

# LA ASOCIACION DE GRANITOS SUBSOLVUS E HIPERSOLVUS DEL PLUTON MONTE GRANDE (CHILE 30° S) Y EL DESARROLLO DE SUS PERTITAS

MIGUEL A. PARADA R.

Departamento de Geología y Geofísica, Universidad de Chile  
Casilla 13518, Correo 21, Santiago

## RESUMEN

El plutón Monte Grande, ubicado en la Cordillera de los Andes a la latitud 30° S, consiste predominantemente de leucogranitos subsolvus (o de dos feldespatos) y, en menor proporción, de leucogranitos hipersolvus (o de un feldespato). Ambos tipos de granitos están genéticamente ligados por un proceso de fraccionamiento de plagioclasa.

La historia post-solidificación (< 750° C) del plutón estuvo dominada por la exsolución de los feldespatos alcalinos. Dicho proceso, que tuvo su máxima evolución en los granitos hipersolvus, dio como resultado la formación de pertitas laminares (regulares e irregulares) y pertitas a parche, las cuales, en conjunto, presentan una sucesión en la forma y tamaño de las microestructuras de exsolución.

La fase sódica y potásica de las pertitas laminares tienen, respectivamente, menor contenido de componente An y mayor de Ab, que las correspondientes fases sódicas y potásicas de las pertitas a parche.

El desarrollo de las microestructuras perthíticas fue, al parecer, controlado por la temperatura de comienzo de exsolución y la interacción entre los fluidos deutéricos y los feldespatos alcalinos.

## ABSTRACT

The Monte Grande pluton, located in the Andean Cordillera at 30° S Lat., consists of subsolvus leucogranites (two-feldspar granites) and minor amount of hypersolvus leucogranites (one-feldspar granites). Both types of granite are genetically linked by plagioclase fractionation.

The subsolidus history (< 750° C) of the Monte Grande pluton was dominated by alkali feldspar exsolution. Such a process, mainly developed in the hypersolvus granites, yielded lamellae perthites (regular and irregular) and patch perthites which represent consecutive changes in the shape and coarsening of the exsolution microstructures.

The Na- and K-phases of lamellae perthites have, respectively, lower An contents and higher Ab contents than the Na- and K-phases of the patch perthites.

The development of perthite microstructures was controlled by the temperature of the beginning of exsolution and the deuteric fluid-alkali feldspar interaction.

## INTRODUCCION

El granito de Monte Grande aflora en el flanco oriental del río Claro, aproximadamente 5 km al sureste de la localidad de Paiguano. Constituye un plutón de forma alargada, en dirección NNW, cuyo eje mayor supera los 8 km y ocupa un área de alrededor de 16 km<sup>2</sup> (Fig. 1).

Este cuerpo está emplazado, epizonalmente, dentro de los granitoides de edad supuestamente

carbonífera (Parada *et al.*, 1981). Sus contactos están caracterizados por paredes verticales, techo plano y por la ausencia de efectos relevantes de una interacción química con la caja.

Estudios en curso incluyen al granito de Monte Grande dentro de una serie plutónica leucogranítica homónima (Parada, en prep.) y a la superunidad Ingaguas (Cornejo *et al.*, 1984). El origen de

