de esta exploración, se reconocieron varias anomalías magnéticas, una de las cuales se ubica en el sector La Cabaña. La interpretación preliminar de dichas anomalías las relacionó con cuerpos de hierro; el reconocimiento geológico posterior demostró que, parte de ellas, eran producidas por rocas ultramáficas (Alvarez y Rivera, 1970). En la extensión norte de La Cabaña se hizo exploración magnética aérea y terrestre para estudiar el yacimiento de hierro de Relún-Mahuilque.

Para complementar el reconocimiento geológico y geofísico de la Cordillera de la Costa del sur de Chile y con el fin de detectar áreas favorables para la existencia de depósitos minerales asociados a rocas ultramáficas o relacionadas con el Basamento Cristalino, se ha efectuado, en forma irregular, la prospección geoquímica mediante sedimentos fluviales; el área de La Cabaña ha estado incluida en la región prospectada, habiéndose detectado anomalías de Co y Ni, cerca de la costa e inmediatamente al norte de Trovolhue (Cruzat, 1976; Alfaro, 1979).

DESCRIPCION DE LOS AFLORAMIENTOS DE ROCAS ULTRAMAFICAS DE LA CABAÑA

PETROGRAFIA

Petrográficamente, los afloramientos de La Cabaña son exclusivamente serpentinitas. La roca es una serpentinita con abundante cromita diseminada. El fenómeno de serpentinización ha sido tan intenso que es muy difícil reconocer al microscopio la mineralogía original. La cromita compacta (Figs. 3 y 4) es cortada por guías de serpentinita de 1 a 3 mm de espesor y de hasta 3 cm de largo. Los cristales de cromita diseminados son subhedra-

les, de hasta 2 cm de longitud máxima; al microscopio aparecen rodeados por serpentinita y, ocasionalmente, cortados por venillas de algunas décimas de milímetro del mismo mineral. En forma esporádica se observan venillas de talco cortando la serpentinita (Fig. 5).

Algunos cristales de cromita diseminada (Figs. 7 y 8) presentan delgada zonación paralela a sus bordes. Esta textura concéntrica se caracteriza por un halo más claro, de mayor reflectividad y un núcleo interior gris de menor reflexibilidad.

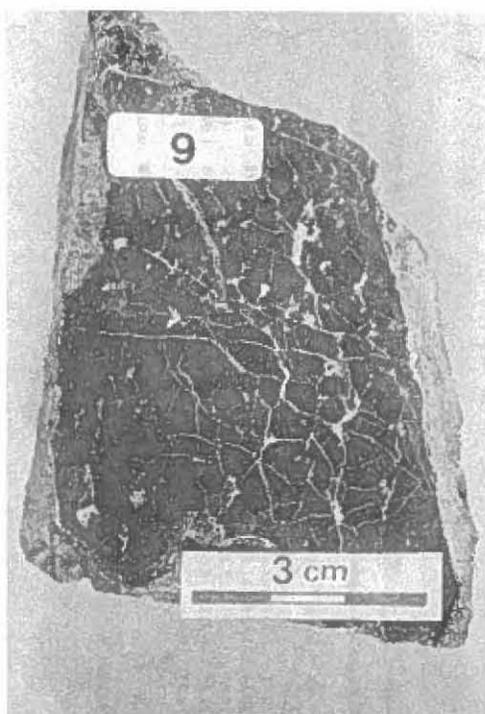


FIG. 3. Cromita compacta.

El estudio mediante microsonda electrónica (EPMA), de algunos cristales zonados, indica que el ancho máximo de la franja exterior alcanza a 90 micrones; químicamente, en comparación con el núcleo, muestra un incremento de Fe, leve aumento de Cr, depresión de Al y valores de Mg constantes (Fig. 9). La parte exterior correspondería a la definición de ferricromita y el núcleo de cromita principal, a hostcromita (Spangenberg, 1943, *in* Thayer, 1964). La variación de los contenidos de Cr, Fe, Mg y Al en el núcleo principal u hostcromita, indica que los 3 primeros elementos presentan las mismas tendencias, mientras que el Al tiene comportamiento opuesto. En general, esta tendencia puede explicarse por el reemplazo entre elementos trivalentes (Cr^{+++} y Fe^{+++} por Al^{+++} y viceversa); sin embargo, cuando estas fluctuaciones en la composición química son muy notables, el fenómeno se debe a fracturas secundarias en el cristal de cromita, rellenas con arcillas. La formación de halos de ferrocromita alrededor de la hostcromita se interpreta como alteración de la cromita durante la serpentinización.

