

## EL BASAMENTO CRISTALINO DE LA SIERRA LIMÓN VERDE, II REGION DE ANTOFAGASTA: CONSIDERACIONES GENÉTICAS

LUIS BAEZA A.

Departamento de Geociencias, Universidad del Norte, Casilla 1280, Antofagasta, Chile.

RAUL VENEGAS C.

### RESUMEN

El basamento cristalino de Sierra Limón Verde, Antofagasta, está representado por dos unidades litológicas: 1) La Serie Metamórfica de Aguada Limón Verde y, 2) El Complejo Plutónico de Sierra Limón Verde. La Serie Metamórfica está constituida por una alternancia de esquistos micáceos, anfíbolitas y cuarcitas subordinadas. Las asociaciones minerales presentes, sobre todo en las metabasitas, indican condiciones de metamorfismo cercanas a la facies de anfíbolitas y un gradiente P/T intermedio. El Complejo Plutónico, de probable edad paleozoica superior, está formado por una asociación de rocas de emplazamiento múltiple y sucesivo (dioritas → granodioritas → granitos), productos de una evidente variación de la composición del magmatismo plutónico en el tiempo. Se observa un paralelismo entre las tendencias generales de ejes de pliegues de las metamorfitas y estructuras de flujo reconocidas en las plutonitas, relación que sugiere cierta contemporaneidad entre los eventos tectónicos y plutónicos.

### ABSTRACT

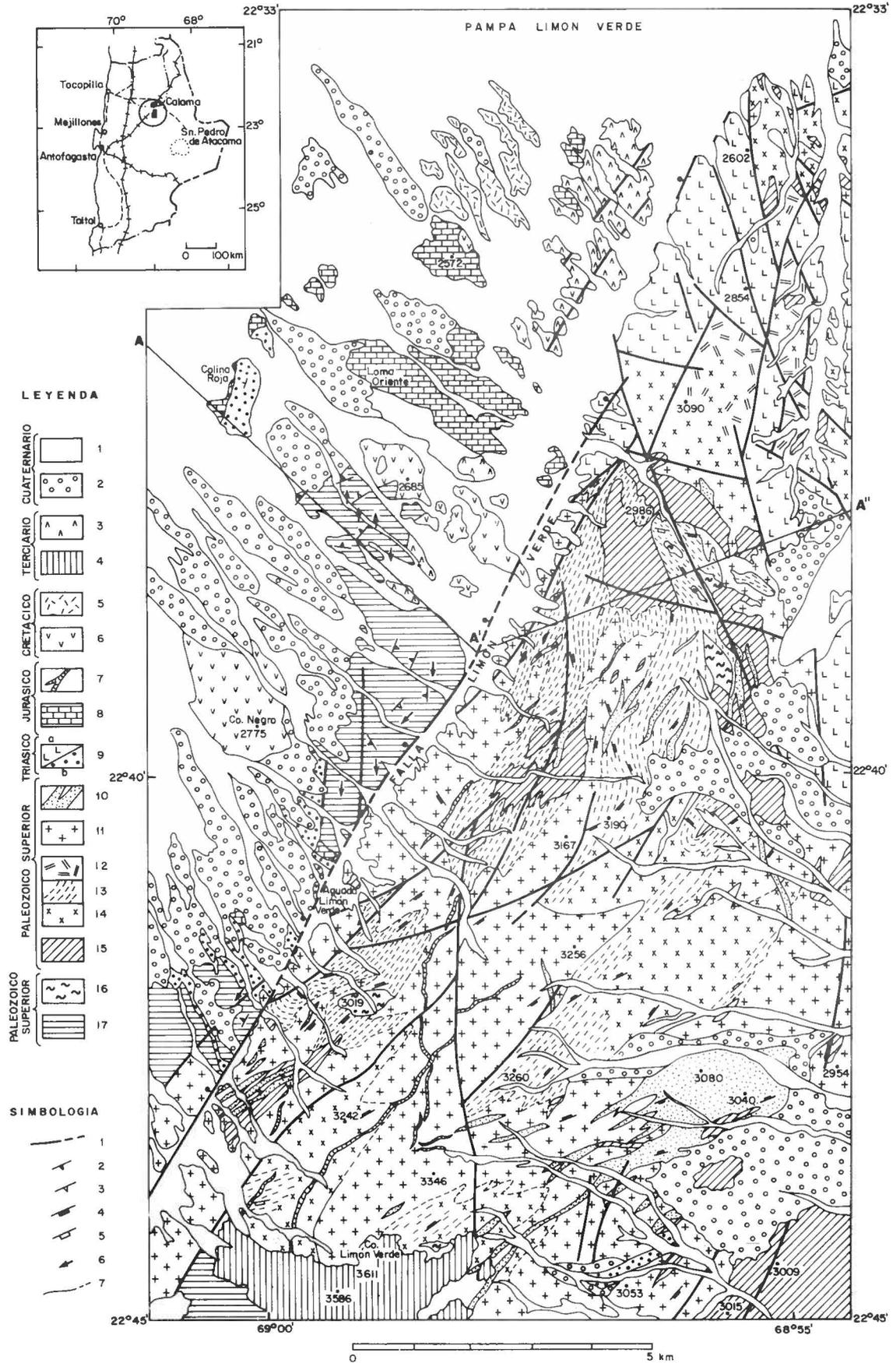
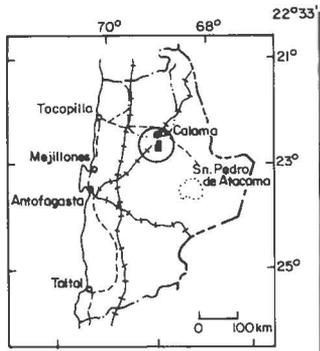
The crystalline basement of Sierra Limón Verde, Antofagasta, is made up by two series of rocks: 1) The Metamorphic Series of Aguada Limón Verde, and 2) The Limón Verde Plutonic Complex. The Metamorphic Series are composed of mica-schists, amphibolites and, to lesser extent, quartzites. Mineral associations in metabasic rocks suggest intermediate P/T (amphibolite facies) metamorphic conditions. The Plutonic Complex (probably of an Upper Paleozoic age) was produced by multiple and successive intrusions of diorite, granodiorite and granite. The parallelism shown by fold axes in the Metamorphic Series and magmatic foliation in the Plutonic Complex, suggest synchronism between tectonic and plutonic events.