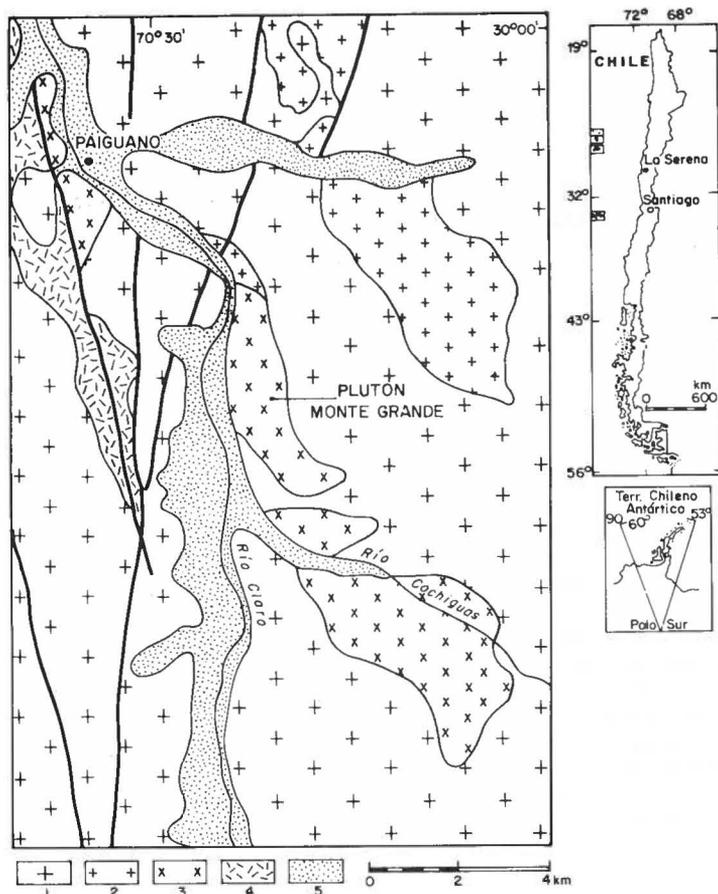


FIG. 1. Esquema geológico del área del plutón Monte Grande, simplificado de Parada (1983) y Mpodozis y Cornejo (en prep.). 1: tonalitas y granodioritas de biotita y hornblenda (principalmente Hercínico); 2: granodioritas y granitos de biotita  $\pm$  muscovita (Tardihercínico?); 3 y 4: leucogranitos de grano grueso a medio y grano medio a fino, respectivamente (Tardihercínico); 5: depósitos cuaternarios.

estos leucogranitos ha sido atribuido a un proceso de fusión cortical en un ambiente tectónico de extensión (Parada, 1981; 1983), probablemente tardi- y/o post-hercínico. Una isócrona de referencia, que incluye una muestra de este plutón, dio una edad de  $197 \pm 5$  Ma (Parada *et al.*, 1981). Sin embargo, el lapso durante el cual se emplazaron los plutones leucograníticos, pudo ser bastante más amplio (Permo-Triásico), a juzgar por las dataciones K-Ar dadas a conocer por Cornejo *et al.* (1984) y por la disposición discordante de la Formación Matahuaico (Pérmico; Letelier, 1977) sobre algunos plutones de la serie Monte Grande.

Las características más sobresalientes de este plutón son la presencia de granitos subsolvus (o de dos feldespatos: plagioclasa y feldespato K, en granos independientes, como producto de una cristalización bajo el solvus de los feldespatos) e hipersolvus (o de un feldespato: albita y feldespato K, en granos comunes, como producto de una cristalización sobre el solvus de los feldespatos), en cantidades subordinadas, y el gran desarrollo de

microestructuras perfiticas. El objetivo de este trabajo es conocer el origen de la asociación de granitos subsolvus e hipersolvus y sus transformaciones subsolidus (perfitización) mediante un estudio textural, combinado con la química de los feldespatos involucrados.

#### MÉTODOS ANALÍTICOS

Se determinaron 53 composiciones químicas de feldespatos de cuatro muestras representativas del plutón Monte Grande, mediante microsonda electrónica. Para cada grano perfitico estudiado, se analizaron invariablemente las dos fases coexistentes. Se utilizó un equipo de marca Hitachi, modelo X560S con detector, de estado sólido, de energía dispersiva, perteneciente al Institute of Mineralogy, Petrology and Economic Geology de la Universidad de Tohoku, Japón. Las informaciones sobre la precisión del instrumento y los patrones usados, aparecen en Fujimaki y Aoki (1980).

## PETROGRAFIA Y SECUENCIA DE CRISTALIZACION

Petrográficamente, el plutón es homogéneo (Tabla 1) y consiste de leucogranitos (sienogranitos y granitos de feldespato alcalino), de color rosado pálido y de grano medio a grueso. Los minerales accesorios son biotita, anfíbola, clinopiroxeno y magnetita. Se han encontrado, ocasionalmente, venas pegmatíticas de aproximadamente 10 cm de espesor, compuestas por feldespato potásico, cuarzo  $\pm$  biotita  $\pm$  muscovita, así como también, pequeñas cantidades de cavidades miarolíticas. Desde el punto de vista químico, estos leucogranitos tienen un alto contenido de SiO<sub>2</sub> y un carácter metaluminoso a moderadamente alcalino, a juzgar por la razón molecular de (Na<sub>2</sub>O + K<sub>2</sub>O + CaO)/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (Tabla 2).

A pesar del corto rango de cristalización magmática que tienen los granitos como los del plutón Monte Grande, es posible estimar una secuencia de cristalización combinando antecedentes texturales y composicionales.

La cristalización temprana está representada por fenocristales de plagioclasa de tamaño grande (~ 4 mm) y hábito similar al de los fenocristales de plagioclasa de rocas volcánicas. Presentan una zonación normal, en un rango aproximado que varía entre An<sub>9</sub> y An<sub>2</sub> (Fig. 2a) y, a veces, una zonación a parches (patchy zoning) consistente en feldespato alcalino y cuarzo. De acuerdo con Vance (1968), esta última zonación es el resultado de una reabsorción parcial de los cristales de plagioclasa, formados en profundidad (tempranos), causada por una disminución de la presión confinante (vía ascenso magmático) de un magma deficiente en H<sub>2</sub>O (cf. Vance, 1968; Parada, 1983), y posterior cristalización de la fase líquida, que rellena los sectores reabsorbidos.