De 19 muestras estudiadas al microscopio, todas corresponden a serpentinitas cuya roca parental no es posible de determinar; sin embargo, algunos cristales relictos permiten hacer suposiciones sobre su génesis. La muestra M-2 (Fig. 6) tiene, en forma excepcional, clinopiroxeno y olivino; el resto de las muestras están compuestas por serpentinita y cromita. Estos hechos permiten suponer que la roca ultramáfica original era, en su mayor parte, dunita, con posibles núcleos de wherlita.

DETERMINACION DE LA COMPOSICION DE LA CROMITA MEDIANTE MICROSONDA ELECTRONICA (EPMA).

Diez muestras de cromita fueron analizadas mediante microsonda electrónica por Cr, Fe, Al, Mg, Mn, Ni, Ti y Zn (Tabla 1).

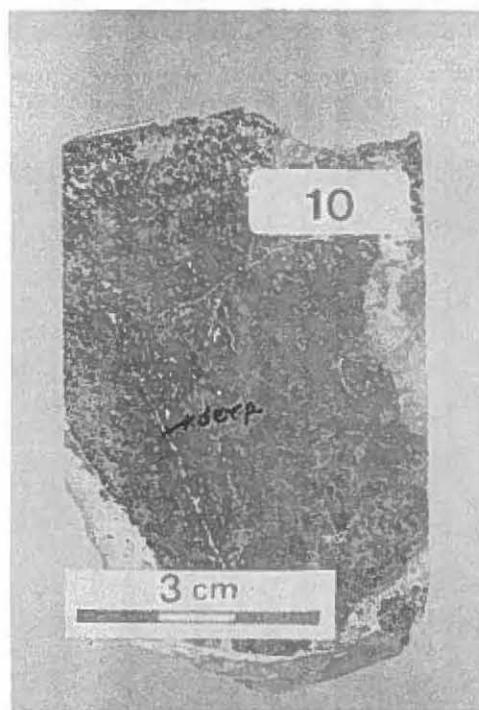


FIG. 4. Cromita compacta cortada por venillas de serpentinita.

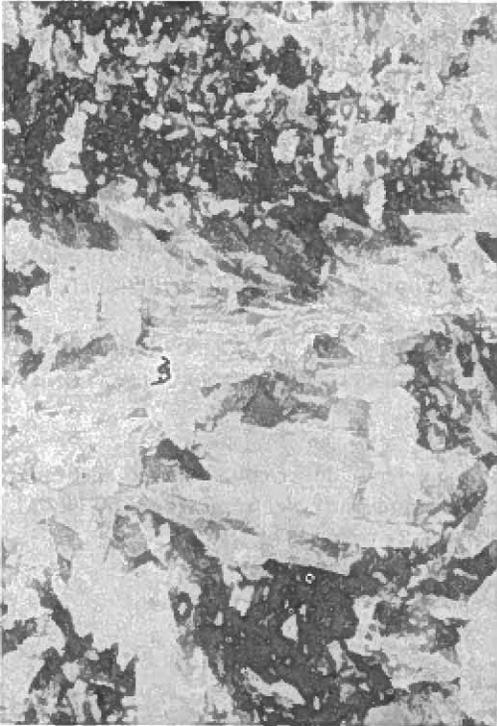


FIG. 5. Microfotografía de serpentinita cortada por venillas de talco (x 50, nicols XX).

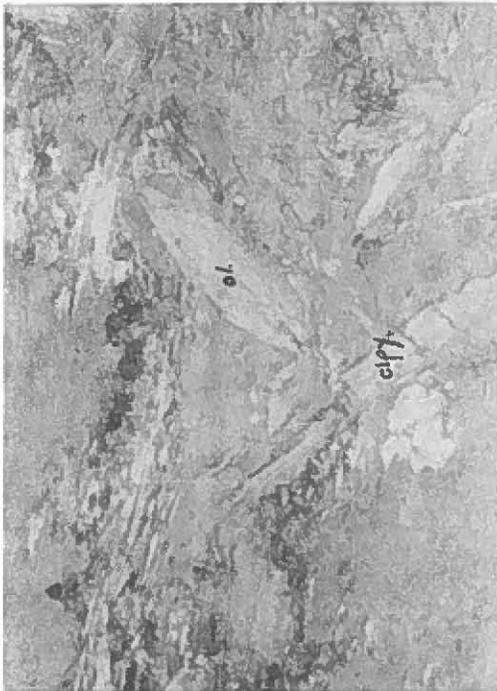


FIG. 6. Microfotografía de wherlita (x 50, nicols XX).