### INTRODUCCION

En este trabajo, se presentan los resultados de las primeras investigaciones realizadas por los autores en el área de Sierra Limón Verde, durante los años 1980 y 1981. En esta zona afloran, en forma extensa, asociaciones de rocas metamórficas, del tipo esquistos micáceos y anfíbolitas, y rocas plutónicas, dioríticas a graníticas, pre-mesozoicas. El principal objetivo de este trabajo está orientado a la caracterización petrográfica y estructural de las rocas mencionadas, como, asimismo, adelantar algunas ideas respecto de su petrología y deformación. De esta manera, se espera aportar nuevos antecedentes al conocimiento de los terrenos pre-

andinos del norte de Chile los que, en general, están poco estudiados.

Sierra Limón Verde se ubica en la parte central-norte de la Segunda Región de Antofagasta, aproximadamente 25 km al sur de la ciudad de Calama (Fig. 1). Es un cordón orográfico de dirección NNE de topografía abrupta e irregular. Las menores altitudes se encuentran en su extremo norte, en Pampa Limón Verde (2.500 m s.n.m.) y aumentan progresivamente hacia el sur, alcanzando su mayor expresión en el cerro Limón Verde (3.611 m s.n.m.).

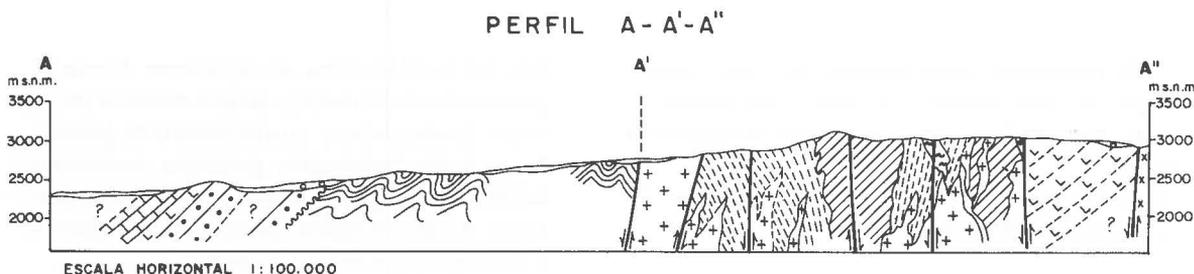


LEYENDA

- 1 [Blank box]
  - 2 [Dotted pattern]
  - 3 [Pattern with 'A' characters]
  - 4 [Vertical line pattern]
  - 5 [Diagonal line pattern (top-left to bottom-right)]
  - 6 [Diagonal line pattern (top-right to bottom-left)]
  - 7 [Pattern with 'V' characters]
  - 8 [Horizontal line pattern]
  - 9 [Pattern with 'L' and 'b' characters]
  - 10 [Pattern with '+' characters]
  - 11 [Pattern with '+' characters]
  - 12 [Pattern with '+' characters]
  - 13 [Pattern with '+' characters]
  - 14 [Pattern with '+' characters]
  - 15 [Pattern with '+' characters]
  - 16 [Pattern with '+' characters]
  - 17 [Pattern with '+' characters]
- CUATERNARIO  
 TERCARIO  
 CRETACICO  
 JURASICO  
 TRIASICO  
 PALEOZOICO SUPERIOR

- 1 [Dashed line]
  - 2 [Arrow pointing up-right]
  - 3 [Arrow pointing up-left]
  - 4 [Arrow pointing down-left]
  - 5 [Arrow pointing down-right]
  - 6 [Arrow pointing up-right]
  - 7 [Arrow pointing up-left]
- SIMBOLOGIA

FIG. 1. Mapa geológico de Sierra Limón Verde. 1. Depósitos aluviales no consolidados más recientes; 2. Depósitos coluviales aterrazados del Cuaternario antiguo; 3. Rocas volcánicas vítreas, andesíticas a riolíticas; 4. Sienitoides del Cretácico Superior (?); 5. Rocas volcánicas andesíticas de Cerro Negro (Cretácico Superior); 6. Diques diabásico-andesíticos; 7. Sedimentitas marinas de Loma Oriente (Jurásico Inferior); 8. Secuencia volcanoclástica continental. Areniscas, conglomerados, brechas, en parte intercaladas con dacitas y andesitas; 9. Diques y cuerpos graníticos de grano fino (aplitas); 10. Granitos de biotita, macizos, equigranulares de grano grueso y, en parte, con foliación fluidal; 11. Granodioritas porfídicas de biotita-hornblenda; 12. Tonalitas a granodioritas tajeadas de biotita-hornblenda de grano medio, con foliación fluidal; 13. Granodioritas de biotita-hornblenda macizas, equigranulares, de grano medio a grueso; 14. Dioritas de anfíbola macizas, porfídicas a equigranulares y de grano fino a grueso. Frecuentemente se presentan invadidas por venas y diques graníticos; 15. Cuerpos anfibolíticos de grano fino, biotizados y migmatizados; 16. Alternancia de equistos micáceos y anfibolitas granitíferas con cuarcitas subordinadas.