La cristalización intermedia está representada por el desarrollo de grandes cristales de cuarzo anhedral ( $\geq$  5,0 mm), que suelen incluir cristales de plagioclasa temprana, feldespato potásico poco pertítico (Or<sub>91-97</sub>; Fig. 2a), plagioclasa euhedral notoriamente más fresca y más pequeña (~ 1,0 mm) que la plagioclasa temprana, aunque de composición similar (An<sub>7-3</sub>; Fig. 2a) y escasos cristales de magnetita, Fe-hedenbergita, Fe-hornblenda y biotita.

En la última etapa de cristalización, se desarrollaron cristales más o menos equidimensionales

TABLA 1. COMPOSICION MODAL DEL PLUTON MONTE GRANDE

	0431	0429A	0432	0429C	0206	1901
Cuarzo	24,8	37,7	40,3	63,3	35,8	40,1
Pertita	68,5	60,0	53,3	19,7	39,8	31,9
Albita	0,5	1,0	5,1	16,3	—	2,3
Plagioclasa	—	—	—	—	18,1	21,1
Biotita	2,5	1,3	0,5	—	3,0	2,1
Anfíbola	1,3	—	0,3	—	1,2	2,3
Clinopiroxeno	tr	—	tr	—	0,8	—
Opaco	tr	—	0,5	—	1,3	0,2
Muscovita*	—	—	—	0,7	—	—

\* Secundaria

(~ 2 mm) de cuarzo y feldespato alcalino hipersolvus, formado sobre el solvus del sistema ternario de los feldespatos y que contiene, en un solo cristal, componentes Ab y Or en la proporción "mínima"; y, en menor cantidad, cristales de anfíbola y de albita (An<sub>~2</sub>; Fig. 2a), como inclusiones en feldespato alcalino hipersolvus. Los feldespatos alcalinos hipersolvus formados en esta etapa, dieron origen a las mesopertitas (pertitas con cantidades, en volumen, similares de fase sódica y potásica), durante la historia post-solidificación del plutón.

TABLA 2. COMPOSICION QUIMICA DEL PLUTON MONTE GRANDE

	0214A	0429C	0429A	0432	1901
SiO <sub>2</sub>	80,29	78,53	78,18	77,67	74,65
TiO <sub>2</sub>	0,10	0,17	0,11	0,17	0,11
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	10,69	11,36	10,98	11,16	13,31
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,26	0,43	0,73	0,62	0,62
FeO	0,66	0,93	0,85	1,49	1,81
MgO	0,04	0,10	0,07	0,04	0,15
CaO	0,22	0,23	0,11	0,40	0,63
MnO	0,01	0,01	0,01	0,03	0,03
Na <sub>2</sub> O	3,41	3,97	4,49	3,70	3,86
K <sub>2</sub> O	3,74	3,35	3,39	4,44	4,24
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,02	0,01	0,04	0,01	0,03
H <sub>2</sub> O	0,43	0,42	0,29	0,22	0,29
Total	99,87	99,51	99,79	99,95	99,73
NK/A*	0,90	0,89	1,06	0,98	0,82
NKC/A*	0,94	0,93	1,08	1,04	0,91

\*Razón molecular: (Na<sub>2</sub>O + K<sub>2</sub>O)/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>; (Na<sub>2</sub>O + K<sub>2</sub>O + CaO)/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.