TABLA 1 ANALISIS DE CROMITAS MEDIANTE MICROSONDA ELECTRONICA

Muestra	M-2 (5)*	M-4A (B)	M-5 (10)	M-9 (5)	M-10 (5)	M-11 (4)	M-12 (7)	M-13 (3)	M-13A (7)	M-20 (4)	M-2A (11)°												
Elemento	peso	RA	peso	RA	peso	RA	peso	RA	peso	RA	peso	RA											
MgO	2.55	0.1302	0.69	0.0311	7.56	0.3606	11.54	0.5384	5.90	0.2870	4.75	0.2440	1.48	0.079	6.17	0.3125	1.15	0.062	2.61	0.134	1.41	0.084	
Mno	1.63	0.0475	-	-	-	-	0.99	0.0260	1.83	0.0328	1.77	0.0533	-	-	2.10	0.0622	-	-	-	-	-	-	-
FeO	28.56	0.8283	31.72	0.961	23.41	0.6400	16.52	0.4343	23.43	0.6601	23.71	0.7023	30.35	0.919	21.24	0.6252	30.86	0.934	29.54	0.857	28.32	0.848	
C ₂ O ₃	42.77	1.1620	51.10	1.4634	42.56	1.175	43.53	1.0806	41.41	1.1010	45.02	1.2580	50.20	1.433	47.53	1.3090	49.92	1.430	52.00	1.426	11.71	0.3727	
Al ₂ O ₃	11.83	0.4939	6.14	0.2620	18.64	0.714	21.78	0.8052	14.52	0.5606	6.21	0.2344	5.75	0.241	5.36	0.2672	5.56	0.235	11.39	0.466	-	-	-
Fe ₂ O ₃	13.27	0.3440	9.98	0.2620	4.33	0.109	4.82	0.1142	13.33	0.3383	18.48	0.4876	11.50	0.315	18.07	0.4704	11.99	0.328	3.89	0.102	57.73	1.677	
TiO	-	-	0.39	0.0106	0.14	-	-	-	-	-	-	-	0.23	0.06	-	-	0.17	0.005	0.143	-	-	-	-
ZnO	-	-	0.64	0.0173	-	-	-	-	-	-	-	-	0.58	-	-	-	0.42	0.011	0.536	-	-	-	-
NiO	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Total	100.61	-	100.26	-	99.84	-	99.18	-	100.42	-	99.94	-	100.09	-	100.47	-	100.09	-	100.11	-	99.75	-	-

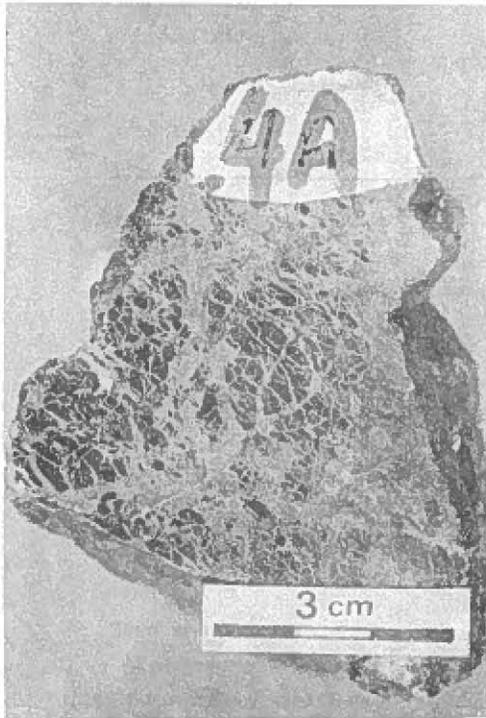


FIG. 7. Cromita diseminada con matriz de serpentina.

El objetivo de las determinaciones fue conocer la composición química de las cromitas y estudiar su variación en el cristal. Los análisis se hicieron mediante los instrumentos SHIMAZU-ARL, TYPE 5 (muestras M-2, M-9, M-10, M-11, M-13) e HITACHI, MODELO X-500S (muestras M-4, M-5, M-12, M-13A, M-20, M-2A) con voltaje de aceleración de 15 kV. Los standards usados fueron: Cr, cromita natural; Fe, hematita natural; Al, corindón sintético; Mg, periclasa sintética; Mn, óxido de Mn sintético; Ni, olivino níquelífero sintético; Ti, ilmenita sintética y Zn, esfalerita sintética.

Para la representación de los resultados en el prisma de composición (Fig. 10), se han usado los valores 100% de Cr_2O_3 , Al_2O_3 y Fe_2O_3 , como aristas principales. El contenido de Fe_2O_3 corresponde al valor teórico calculado (la técnica de microsonda electrónica no permite conocer el grado de oxidación del Fe en el mineral). Los 100% de MgO y FeO corresponden a las caras superior e inferior del prisma, respectivamente, y en ellas se proyectaron los contenidos de Cr, Fe y Al.

La Fig. 10 muestra la proyección en el prisma de composición de los puntos analizados. Estos se distribuyen en el campo correspondiente a la cromita aluminica. Los puntos que caen en el campo de cromita férrica corresponden a cristales más oxidados, con mayor contenido de Fe^{+++} . Se estima, en base a lo observado, que este fenómeno es local, producto de la meteorización superficial de los afloramientos, debido a las características climáticas del área. La cromita original es del tipo aluminico.