Los trabajos anteriores son escasos, en general corresponden a breves reconocimientos geológicos, anexados a estudios más amplios. El primero de ellos pertenece a Harrington (1961) quién, en observaciones realizadas en la Provincia de Antofagasta, describió los afloramientos de micacitas y neises, de Sierra Limón Verde, aparentemente, cubiertos por rocas triásicas, a los que asignó una edad precámbrica en comparación con rocas del noroeste argentino. En el sector de Moctezuma, prolongación norte de Sierra Limón Verde, Pérez y Levi (1961) informaron del hallazgo de una serie

sedimentaria y volcánica, continental, de probable edad triásica y de sedimentitas marinas, liásicas, que sobreyacen, en discordancia de erosión, a rocas graníticas atribuidas al Paleozoico superior. Posteriormente, Baeza (1976), en un estudio regional de la zona de Cerritos Bayos y áreas adyacentes, indicó que, en el borde occidental de Sierra Limón Verde, aparece expuesta una serie metamórfica, constituida por esquistos y anfibolitas, de probable edad paleozoica inferior, intruida por un batolito granítico, atribuido al Paleozoico superior.

### MARCO GEOLOGICO

El basamento cristalino de Sierra Limón Verde, la unidad más antigua y de mayor distribución areal de la zona estudiada, está representada por dos grupos de rocas: una Serie Metamórfica, formada en su mayor parte por esquistos micáceos y anfibolitas, y un Complejo Plutónico, asignado al Paleozoico superior (Baeza, 1976), compuesto por dioritas, granodioritas, tonalitas y granitos (Fig. 1). Las relaciones entre estos dos conjuntos no es del todo clara, ya que sólo se muestran en contacto tectónico (Falla Limón Verde).

En la zona occidental de la sierra, el basamento está cubierto por rocas estratificadas, mesozoicas. El Triásico está representado por casi 1.000 m de

brechas, areniscas rojas, andesitas y dacitas (Harrington, 1961; Pérez y Levi, 1961; Baeza, 1976), las que infrayacen, discordantemente, a sedimentitas marinas, liásicas, constituidas por 300 m de lutitas, calcilitas y calcarenitas. En Cerro Negro y al sur de Loma Oriente afloran, en forma aislada, volcanitas andesíticas, probablemente cretácicas, las que son cubiertas, discordantemente, en el extremo noroccidental del área, por delgados niveles subhorizontales de tobas y andesitas vítreas, asignadas tentativamente al Terciario superior (Baeza, 1976).

El basamento pre-mesozoico es intruido por un gran número de diques máficos, de orientación

preferencial variable entre NNE y NW. Estos diques, al parecer, no afectan a las series mesozoicas, por lo que es posible asignarles una edad pre-triásica. En los alrededores de Cerro Limón Verde, tanto las metamorfitas como las plutonitas son intruidas por granitoides porfídicos, asignados en forma tentativa al Terciario.

Importantes fallas de tipo normal, tales como la "Falla Limón Verde", limitan los flancos de la sierra, afectando inclusive, en algunos sectores, los depósitos sedimentarios aterrizados del Cenozoico superior. El sistema de fallas principal, de rumbo NNE, se presenta desplazado por fallas de dirección noroeste.

## ROCAS METAMORFICAS Y PLUTONICAS PRE-MESOZOICAS DE LA SIERRA LIMON VERDE

El basamento pre-mesozoico de Sierra Limón Verde ha sido dividido, en base a sus características petrográficas, en dos grupos litológicos, a saber:

1. Serie Metamórfica de Aguada Limón Verde.
2. Complejo Plutónico de Sierra Limón Verde.

### SERIE METAMORFICA DE AGUADA LIMON VERDE

La serie metamórfica de Aguada Limón Verde está formada por alternancias de esquistos micáceos y anfibolitas, junto a cantidades subordinadas de cuarcitas, en niveles de espesores variables entre algunos centímetros y 3 m.

Los esquistos predominan en la parte norte, mientras que, hacia el sur, lo hacen las anfibolitas. En el sector central y sur de la sierra, bloques anfibolíticos, de algunos centenares de metros, están incluidos e invadidos por rocas del Complejo Plutónico. Aunque se presentan parcialmente recristalizados a biotita, conservan rasgos de foliación, por lo que son interpretados como restos de metabasitas de la serie metamórfica aquí tratada (Fig. 1).

#### Petrografía

- Los esquistos son rocas pardo-amarillentas, de grano medio, foliadas y/o bandeadas. Las bandas, por lo general, de un ancho no superior a 5 cm, poseen alternadamente, tonos oscuros y claros, dependiendo de la predominancia de minerales máficos y félsicos. Las bandas oscuras están constituidas, principalmente, por biotita, asociada a cantidades menores de cuarzo, y muscovita, en arreglos lepidoblásticos. En cam-

bio, las bandas claras se encuentran formadas por cuarzo xenoblástico, junto a menores cantidades de muscovita y porfidoblastos de granate, los que, frecuentemente, presentan abundantes inclusiones de rutilo. De acuerdo con su mineralogía, el tipo litológico más común corresponde a un esquisto micáceo con granate.

- Las anfibolitas son rocas gris-verdosas oscuras, foliadas, y de grano medio. Sus minerales más abundantes son hornblenda verde y oligoclasa, con un desarrollo textural nematoblástico. En menor proporción se encuentran biotita, esfeno, clinzoicita, y porfidoblastos de granate y zoicita. De acuerdo con su composición, los tipos litológicos más frecuentes pueden ser clasificados como anfibolitas de granate y/o zoicita.
- Las cuarcitas son rocas grises claras, macizas y de grano medio a fino; están compuestas por abundante cuarzo xenoblástico, de fuerte extinción ondulosa, además de minerales micáceos en cantidades muy subordinadas.