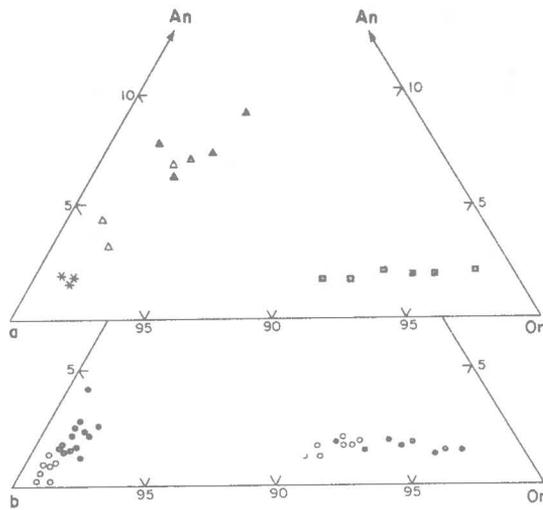
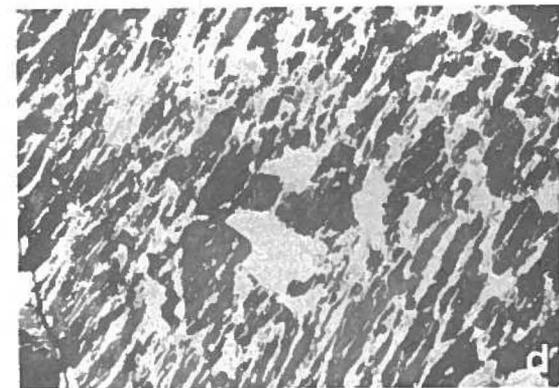
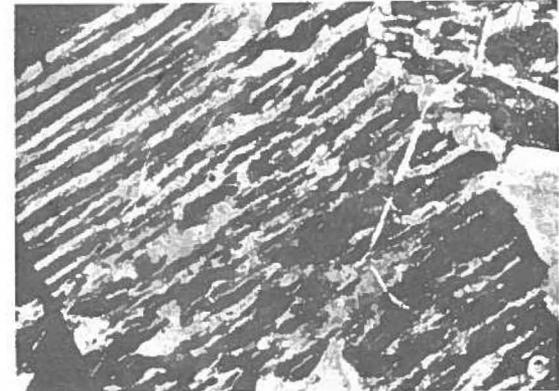
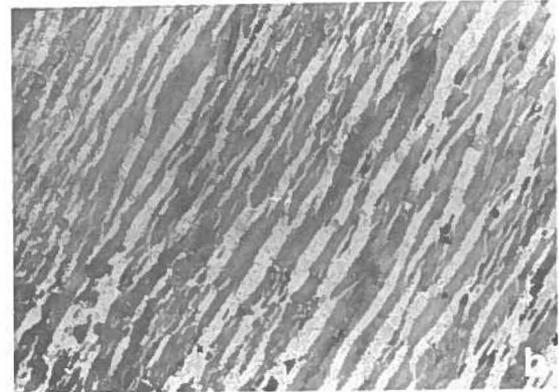
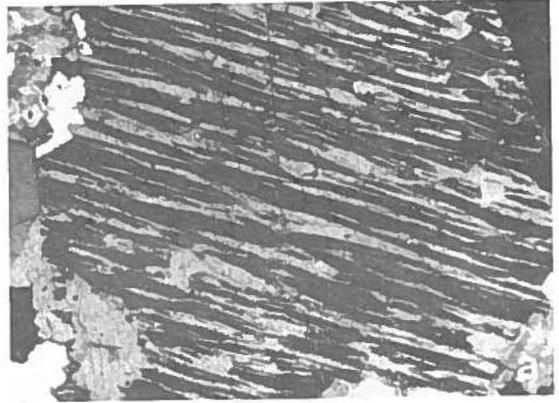


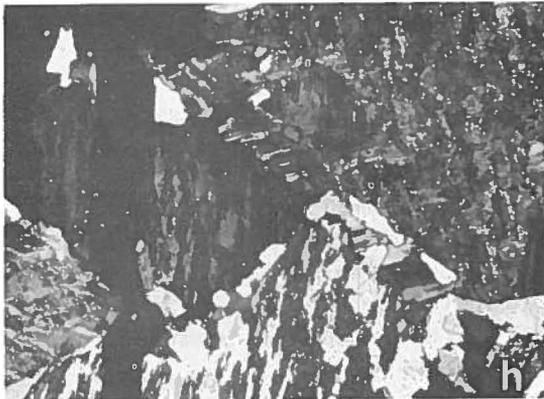
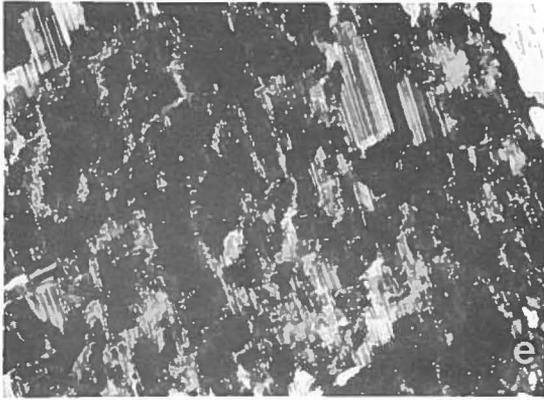
FIG. 2. Composición química de feldespatos del Plutón Monte Grande. a) Plagioclasa y feldespato potásico homogéneo. Triángulo lleno: núcleo plagioclasa temprana en granitos subsolvus; punta de flecha: borde plagioclasa temprana; triángulo vacío: plagioclasa intermedia en granitos subsolvus; cuadrado: feldespato potásico homogéneo en granitos subsolvus; estrella: albita libre en granitos hipersolvus. b) Mesopertitas de granitos hipersolvus. Círculo lleno: fase sódica y potásica de mesopertitas a parche; círculo vacío: fase sódica y potásica de mesopertitas laminares.