El rango de variación química de las cromitas permite compararlas con aquellas reconocidas en la costa del Pacífico de los Estados Unidos, cuya composición varía entre $\text{Mg}_{40-75}(\text{Cr}_{60-70}\text{Al}_{16-35})$ y difiere de las cromitas del Caribe y Oregón por los altos contenidos de Mg de estas últimas (promedio $\text{Mg}_{75}\text{Cr}_{40}\text{Al}_{55}$; Thayer, 1946).

Desde el punto de vista de su aplicación industrial, la relación $\text{MgO}:\text{Al}_2\text{O}_3$ es importante para los fines metalúrgicos o refractarios. Algunos ejemplos de cromitas metalúrgicas presentan las si-



FIG. 8. Cromita diseminada con matriz de serpentina cortada por venillas de talco.

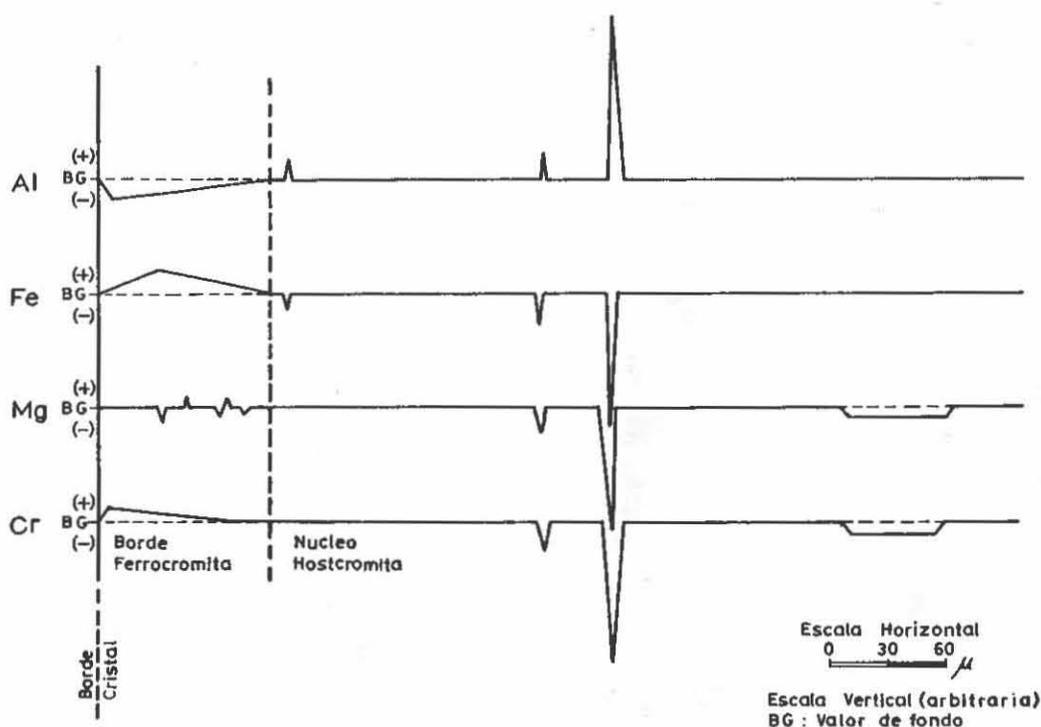


FIG. 9 Perfil con microsonda electrónica en cristales de cromita (muestra M-9).

güentes relaciones: Great Dyke 1:2,5-4; Nueva Caledonia 1:2,3-3,3; Turquía 1:2,8-4; URSS 1:30,5. Las cromitas refractarias de Cuba y Filipinas tienen relación $MgO:Al_2O_3$ entre 1:1,4 y 1:1,5; esta relación es 1:1,6-1,8 en Rodésia y 1:2 para las de Montana (USA). Los valores obtenidos para las muestras de cromita de La Cabaña (Tabla 1), son cercanos, desde el punto de vista utilitario, a las cromitas refractarias. Sin embargo, es necesario contar con una mayor cantidad de análisis para aclarar el grado de oxidación y lixiviación de la mena.

TAMAÑO DE LA CELDA UNITARIA Y SU RELACION CON EL CONTENIDO DE Cr EN CROMITA.

Es posible determinar, en forma rápida, el contenido de cromo en cromita, conociendo el tamaño de la celda unitaria (Stevens, 1944). Este método se basa en la relación lineal que existe entre el contenido de Cr en el cristal de espinela y el tamaño de la celda unitaria, cuando los valores de Fe^{+++} no son excesivamente altos. La dimensión de la

celda unitaria de la espinela sin Cr^{+++} o Fe^{+++} es 1,1030 Å; con Cr^{+++} llega a 8,4 Å y con Fe^{+++} a 8,5 Å. Los contenidos de Fe^{++} y Mg^{++} tienen poca influencia en el tamaño de la celda.