Considerando la asociación mineralógica presente, los esquistos y cuarcitas micáceos pueden ser relacionados con un protolito sedimentario, pelítico-psamítico, mientras que las anfibolitas, con rocas ígneas, efusivas o filonianas, básicas.

#### Características estructurales

Los principales rasgos estructurales corresponden a una marcada foliación, pliegues de orden menor y un espaciado clivaje de fractura.

La foliación principal ( $S_1$ ) sigue la tendencia orientada y el bandeamiento de los constituyentes minerales, y es paralela a las superficies de contacto entre los niveles de esquistos-cuarcitas y esquistos-anfibolitas (antiguo  $S_0$ ?). La foliación está irre-

gularmente deformada por pliegues centimétricos a decimétricos, cuyos ejes presentan un rumbo preferencial NNE-SSW y buzamientos variables entre 5-30° S. Tendencias similares fueron establecidas para los ejes b resultantes del análisis estadístico de los planos de foliación (Fig. 2). Esta segunda deformación sería post-mineral, como lo demuestra la deformación y rotación que sufren, en las zonas de charnela, tanto los minerales micáceos como los granates de los esquistos.

Paralelo al plano axial de estos pliegues, aparece un clivaje de fractura ( $S_2$ ), bien desarrollado en los niveles esquistosos. Este clivaje deforma los minerales micáceos, que siguen a  $S_1$ , sin mostrar evidencias de crecimiento neomineral.

#### Asociaciones mineralógicas y condiciones de metamorfismo

Las asociaciones minerales determinadas para los principales tipos litológicos son:

**en esquistos micáceos:** cuarzo + biotita + muscovita ± granate ± esfeno.

**en metabasitas:** hornblenda + oligoclasa ± granate ± zoicita ± clinozoicita ± esfeno.

La presencia de hornblenda, granate y, sobre todo, de oligoclasa, en las anfibolitas, constituye argumento suficiente para limitar las condiciones metamórficas a las facies de anfibolita en el sentido de Turner (1981), o al grado metamórfico medio, según la división propuesta por Winkler (1976). Hervé (1982) y Baeza (1984), mediante análisis químicos realizados en anfíbolos de metabasitas de Limón Verde, sugirieron un metamorfismo relacionado con un gradiente de P/T intermedio y una presión cercana a los 5 kb.

Por otra parte, resulta importante señalar la presencia de porfiroblastos atectónicos de andalucita, en los afloramientos de esquistos más cercanos al Complejo Plutónico (sector de Aguada Limón Verde), lo que permite interpretar la existencia de una delgada aureola de contacto sobrepuesta al metamorfismo regional (Baeza, 1984).

### COMPLEJO PLUTONICO DE SIERRA LIMON VERDE

El Complejo Plutónico de Sierra Limón Verde se define como una asociación de rocas intrusivas, cuya composición varía entre dioritas y granitos (Fig. 4).

Considerando la composición y modo de ocurrencia de los distintos cuerpos plutónicos, es posible diferenciar, de más antiguos a más jóvenes, los cuatro grupos litológicos siguientes (Fig. 1):

- Dioritas y enclaves gábricos.
- Granodioritas y tonalitas.
- Granitos de grano grueso.
- Granitos de grano fino.

#### Dioritas y enclaves gábricos

Cuerpos dioríticos, de formas irregulares y de hasta 1-2 km de largo, junto a esporádicos enclaves gábricos de reducido tamaño, se reconocen a todo lo largo de la sierra. Esta asociación está invadida y desmembrada por los materiales graníticos posteriores, con los cuales muestra contactos tajantes y/o gradacionales.

Al microscopio, las rocas dioríticas se componen, principalmente, de plagioclasa ( $An_{45-35}$ ) y

hornblenda verde, poiquilítica, cuyos contornos cristalinos pertenecen, en muchos casos, a formas idiomórficas, heredadas de antiguos piroxenos. En

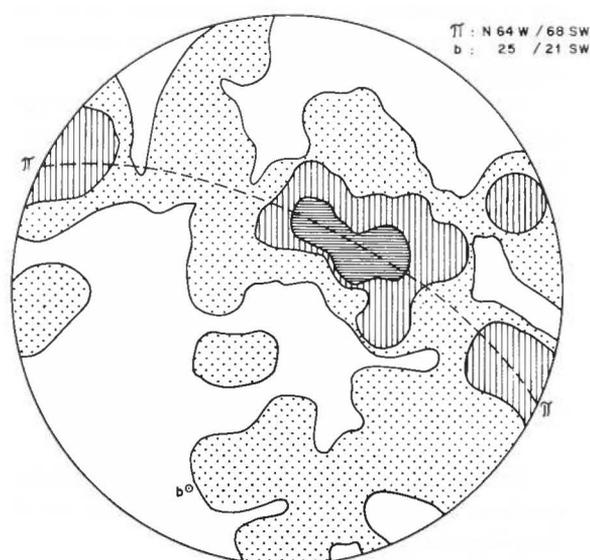


FIG. 2. Diagrama de los planos de foliación  $S_1$  en esquistos y anfibolitas de Sierra Limón Verde. 72 elementos. Contornos a 1%, 4% y 8%.