#### VARIACIONES MICROESTRUCTURALES Y COMPOSICIONALES DE LAS PERTITAS

Las muestras examinadas presentan una variedad de microestructuras pertíticas que, en líneas generales, se correlacionan con el tipo de granito en el cual se encuentran (subsolvus e hipersolvus). Con el fin de estimar la intensidad de dichas variaciones, las pertitas se agruparon en tres tipos principales (Fig. 3), de acuerdo con la clasificación de Day y Brown (1980), los cuales, en conjunto, reflejan cambios progresivos en la forma, tamaño y, en cierta medida, en el grado de exsolución.

a) **Pertitas de láminas regulares:** son generalmente, mesopertitas con láminas de albita de espesores que, en el caso de las muestras estudiadas, tienen un rango aproximado entre los 15 y 30  $\mu$ .



b) **Pertitas de láminas irregulares:** son aquéllas que muestran venas de albita ramificadas, a veces anastomosadas y sinuosas, de espesores variables que, a veces, sobrepasan los  $60 \mu$ .

c) **Pertitas a parche (patch perthite):** son aquéllas en las cuales la fase sódica presenta formas irregulares, no laminares, con límites difusos y, por lo general, con desarrollo de macla de albita. La proporción de feldespato potásico y albita es variable desde antipertitas hasta mesopertitas. El tamaño de los parches de albita son, por lo general, superiores a los  $100 \mu$ .

Existen otros tipos de pertitas que son difíciles de clasificar en las categorías anteriores. Entre ellas, la más común es la pertita incipiente, en la cual, la fase sódica está muy subordinada y ocurre bajo variadas formas (Fig. 3g).

El feldespato potásico de todas las pertitas observadas se presenta, invariablemente, turbio y, por lo general, sin maclas.

Distintas variedades de pertitas pueden existir en una misma muestra. Más aún, frecuentemente se observan dos tipos de microestructuras en un solo grano, que denotan una evolución desde láminas regulares a irregulares (Fig. 3a, b) o desde láminas irregulares a parches (Fig. 3c, d).

En los granitos subsolvus, las pertitas incipientes y las mesopertitas a parche son las más comunes. Las primeras son de una cristalización intermedia, relacionadas con las plagioclasas (*i.e.* feldespatos subsolvus), y las segundas son más tardías.

En los granitos hipersolvus, predominan las mesopertitas laminares y a parche. Entre las mesopertitas laminares, las de láminas irregulares son

FIG. 3. Tipos de pertitas en el Plutón Monte Grande. Láminas y parches extinguidos, corresponden a la fase potásica. a y b) mesopertita con microestructura de láminas regulares e irregulares; c y d) mesopertita con microestructura de láminas irregulares, gradando a parches; e y f) mesopertitas a parche. Nótese el maclado de la fase albita; g) pertita incipiente en granito subsolvus; h) textura de borde incompleto entre granos adyacentes de mesopertitas a parche.

mucho más abundantes que las regulares. En estos granitos se reconoce, además, la textura de borde incompleto (*cf.* Smith, 1974), que se desarrolla sólo en el contacto entre dos granos peritéticos: es el resultado de un grado mayor de difusión, en que las láminas de Ab sobrepasan los límites del grano que las contiene, para alojarse en el vecino, conservando la orientación óptica (Fig. 3h).

Los distintos tipos de mesopertitas muestran variaciones composicionales leves, pero relativamente sistemáticas (Fig. 2b). Las láminas de albita son más pobres en el componente anortita ( $An_{1,4-0}$ ) que los parches ( $An_{4-1,4}$ ) y el feldes-

pato potásico de pertitas laminares es, generalmente, más rico en el componente albita ( $Ab_{8-6}$ ), que aquél de pertitas a parche ( $Ab_{7-2}$ ).

Las escasas albitas libres de los granitos hipersolvus tienen una composición aproximada  $Ab_{9,7} An_2 Or_1$ , que es relativamente comparable con la que presentan los parches de albita de las mesopertitas coexistentes. Por otra parte, los granos de feldespato alcalino poco peritéticos, tienen una composición similar a la que exhibe la fase potásica de las mesopertitas, excepto dos granos analizados, que tienen una composición cercanamente "mínima" ( $Ab_{64-61} O_{35-38} An_1$ ).