La dimensión de la celda de diferentes tipos de cromita fue calculada ajustando una recta a los valores "d" obtenidos por difracción de rayos X para las reflexiones de los planos (111), (022), (113), (004), (115). Los nuevos valores "d", estimados de este modo fueron promediados obteniéndose un nuevo "d_p" que se usó para conocer la dimensión de la celda, de acuerdo a la relación básica $a_0 = d_p \times (h^2 + k^2 + l^2)^{1/2}$.

La precisión del método de Stevens (1944) depende, fundamentalmente, de 2 factores:

- 1.- Contenido de ion Fe^{+++} (se supone que la magnetita se ha eliminado).
- 2.- Precisión en la determinación de la dimensión de la celda unitaria.

El primer factor incide cuando los contenidos de Fe^{+++} son muy altos; si esto sucede, la determinación de Cr mediante difracción de rayos X no es aconsejable o los resultados deben tomarse

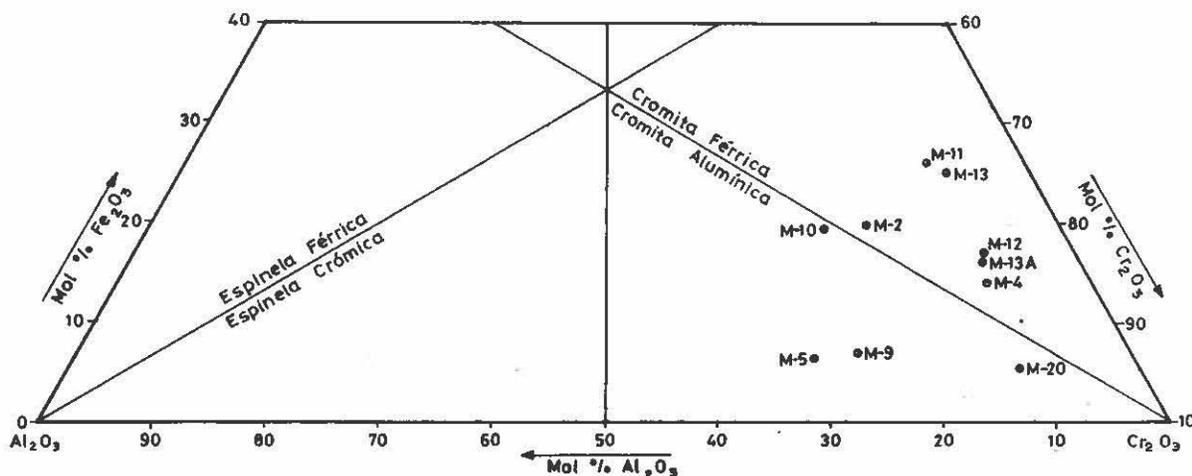
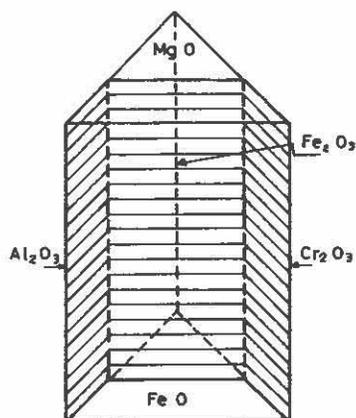


FIG. 10. Resultado del análisis de cromita mediante microsonda electrónica.



Campo de estabilidad de las cromitas naturales.

como tentativos.

La precisión en la determinación de la celda unitaria depende de la técnica empleada; en el presente trabajo, se usó una cámara de Guinier para las muestras M-10A y M-12, bajo las siguientes condiciones analíticas: potencial 35 kV; corriente 40 mA; radiación CuK. El espaciado de las líneas de difracción, mediante cámara de polvo corriente, para las muestras M-2; M-9; M-10; M-11 y M-13, se observó bajo las siguientes condiciones: radiación CuK (filtro de Ni; 30 kV, 15 mA); velocidad de barrido 1°/min; constante de tiempo 2". Los valores fueron corregidos usando sílice como standard interno. Debe tenerse presente que una diferencia de 0,01 Å en la determinación de "a₀"

da una diferencia teórica en el contenido de Cr de aproximadamente 3%. Para los efectos prácticos se estimó un error de ± 10% relativo.

La figura 11 corresponde a la recta que relaciona la dimensión de la celda unidad y el contenido de Cr; para su construcción se utilizaron 24 muestras estudiadas por Stevens (1944). Los valores de Cr de 7 muestras de La Cabaña fueron calculados mediante este gráfico; los resultados se muestran en la Tabla 2.