TABLA 1. ANALISIS MODALES DE LA SERIE PLUTONICA DE SIERRA LIMON VERDE

No. MUESTRA	1 ROCAS DIORITICAS						2 ROCAS GRANODIORITICAS						3 ROCAS GRANITICAS TEMPRANAS			4 ROCAS GRANITICAS TARDIAS							
	1A		1B		2A		2B		2C		3A			4A		4B							
	506	519	551	618	635	600	628	30	36	37	155	237	254	265	156	157	185	26	593	627	631	633	634
Cuarzo	0,9	1,2	4,1	10,0	3,7	18,3	22,2	15,1	36,5	14,6	16,8	29,4	32,0	29,0	20,9	14,3	19,0	26,2	44,7	47,1	36,3	37,4	28,1
Plagioclasa	51,1	45,7	31,2	50,0	56,1	51,3	46,9	60,9	48,7	55,2	55,8	51,5	49,8	41,6	52,1	66,4	61,3	33,0	22,9	26,3	19,3	24,1	35,0
Feldespato alcalino	-	-	-	0,1	5,8	19,0	20,3	1,8	1,0	1,1	2,3	7,0	3,2	10,2	19,6	13,2	12,4	33,3	24,4	24,4	43,9	37,0	33,4
Biotita	-	-	-	2,9	9,9	5,6	7,5	16,1	0,6	6,0	-	10,4	8,8	12,1	4,8	3,4	4,4	7,1	2,1	2,1	-	0,2	2,4
Hornblenda	43,6	29,3	55,3	34,3	19,6	4,0	1,3	2,1	5,6	20,0	15,1	0,6	4,8	4,5	1,0	0,4	0,3	-	-	-	-	-	-
Muscovita	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,2	0,7
Actinolita	1,4	12,9	0,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Epidota-clorita	2,3	8,3	6,5	1,3	-	-	-	1,8	5,3	1,3	6,9	-	0,7	0,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Esfeno	-	-	0,2	-	0,4	0,5	0,2	0,3	0,1	0,1	0,4	-	0,2	0,8	-	0,3	-	-	-	-	-	-	-
Apatita	-	-	-	0,7	0,7	0,1	0,3	-	0,3	0,2	0,2	-	0,1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,2
Minerales opacos	0,3	0,3	0,9	1,4	3,8	0,6	1,5	1,2	2,2	1,4	2,5	0,9	0,5	1,2	1,6	2,0	2,6	0,4	0,3	0,1	0,3	0,6	0,9
Calcita	0,4	2,3	1,3	-	-	-	-	0,4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Allanita	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,1	-	-	-	-
IC: 100 · total félsicos	47,6	50,8	63,4	39,9	34,4	11,4	10,6	22,2	13,8	29,1	25,1	12,1	15,0	19,2	7,4	6,1	7,3	7,5	2,8	2,2	0,3	0,8	3,5
IS: Qz x 100/Qz + total feldesp.	1,8	2,6	13,1	20,0	6,0	26,0	33,0	24,1	42,3	25,9	28,9	50,3	60,4	56,0	29,1	18,0	25,8	39,5	85,1	93,0	57,4	61,2	41,1

1A: Diorita de hornblenda

1B: Diorita cuarcífera de hornblenda

2A: Granodiorita equigranular de biotita hornblenda

2B: Tonalitas y granodiorita fajeadas

2C: Granodiorita porfídica

3A: Granito grueso de biotita

4A: Granito aplítico de biotita

4B: Granito aplítico de biotita

cantidades muy inferiores, y ocupando espacios intersticiales, se encuentran cuarzo y microclina, los que, además, suelen reemplazar los bordes y planos de clivaje de las plagioclasas. Modalmente, estas rocas pueden ser clasificadas como dioritas (en parte melanodioritas) y dioritas cuarcíferas de hornblenda (Tabla 1; Fig. 3). Los enclaves gábricos son rocas oscuras, de grano grueso, caracterizadas por el predominio de grandes cristales de piroxeno anfibolitizado sobre la plagioclasa, en este caso subidiomórfica e intersticial.

Ligados a la acción magmática posterior, se han desarrollado fenómenos de recristalización e hidrotermalismo, los que han provocado la alteración, en distintos grados, de los minerales primarios. Así, la plagioclasa se presenta alterada a sericita y epidota, mientras que la hornblenda, a biotita, actinolita y clorita, acompañadas, en ocasiones, por calcita y esfeno.

### Granodioritas y tonalitas

Este grupo litológico constituye, después de los granitos, el tipo de rocas más abundante en el Complejo Plutónico.

El tipo petrográfico dominante corresponde a una granodiorita de biotita-hornblenda, cuyos afloramientos se distribuyen, principalmente, en los flancos orientales de la sierra. Estas rocas pre-

sentan colores gris-verdosos claros y textura equigranular, de grano medio a grueso, y suelen incorporar abundantes inclusiones dioríticas y anfibólicas.

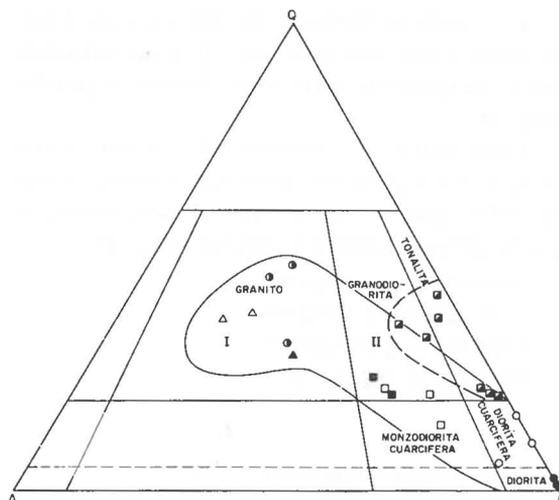


FIG. 3. Diagrama QAP de rocas plutónicas de Sierra Limón Verde. Límite de campos según Streckeisen (1976). Rocas dioríticas: ● diorita; ○ diorita cuarcífera; Rocas granodioríticas: ■ granodioritas equigranular; □ tonalitas y granodioritas fajeadas; □ granodiorita porfídica; Rocas graníticas tempranas: ○ granito grueso de biotita; Rocas graníticas tardías: △ granito aplítico de biotita; △ granito aplítico de biotita-muscovita. Explicación en texto.