## DISCUSION

### ORIGEN DE LA ASOCIACION DE GRANITOS SUBSOLVUS-HIPERSOLVUS

Al comparar la composición química de las plagioclasas de los granitos subsolvus, con aquéllas de los granitos hipersolvus, se deduce que los últimos se derivan de los primeros, mediante un proceso de fraccionamiento dominado por esta fase, que causa un empobrecimiento progresivo del magma en Ca. El fraccionamiento de plagioclasa y las condiciones de saturación de  $H_2O$  alcanzadas por el magma residual a baja presión, produce una laguna o "gap" en el sistema ternario de los feldespatos entre el solvus y el solidus (*cf.* Tuttle y Bowen, 1958; Seck, 1971; Carmichael *et al.*, 1974; Martin y Bonin, 1976), que permitió el desarrollo de feldespatos alcalinos hipersolvus (*i.e.* formación, a partir del magma granítico, de cristales de feldespatos alcalinos, que contienen componentes Ab y Or en la proporción "mínima").

El carácter residual de los granitos hipersolvus queda evidenciado, además, por el mayor contenido de Fe de sus anfíbolos, en comparación con aquéllas de los granitos subsolvus (Parada, *en prep.*). Esto podría atribuirse a un descenso de la fugacidad de oxígeno, a medida que se enfriaba el magma, lo que habría permitido la cristalización de anfíbola tardías, ricas en Fe, en vez de magnetita.

Si se estima que los granitos hipersolvus estudiados tienen feldespatos alcalinos, con un contenido global máximo de An cercano a 3% en moles (ver Fig. 2b), es posible determinar las condiciones

de su formación mediante la intersección de la correspondiente "curva crítica" de los feldespatos alcalinos (variación P-T del maximum del solvus) con la curva de fusión mínima del granito. La presión máxima estimada es algo menor que 1 kb y la temperatura resultante (mínima) es cercana a los 750°C.

### ORIGEN DE LAS VARIACIONES MICROESTRUCTURALES DE LAS PERTITAS

Las principales diferencias microestructurales entre los tipos de pertitas han sido atribuidas, principalmente, a dos factores considerados, en parte, independientes. Parsons (1978) sugirió que el factor principal en la diversidad de texturas de exsolución es la acción de fluidos hidrotermales, durante el enfriamiento del plutón; en cambio, Yund y Ackermann (1979) sugirieron que el mayor espesor de las láminas peritéticas está directamente relacionado con el mayor contenido de Ca, el cual, a su vez, es una medida de la temperatura.

Las dos hipótesis mencionadas parten de la base que las pertitas se originaron por exsolución. A este respecto, las variaciones y complejidades texturales, que exhiben las pertitas de Monte Grande, constituyen una dificultad para determinar si son de exsolución o de reemplazo. La orientación regular y el tamaño de la fase albita, que muestran muchas de las pertitas laminares, sugieren que se

originaron por exsolución y posterior pérdida de su coherencia\*. A este respecto, Parsons (1978) mencionó la existencia de una orientación preferencial ( $\bar{6}01$ ) de las láminas de exsolución de albita en muchas criptopertitas. Sin embargo, las microestructuras de parche, como las descritas en este trabajo, con la fase albita maclada, tipo tablero de ajedrez, podrían resultar de un reemplazo.

El origen de las pertitas a parche puede evaluarse a través de las composiciones de las fases sódicas y potásicas presentes en ellas. Si éstas reflejan variaciones compatibles con la historia de cristalización en equilibrio, es decir, si las composiciones están controladas por el solvus de los feldespatos alcalinos, el origen por reemplazo puede, eventualmente, descartarse.

En los granitos hipersolvus analizados en este trabajo, se observa una buena correlación entre los tipos de pertitas y el contenido de An de la fase sódica exsuelta (Fig. 2b), lo que sugiere un control primario (por exsolución) para el proceso de pertitización. Además, el mayor contenido de Or de la fase potásica en las pertitas a parche, en comparación con las laminares, es también compatible con una pertitización en equilibrio, puesto que, a medida que aumenta el contenido de An, el solvus de los feldespatos se extiende hacia composiciones más ricas en el componente Or (cf. Carmichael *et al.*, 1974, Fig. 5.1).

Partiendo de la base que la composición de las pertitas analizadas obedece a un proceso de exsolución, la mayor temperatura de inicio de exsolución de las pertitas a parche, deducida del mayor contenido de An de la fase sódica (Fig. 2b), habría contribuido a su desarrollo (cf. Yund y Davidson, 1978), puesto que la temperatura incrementa la velocidad de difusión de los elementos alcalinos (Parsons, 1978).