DETERMINACION DEL TIPO SERPENTINA

La determinación del tipo de serpentina permite tener información sobre el ambiente en el cual se habría producido la serpentización. Se acepta que el emplazamiento de masas de peridotitas a niveles estructurales altos en zonas orogénicas del Mezoico y Terciario, que han sufrido serpentización, se caracteriza por la presencia de lizardita + crisotilo + brucita + magnetita; esta asociación sería producto de la invasión de agua a moderada o escasa profundidad en la corteza (Coleman, 1971). Al contrario, serpentinita asociada a zonas más profundas, de tipo alpino, contienen predominantemente antigorita + magnetita (Coleman, 1971; Moody, 1976). El ambiente de formación de la antigorita, deducido de las relaciones de campo, está avalado por las observaciones de laboratorio y los trabajos de síntesis hechos durante las últimas décadas por diferentes investigadores. Los resulta-

TABLA 2

CONTENIDO DE Cr_2O_3 EN CROMITA MEDIANTE DIFRACCION DE RAYOS X Y MICROSONDA ELECTRONICA

Muestra	Tipo de mineral	a_0	Contenido Cr_2O_3 (%)	
			difrac. microsonda electrónica	
M-2	crom. compacta	8,245	44 ± 4	42,77
M-9	crom. compacta	8,248	44 ± 4	43,53
M-10	crom. disem.	8,241	38 ± 4	41,41
M-11	crom. disem.	8,260	46 ± 5	45,02
M-13	crom. compacta	8,270	43 ± 4	47,53
M-10A	serp. + crom. dis.	8,130	6 ± 1	----*
M-12	serp. + crom. dis.	8,220	33 ± 3	----*

* No se hicieron determinaciones con microsonda electrónica.

dos de dichas experiencias están resumidas en la figura 12 tomada de Moody (1976). La síntesis de antigorita ha sido difícil de lograr, solamente en 1973 se ha obtenido en laboratorio a presión y temperatura altas ($T = 500^\circ\text{C}$; $P > 500 \text{ atm}$; $t = 5$ días; Ishi y Saito, 1973).

Para distinguir los diferentes tipos de minerales de serpentina, se usó difracción de rayos X siguiendo el método propuesto por Whittaker y Zussmann (1956). La diferenciación de los componentes se hace utilizando, fundamentalmente, las reflexiones señaladas en la Tabla 3.

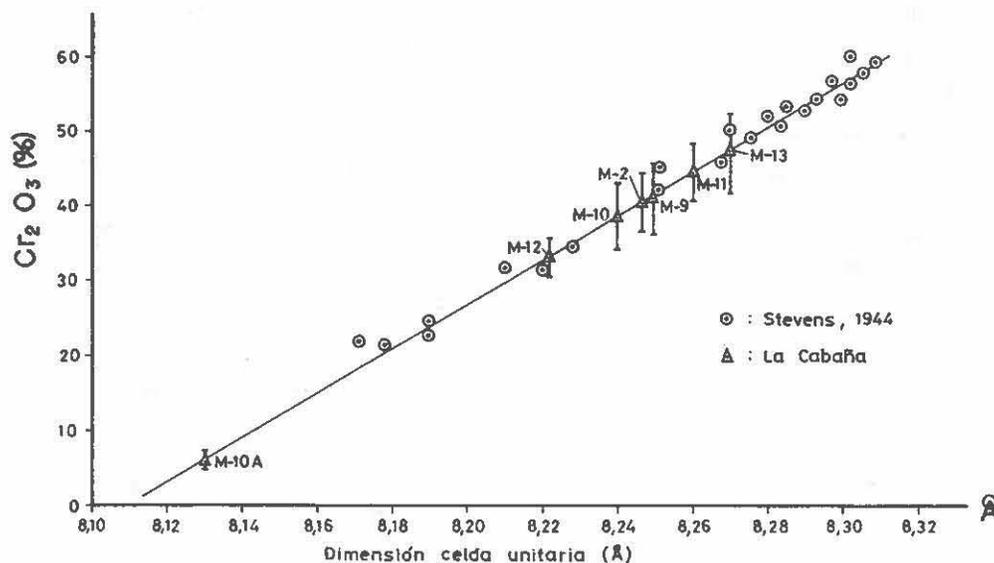


FIG. 11. Relación dimensión celda unitaria-contenido de Cr en cromita.