ticas de variado tamaño (hasta un 10% del volumen total). Mineralógicamente, y en orden de abundancia, se componen de plagioclasa ( $An_{32-30}$ ) con leve zonación, cuarzo xenomórfico, microclina, biotita y hornblenda verde. Es común la presencia de entrecrecimientos finos, de cuarzo vernicular y feldespato, en los bordes de los cristales de plagioclasa. Los minerales accesorios corresponden a magnetita, apatita y esfeno (Tabla 1; Fig. 3). La plagioclasa se presenta parcialmente alterada a una asociación fina de sericita-pistacita, mientras que los ferromagnesianos, a clorita-pistacita.

En las cercanías de Quebrada Moctezuma, la textura equigranular varía gradacionalmente a texturas porfídicas, y la composición cambia, a monzonitas cuaríferas de biotita-hornblenda. Los fenocristales están representados, de mayor a menor, por plagioclasa idiomórfica ( $An_{30-25}$ ) de hasta 5 mm de largo, cuarzo, biotita y hornblenda verde. La masa fundamental está formada por arreglos micrográficos, de cuarzo y feldespato alcalino, además de cantidades subordinadas de biotita y plagioclasa. La plagioclasa, por lo general, se presenta alterada, levemente, a sericita y epidota, mientras que los máficos, a clorita (Tabla 1).

En la zona central de Sierra Limón Verde, el material granodiorítico macizo transforma, en los contactos con bloques dioríticos y/o anfibolíticos más antiguos, a rocas de mezcla con estructura laminada fluidal (migmatitas). Estas rocas, heterogéneas, muestran alternancias de bandas oscuras y claras de hasta 20 cm de espesor. Las bandas oscuras corresponden a inclusiones dioríticas y/o anfibolíticas alargadas, reorientadas y de bordes intensamente corroídos, las que, incluso, se transforman en cúmulos nebulosos, cuando la asimilación es más avanzada (estructuras nebulíticas según los criterios de Mehnert, 1968). Las bandas claras son granodioritas a tonalitas de hornblenda-biotita, con frecuentes desarrollos orientados, de tramas hipidiomórficas a xenomórficas. Mineralógicamente, están constituidas por plagioclasa ( $An_{32-28}$ ) y cuarzo xenomórfico, fuertemente ondulado, además de feldespato alcalino (principalmente microclina), biotita y hornblenda verde. Como accesorios comunes, se presentan minerales opacos, esfeno, allanita y apatita (Tabla 1; Fig. 3). La plagioclasa y el cuarzo constituyen cristales de formas globosas, con bordes desgastados y evidencias de fracturamiento. Los cristales de hornblenda,

por lo general prismáticos, suelen presentar inclusiones finas de cuarzo y/o plagioclasa, a manera similar como ocurre en las rocas máficas intruidas. Los minerales secundarios más frecuentes son: sericita, como reemplazo de los feldespatos, y epidota y clorita, como productos de alteración de minerales oscuros.

### Granitos de grano grueso

Constituyen el tipo litológico de mayor distribución areal, que abarca la parte sur y parte del flanco suroccidental de Sierra Limón Verde.

Los granitos son rocas claras, equigranulares y de grano grueso, que, en parte, presentan una leve apariencia néisica, relacionada a cierta disposición orientada de sus minerales oscuros. Hacia la zona de contacto con rocas de emplazamiento anterior, es frecuente observar un aumento de los rasgos néisicos e incremento de inclusiones máficas.

Microscópicamente, las rocas graníticas gruesas presentan texturas hipidiomórficas levemente orientadas y sus constituyentes minerales, son, en orden de abundancia, cuarzo, feldespato alcalino (microclina pertítica), plagioclasa ( $An_{26-22}$ ) y biotita, en escamas suborientadas. Como accesorios principales se presentan minerales opacos y allanita (Tabla 1). El cuarzo, de fuerte extinción ondulosa, suele constituir megacristales xenomórficos. Los minerales secundarios más frecuentes son sericita, como alteración parcial de plagioclasa, y clorita, como alteración de biotita. Modalmente, son clasificadas como granitos de biotita (Fig. 3).

### Granitos de grano fino

Este grupo litológico está constituido por rocas graníticas de grano fino, que cortan todas las plutonitas anteriores. Se disponen, regularmente, como filones de espesores variables entre 5 cm y 20 m, o como cuerpos intrusivos, fusiformes, de hasta 1 km de largo y algunas centenas de metros de espesor.