Temperaturas de exsolución más altas implican, también, más tiempo disponible, tanto para la desmezcla como para las modificaciones de la forma y tamaño de la microestructura inicial, que puede provocar la acción de los fluidos. A este respecto

se puede mencionar que, las pertitas del plutón Monte Grande retuvieron temperaturas de aproximadamente 400°C, deducidas de las composiciones de la fase potásica de las mesopertitas laminares, en el solvus de la figura 4. Por consiguiente, se puede inferir que el proceso de exsolución ocurrió durante un enfriamiento considerable de aproximadamente 350°C, desde la temperatura crítica del solvus con An<sub>3</sub> (~ 750°C, según Fig. 1 de Parsons, 1978). En dicho intervalo la pertitización pudo producir microestructuras gruesas (parches) y, en algunos casos de evolución extrema, formar aquellos granos independientes de albita a partir del cristal de feldespatos alcalinos hipersolvus que los alberga.

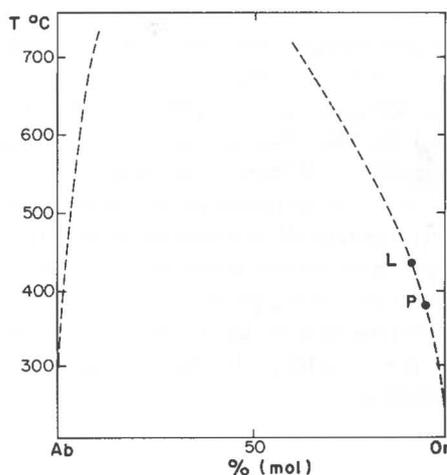


FIG. 4. Solvus de la microclina-baja albita de Bachinsky y Muller (1971) corregido a la presión de 1 kb. P y L representan las composiciones de la fase potásica (microclina; ver texto) de las mesopertitas a parche y laminares, respectivamente. Es pertinente agregar que, de acuerdo con la configuración del solvus de los feldespatos (cf. Carmichael *et al.*, 1974, Fig. 5.1), el mayor contenido de componente An de las pertitas a parche debería dar una temperatura algo superior a la determinada en la figura (cf. Carmichael *et al.*, 1974; Fig. 5.1).

\* Se llama coherencia cuando la difusión del Na y K tiene lugar en una estructura que permanece inalterada, a través de los planos interfaciales de las láminas pertíticas. Las láminas de exsolución coherente constituyen criptopertitas y se forman bajo el solvus "coherente" (ver Yund y Davidson, 1978). El engrosamiento posterior de las láminas produce la pérdida de la coherencia (cf. Parsons, 1978), la cual se muestra por la presencia de dos reflexiones, en el difractograma de rayos X, para planos normales al interfacial (*op. cit.*). El autor tiene a disposición difractogramas de cuatro muestras del granito de Monte Grande, en que se prueba la no coherencia de las pertitas.

La acción del H<sub>2</sub>O intergranular (probablemente magmática; Parada, en prep.), sobre los feldespatos alcalinos, consiste en aumentar la velocidad de difusión de los elementos alcalinos y en favorecer, tanto la disolución-reprecipitación local, como el ordenamiento estructural (Yund y David-

son, 1978; Parsons, 1978). En este caso, dicha acción culminó con el desarrollo de las microestructuras a parche y de los bordes incompletos, y con el ordenamiento estructural de los feldespatos comparable, en algunos casos, con la serie máxima microclina-baja albíta (Parada y Aracena, 1979).

### CONCLUSIONES

De la discusión precedente se puede concluir lo siguiente:

1. La asociación de granitos subsolvus e hipersolvus en el plutón Monte Grande resulta de un proceso de fraccionamiento de plagioclasa, en condiciones epizonales. Los granitos subsolvus e hipersolvus representan los magmas primitivos (más ricos en Ca) y residuales, respectivamente.
2. La transformación subsolidus más sobresaliente, que ocurrió en el granito de Monte Grande, es la pertitización de los feldespatos alcalinos hipersolvus. Dicho proceso dio como resultado el desarrollo de, al menos, tres tipos de mesopertitas que, en conjunto, representan una variación progresiva de la microestructura de exsolución, desde peritas laminares (regulares e irregulares) a pertitas a parches.
3. La composición de las pertitas estuvo controlada por el solvus del sistema ternario de los feldespatos.
4. Los factores que inciden en la evolución de las microestructuras pertíticas son la temperatura y la interacción del agua intergranular (magnética), con el feldespato alcalino, puesto que ambos favorecen la difusión de los elementos alcalinos. En efecto, aquellas pertitas con microestructuras de exsolución más gruesas (*i.e.* pertitas a parche) habrían comenzado a exsolverse a mayor temperatura y, por consiguiente, habrían tenido mayor tiempo, tanto para la exsolución misma, como para sufrir la acción del H<sub>2</sub>O intergranular. Las pertitas laminares, en cambio, habrían comenzado a exsolverse a menor temperatura, a juzgar por su menor An, por lo tanto, habrían tenido menos tiempo para el desarrollo de la microestructura pertítica. El H<sub>2</sub>O intergranular favoreció, también, el ordenamiento estructural que presenta la fase potásica.