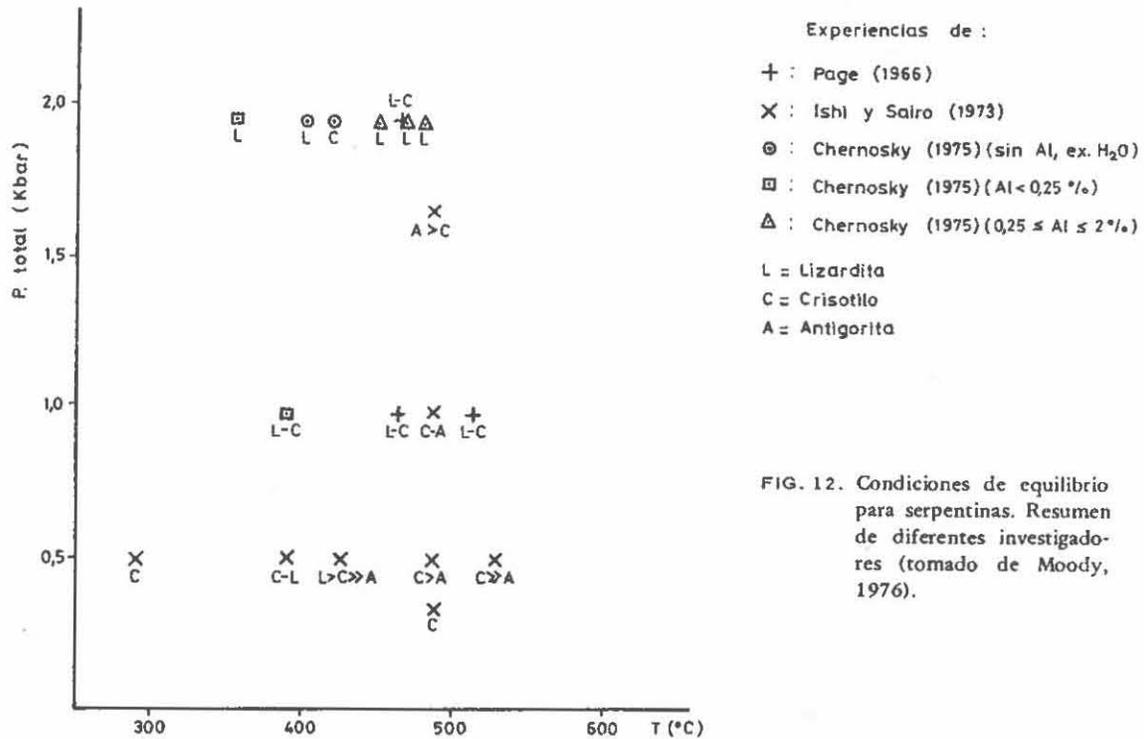


FIG. 12. Condiciones de equilibrio para serpentinas. Resumen de diferentes investigadores (tomado de Moody, 1976).

TABLA 3

REFLEXIONES CARACTERISTICAS DE SERPENTINAS

plano	crisotilo	plano	lizardita	antigorita
002	7,36	001	7,36	7,29
004	3,66	102	3,66	3,63
		16.0.1	3,66	2,53

La observación del espaciamiento de las líneas se hizo bajo las siguientes condiciones: radiación Cuk (filtro de Ni, 30 kV, 15 mA); velocidad de barrido 1^o/min; constante de tiempo 2". Los valores

fueron corregidos usando la reflexión del plano (101) de sílice como standard interno. Los resultados obtenidos se señalan en la Tabla 4.

TABLA 4
REFLEXIONES PARA SERPENTINAS DE "LA CABAÑA"

plano/muestra	M-2 (d)	M-3 (d)	M-10 (d)	M-17 (d)	M-17 (d)
001	7,25	7,28	7,32	7,31	7,31
102-102	3,60	3,62	3,63	3,63	3,63
16.0.1	2,53	2,54	2,52	2,53	2,54
003	2,42	----	----	----	----
832	2,17	----	2,17	2,17	----
15.0.3	1,84	----	----	----	----
16.0.2	----	----	2,16	2,16	----

Los resultados señalan que la serpentina corresponde a antigorita.

CONCLUSIONES

1. En la zona de La Cabaña, provincia de Cautín, se han reconocido afloramientos de rocas ultramáficas, fuertemente serpentinizadas, que constituyen la roca huésped de cromitas. Dichos afloramientos corresponden a la parte norte de un "cinturón serpentinitico" que se emplaza en el Basamento Metamórfico, entre las provincias de Arauco y Llanquihue.
2. La roca huésped de la cromita es una serpentinita constituida por antigorita, con cantidades menores de talco. El predominio de antigorita indicaría que la serpentización se produjo a presión y temperatura altas ($T = 500^{\circ}\text{C}$; $P > 500 \text{ atm}$); propia de cuerpos ultramáficos de tipo alpino.
3. La cromita se presenta compacta, en bandas y diseminada. La estructura de los cuerpos de cromita es irregular, tipo podiforme.
4. El mineral de cromita tiene leyes promedio de Cr_2O_3 : 43,65%; FeO (total): 35,33%; Al_2O_3 : 11,00%; MgO : 6,18% y MnO : 1,50%, semejando, en su composición, a las cromitas de la costa del Pacífico de los Estados Unidos. Las cromitas muestran bandas de alteración (ferrocromita) alrededor de un núcleo principal (host-cromita). Este halo se caracteriza por el incremento de Fe y Cr, valores constantes de Mg y déficit de Al. La alteración de la cromita se considera, tentativamente, relacionada con el proceso de serpentización.
5. Las características químicas de las cromitas estudiadas, como el medio ambiente geológico en que están emplazadas, permite recomendar la continuación de su exploración. Se debe considerar, entre otras, la aplicación de técnicas geofísicas tales como gravimetría, muestreo geoquímico de suelos, etc. La información que se obtenga facilitará la ubicación de sondajes y/o labores mineras de exploración.