Son rocas hololeucocráticas (IC: 3,6-0,3), de texturas hipidiomórficas o aplíticas, compuestas por abundante cuarzo y microclina micropertítica, asociadas con cantidades menores de plagioclasa ( $An_{22-18}$ ), escasa biotita y muscovita. Los minerales accesorios comunes son opacos y esfeno (Tabla 1). En algunas variedades porfídicas, los

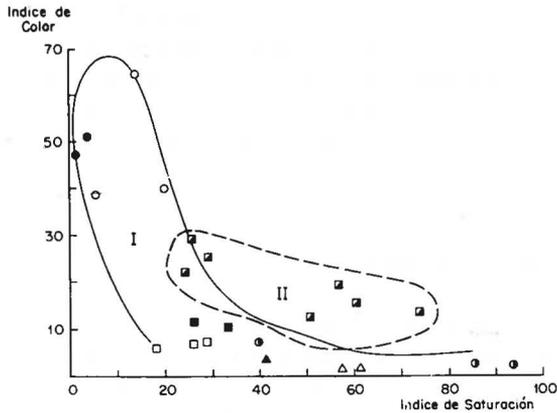


FIG. 4. Tendencias de la composición mineral de las rocas plutónicas de Sierra Limón Verde, según diagrama IC/IS. Explicación en el texto.  
 Índice de Color:  $100 - \text{total mfn. Félsicos}$   
 Índice de Saturación:  $\frac{\text{cuarzo} \times 100}{\text{cuarzo} \times \text{total feldespatos}}$

fenocristales principales son cuarzo policristalino y ortoclasa perfitica. Modalmente, corresponden a granitos de biotita-muscovita (Fig. 4). Se agregan, también, a este grupo litológico, filones pegmatíticos de grano muy basto, formados, en su mayoría, por cuarzo y microclina, además de biotita en cantidades subordinadas.

#### CARACTERISTICAS ESTRUCTURALES DE LAS ROCAS PLUTONICAS

Los rasgos estructurales más importantes, conectados con las rocas plutónicas, son los contactos intrusivos, tajantes y gradacionales, estructuras relacionadas con el flujo magmático, inclusiones de variada forma y estrechas zonas cataclásticas, ligadas a fallas.

Los contactos gradacionales ocurren, principalmente, entre los bloques (inclusiones) diorítico-anfibolíticos y las plutonitas granodioríticas. Las granodioritas homogéneas se transforman paulatinamente, hacia la zona de contacto, en rocas de mezcla, con abundantes inclusiones oscuras de formas alargadas, dispuestas en una masa de fondo leucocrática (zona de tonalitas y granodioritas bandeadas; Fig. 1). Tanto las dioritas como las granodioritas están surcadas por venas graníticas, de grano grueso, y filones de grano fino, que muestran con ellas contactos nítidos y tajantes.

En las granodioritas, tonalitas y granitos (zonas de borde de los plutones), existe una marcada orientación de los minerales e inclusiones oscuras. Esta orientación genera una estructura planar de apariencia néisica, de rumbo general NNE y fuerte inclinación al este (Fig. 1), la cual se atribuye a movimientos magmáticos póstumos, producidos durante etapas fini-cristalinas. Estos efectos serían responsables, además, de las reorientaciones y microdeformaciones mostradas por los minerales de cristalización más temprana, como la hornblenda y la biotita, además de la protoclasia y fuerte extinción ondulosa mostrada por el cuarzo.

Inclusiones menores, de variada forma y composición, son frecuentes en las rocas intrusivas. En las dioritas, es común la presencia de xenolitos, aproximadamente equidimensionales y redondeados, de rocas gábricas, anfibolitizadas. En cambio, en las granodioritas y granitos se reconocen enclaves dioríticos y anfibolíticos, con formas equidimensionales, de bordes redondeados y nítidos, hasta inequidimensionales, con bordes difusos (estructuras de "Schlieren").

La abundancia de inclusiones es también variable. En las granodioritas y granitos, por ejemplo, resulta normal un contenido de 1-3%, mientras que en las tonalitas y granodioritas bandeadas, las inclusiones alcanzan fácilmente el 50% del volumen total de la roca.

Estrechas franjas de brechas cataclásticas son reconocidas en zonas ligadas a fallas. En esas zonas, los materiales graníticos están fragmentados y reducidos a clastos, de diámetro variable entre 10 y 20 cm, inmersos en una fina matriz cuarzo-feldespática.

#### CONSIDERACIONES PETROLOGICAS

El mapeo detallado de las relaciones de intrusión, los modos de ocurrencia y el estudio mineralógico de las distintas unidades de rocas plutónicas, permiten señalar que éstas se emplazaron en la forma de intrusiones múltiples y sucesivas. De esta manera, y en orden cronológico, es posible reconocer al menos tres etapas de emplazamiento:

**Etapas**  
 Etapa 1. Emplazamiento de dioritas y melanodioritas, con incorporación de enclaves gábricos. Los enclaves representarían, aparentemente, vestigios de un magmatismo precedente, más básico.

Etapas  
 Etapa 2. Emplazamiento de granodioritas de grano

grueso a medio, con gradaciones a tipos porfídicos, dentro de las cuales quedaron, como inclusiones, bloques de dioritas y anfibolitas. Hacia los contactos, las granodioritas se transforman en rocas bandeadas, producto de la incorporación de abundantes inclusiones oscuras, orientadas en la dirección de los movimientos magmáticos póstumos.

**Etapa 3.** Emplazamiento de granitos de grano grueso, ricos en biotita y microclina. Diferenciados leucograníticos, más tardíos, están representados por numerosos filones aplíticos de biotita y muscovita.

El orden de emplazamiento demuestra una clara evolución composicional del magmatismo en el tiempo, concordando tanto con el "trend" de variación señalado en el diagrama AQP de la figura 3 (Area 1) como en la relación IC/IS de la figura 4 (Area 1). En los diagramas mencionados, las rocas granodioríticas y tonalitas bandeadas (Area 2), ocupan una posición intermedia y algo desplazada con respecto al "trend" principal, lo que está de acuerdo con su carácter de rocas de mezcla (migmatitas). Por otra parte, el emplazamiento posterior de granodioritas y granitos produce, en las dioritas anteriores, una fuerte anfibolitización y biotitización de los piroxenos originales, como también una fuerte alteración deutérica, represen-

tada por la asociación actinolita-clorita-epidota-sericitita.