### AGRADECIMIENTOS

El autor agradece al Profesor K.I. Aoki por las facilidades otorgadas para realizar los análisis por microsonda y a los Drs. H. Fujimaki y T. Yoshida, por su asistencia en el manejo de dicho instrumento. A los Drs. L. López y C. Mpodozis por sus

comentarios, que ayudaron considerablemente a clarificar el manuscrito final. Este trabajo fue financiado por el proyecto E1300 de la Universidad de Chile y por la Japan International Cooperation Agency (JICA).

### REFERENCIAS

- BACHINSKY, S. W.; MULLER, G. 1970. Experimental determinations of the microcline-low albite solvus. *J. Petrol.*, Vol. 12, p. 329-356.
- CARMICHAEL, I.; TURNER, F. J.; VERHOOGEN, J. 1974. *Ingenious Petrology*. McGraw-Hill, Inc.
- CORNEJO, P.; NASI, C.; MPODOZIS, C. 1984. La Alta Cordillera entre Copiapó y Ovalle. *In Seminario Actulización de la Geología de Chile. Ser. Nac. Geol. Miner. (Chile), Misc. No. 4,*
- DAY, H. W.; BROWN, V. M. 1980. Evaluation of perthite composition and microstructure during progressive metamorphism of hipersolvus granite, Rhode Island, USA. *Contr. Miner. Petrol.*, Vol. 72, p. 353-365.
- FUJIMAKI, A.; AOKI, K. I. 1980. Quantitative microanalyses of silicates, oxides and sulfides using an energy-dispersive type electron probe. *Tohoku Univ., Sci. Rep., Ser. 3, Vol. 14, No. 3,* p. 261-268.

- LETELIER, M. 1977.** Petrología, ambiente de deposición y estructura de las formaciones Matahuaico, Las Breas, Tres Cruces *sensu lato* e intrusivos hipabisales permotriásicos, en el área de Rivadavia-Alcohuas, valle del Elqui, IV Región, Chile. Memoria de Título, Univ. Chile, Depto. Geol., 131 p. Santiago.
- MARTIN, R. F.; BONIN, B. 1976.** Water and magma genesis: the association hypersolvus granite-sub-solvus granite. *Can. Mineral.*, Vol. 14, p. 228-237.
- PARADA, M. A. 1983.** Crystallization conditions of epizonal leucogranite plutons in the light of compositional zoning of plagioclase, high Andes (30° S), Chile. *Rev. Geol. Chile*, No. 18, p. 43-54.
- PARADA, M. A.; ARACENA, I. 1979.** Composición y estado estructural de perfitas de muestras del batolito compuesto del río Elqui-Limarí a la latitud 30° S y sus implicancias petrogenéticas. *In Congr. Geol. Chileno*, No. 2, Actas, Vol. 3, p. E21-E38. Arica.
- PARADA, M. A.; MUNIZAGA, F.; KAWASHITA, K. 1981.** Edades Rb-Sr roca total del batolito compuesto de los ríos Elqui-Limarí en la latitud 30° S. *Rev. Geol. Chile*, No. 13-14, p. 87-93.
- PARSONS, I. 1978.** Feldspars and fluids in cooling plutons. *Mineral. Mag.*, Vol. 42, p. 1-17.
- SECK, H. A. 1971.** Der Einfluss des Drucks auf die Zusammensetzung koexistierender Alkalifeldspäte und Plagioklase: ein System  $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$ - $\text{KAlSi}_3\text{O}_8$ - $\text{H}_2\text{O}$ . *Contr. Mineral. Petrol.* Vol. 31, p. 67-86.
- SMITH, J. V. 1974.** Feldspar Minerals. Part II: Chemical and textural properties. Springer-Verlag.
- TUTTLE, D.; BOWEN, N. 1958.** Origin of granite in the light of experimental studies in the system  $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$ - $\text{KAlSi}_3\text{O}_8$ - $\text{SiO}_2$ - $\text{H}_2\text{O}$ . *Geol. Soc. Am., Mem.*, No. 74.
- VANCE, J. A. 1968.** Zoning in igneous plagioclase: patchy zoning. *J. Geol.*, Vol. 73, p. 636-651.
- YUND, R. A.; DAVIDSON, P. 1978.** Kinetics of lamellar coarsening in cryptoperthites. *Am. Mineral.*, Vol. 63, p. 470-477.
- YUND, R. A.; ACKERMAN, D. 1979.** Development of perthite microstructures in the Storm King granite, N. Y. *Contr. Mineral. Petrol.*, Vol. 70, p. 273-280.