AGRADECIMIENTOS

El autor agradece al Prof. Dr. A. Sugaki el haberlo guiado y autorizado a trabajar con los equipos disponibles en el Instituto de Mineralogía, Petrología y Geología Económica, Facultad de Ciencias, Universidad de Tohoku, Sendai, Japón. Las determinaciones mediante microsonda electrónica fueron hechas por el Dr. A. Kitakase.

Los agradecimientos se hacen extensivos al Dr. K. Hayashi por los múltiples consejos dados durante el desarrollo de este estudio, como asimismo a los otros miembros del Instituto de Mineralogía, Petrología y Geología Económica de la Universidad de Tohoku.

REFERENCIAS

- ALFARO, G.** 1979. Síntesis sobre la exploración de minerales asociados a rocas básicas y ultrabásicas en la Cordillera de la Costa Sur. Inst. Invest. Geol. (inédito), 36 p. Santiago.
- AGUIRRE, L.; HERVE, F.; GODOY, E.** 1972. Distribution of metamorphic facies in Chile. An outline. *Kristalinikum*, No. 9 p. 7-19.
- ALVAREZ, O.** 1970. Estudio geológico de los yacimientos de hierro de la Cordillera de Nahuelbuta, Provincias de Arauco, Malleco y Cautín. Memoria de Título, Univ. Chile, Depto. Geol., 2 Vols. Santiago.
- ALVAREZ, O.; RIVERA, A.** 1970. Informe preliminar de la primera etapa de estudios de anomalías magnéticas y radiométricas detectadas en la región de la Cordillera de la Costa, entre el río Imperial y el extremo sur de la Isla de Chiloé. Inst. Invest. Geol. (inédito), 25 p. Santiago.
- COLEMAN, R.G.** 1971. Petrologic and geophysical nature of serpentinites. *Geol. Soc. Am., Bull.*, Vol. 82, No. 4, p. 897-918.
- CRUZAT, A.** 1976. Informe preliminar, prospección geoquímica de la Cordillera de la Costa entre las latitudes 38° y 41°30'S. Inst. Invest. Geol. (inédito), 35 p. Santiago.
- GONZALEZ-BONORINO, F.** 1970. Series metamórficas del basamento cristalino de la Cordillera de la Costa, Chile Central. Univ. Chile, Depto. Geol., Publ., No. 37, 68 p.
- HERVE, F.** 1975. Petrology of the crystalline basement of the Nahuelbuta Mountains, South-Central Chile. Ph. D. Thesis, Univ. Hokkaido, Japan.
- INSTITUTO DE INVESTIGACIONES GEOLOGICAS** 1968. Mapa geológico de Chile, escala 1:1.000.000. 7 hojas. Santiago.
- ILLIES, H.** 1970. Geología de los alrededores de Valdivia y volcanismo y tectónica en márgenes del Pacífico en Chile Meridional. Univ. Austral. (Chile), Inst. Geol. y Geogr., 64 p. Valdivia.
- MOODY, J.B.** 1976. Serpentinization: a review. *Lithos*, No. 9, p. 125-138.
- STATON, R.L.** 1973. *One petrology*, McGraw-Hill Book Co., New York.
- STEVENS, R.E.** 1944. Composition of some chromite of Western Hemisphere. *Am. Mineral.*, Vol. 29, p. 29-34.
- THAYER, T.P.** 1946. Preliminary chemical correlation of chromite with the containing rocks. *Econ. Geol.*, Vol. 41, No. 3, p. 191-217.
- THAYER, T.P.** 1956. Mineralogy and geology of Chromium. *In Chromium*, Am. Chem. Soc., Vol. 132, p. 14-52.
- VERGARA, L.** 1970. Prospección de yacimientos de cromo y hierro en La Cabaña, Cautín. Memoria de Título, Univ. Chile, Depto. Geol., 96 p. Santiago.
- WITTAKER, E.J.; ZUSSMANN, J.** 1956. The characterization of the serpentine minerals by X-ray diffraction. *Min. Mag.*, Vol. 30, p. 107-126.