El nivel de emplazamiento, por lo menos del material granítico, puede definirse como profundo, tal como lo demuestra la presencia de microclina; feldespato estable, sólo a bajas temperaturas y presiones relativamente altas (bajo los 550°C y sobre 5 kb; Yund, 1975).

Como los terrenos metamórficos y plutónicos se presentan separados por la Falla Limón Verde, no es posible indicar si las metamorfitas representan las rocas encajadoras del plutonismo. Sin embargo, tanto la presencia de inclusiones anfibolíticas, en los granitos y granodioritas, como el desarrollo de una aureola de contacto en las metamorfitas más cercanas, constituyen fuertes evidencias en apoyo de la intrusión. Por otra parte, es importante destacar el paralelismo exhibido por los contactos y la fábrica orientada de los plutonitas, frente a las tendencias de los ejes estructurales de las metamorfitas. Aunque esta relación por sí sola no representa una evidencia concreta, sugiere, a los menos, cierta conexión en el tiempo entre el emplazamiento de los distintos cuerpos plutónicos y el desarrollo de la principal etapa de deformación, reconocida en las metamorfitas.

## CONCLUSIONES

En el basamento pre-mesozoico estudiado, se distinguen la Serie Metamórfica de Aguada Limón Verde y el Complejo Plutónico de Sierra Limón Verde.

La Serie Metamórfica está compuesta, fundamentalmente, por una alternancia de esquistos micáceos y anfibolitas, cuya foliación principal está, en parte, deformada por pliegues centimétricos a decimétricos, cuyos ejes se orientan en dirección NNE-SSW y poseen buzamientos variables entre 5°-30° al sur. La presencia de oligoclasa junto con hornblenda en las metabasitas, permite limitar las condiciones metamórficas a las facies de anfibolitas, en el sentido de Turner (1981), como también al campo del metamorfismo de grado medio, de acuerdo con la división propuesta por Winkler (1976). Valores físicos más precisos fueron señalados por Hervé (1982) y Baeza (1984), quienes indicaron condiciones de P/T intermedias (P cercana a 5 kb).

El Complejo Plutónico se originó por **emplazamiento** magmático, múltiple y sucesivo: diorita → granodioritas (en parte tonalitas) → granitos (de grano grueso y grano fino). Las dioritas fueron anfibolizadas y alteradas hidrotermalmente por los efectos de intrusión de los magmas posteriores. Estos fueron, a su vez, transformados en las cercanías del contacto con las dioritas, a rocas bandeadas de mezcla, debido a la incorporación de abundantes inclusiones máficas. Tanto las inclusiones como los minerales oscuros presentan una clara disposición orientada, lo que se interpreta como producto de paleoflujo magmático.

La dirección preferencial de esta estructura es paralela a la de los ejes de pliegues en las metamorfitas, probablemente las rocas huéspedes del plutonismo, relación que sugiere cierta contemporaneidad entre el emplazamiento y al menos parte de la deformación de la Serie Metamórfica.

## AGRADECIMIENTOS

El presente trabajo fue financiado por el programa de Petrología, dependiente de la Dirección de Investigaciones de la Universidad del Norte. Para el desarrollo de las etapas de terreno, los autores contaron con el valioso apoyo logístico del

Departamento de Geociencias de la misma Universidad. Agradecemos al colega Hans Niemeyer, por su crítica revisión y sugerencias al manuscrito original.

## REFERENCIAS

- BAEZA, L. 1976.** Geología de Cerritos Bayos y área adyacentes entre los 22° 30'-22° 45' Lat. S y los 68° 55'-69° 25' Long. W, II Región-Antofagasta, Chile. Memoria de Título, Univ. del Norte, Depto. Geocienc., 155 p. Antofagasta.
- BAEZA, L. 1984.** Petrography and tectonics of the plutonic and metamorphic complex of Limón Verde and Mejillones peninsula, northern Chile. Ph. D. Thesis, University Tübingen, West Germany, 205 p. Tübingen.
- HARRINGTON, H. 1961.** Geology of parts of Antofagasta and Atacama provinces of northern Chile. Am. Assoc. Pet. Geol., Bull., Vol. 45, No. 2, p. 169-197.
- HERVE, F. 1982.** Condiciones de formación de complejos metamórficos chilenos a partir de la química de anfíbolos en metabasitas. *In* Congr. Geol. Chileno, No. 3, Actas, Vol. 1, p. D93-D115. Concepción.
- MEHNERT, K. R. 1968.** Migmatites. Elsevier Publ. Co., 393 p. Amsterdam.
- PEREZ, d'A., E.; LEVI, B. 1961.** Relación estratigráfica entre la Formación Moctezuma y el granito subyacente, Calama, provincia de Antofagasta, Chile. *Minerales*, No. 74, p. 39-48, 4 figs.
- STRECKEISEN, A. 1976.** To each plutonic rock its proper name. *Earth-Sci. Rev.*, Vol. 12, No. 1, p. 1-33.
- TURNER, F. 1981.** Metamorphic petrology. Mineralogical field and tectonic aspects. 2nd. edit., McGraw-Hill Co., 524 p. New York.
- WINKLER, H. G. F. 1976.** Petrogenesis of metamorphic rocks. 4th edit., Springer-Verlag, 334 p. New York.
- YUND, R. A. 1975.** Subsolidus phase relations in the alkali feldspar with emphasis on coherent phases. *In* Feldspar Mineralogy (Ribbe, P. H.; ed.). Mineralog. Soc. Am., Short Course Notes, Vol. 2, p. Y1-Y24.