

EL BATOLITO DE LA COSTA ENTRE ALGARROBO Y ROCAS DE DE SANTO DOMINGO (CHILE CENTRAL, 33°30'S): GEOLOGIA E INTERPRETACIONES PETROGENETICAS

THE COASTAL BATHOLITH BETWEEN ALGARROBO AND ROCAS DE SANTO DOMINGO (CENTRAL CHILE, 33°30'S): GEOLOGY AND PETROGENETIC INTERPRETATIONS

ARMANDO SIÑA GARDNER

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

RESUMEN

En el sector costero comprendido entre Algarrobo y Rocas de Santo Domingo afloran rocas graníticas, ortogneisses y ortoanfibolitas. Las rocas graníticas son de edad paleozoica superior y comprenden principalmente tonalitas con inclusiones ígneas máficas y granitoides más félsicos con frecuentes megacrystales de microclina. Todas ellas presentan una moderada foliación que es el resultado de una deformación sin-plutónica; en cambio la gneissosidad que caracteriza a las rocas metamórficas es producto de una deformación posterior.

Las tonalitas con inclusiones máficas son interpretadas como el resultado de una hibridación incompleta entre magmas básicos, representados por las inclusiones, y magmas silícicos relacionados con los granitoides más félsicos. En estos últimos, los megacrystales de microclina se desarrollaron a través de un reemplazo tardimagmático de plagioclasa preexistente.

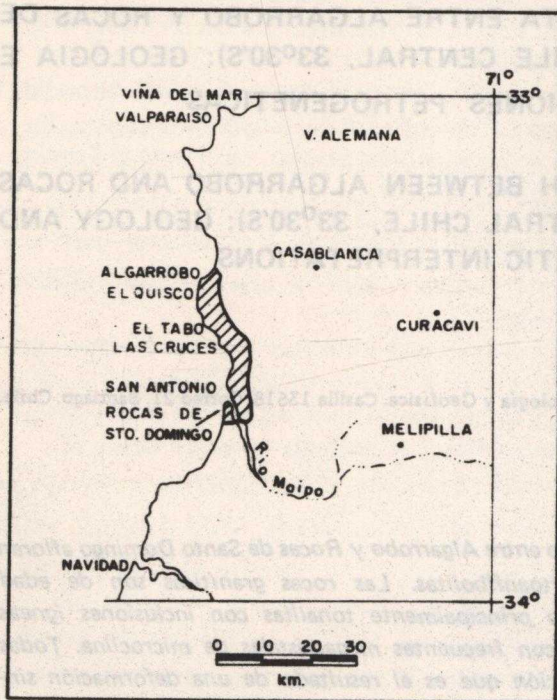
ABSTRACT

Granitoids, orthogneisses and orthoamphibolites crop out in the coast between Algarrobo and Rocas de Santo Domingo. The granitic rocks are of Late Paleozoic age and correspond either to tonalites with mafic igneous inclusions or to more felsic granitoids with frequent microcline megacrysts. All of them show a weak foliation, resulted from a synplutonic deformation, whereas gneissosity in the metamorphic rocks is related to a later deformation.

The tonalites with mafic inclusions are interpreted as the result of an incomplete hybridization among basic magmas, represented by the inclusions, and silicic magmas related to the more felsic granitoids. The microcline megacrysts in the later are viewed as tardimagmatic replacement of preexistent plagioclase.

INTRODUCCION

En el litoral de la Provincia de San Antonio, entre Algarrobo y Rocas de Santo Domingo ($33^{\circ}22'$ y $33^{\circ}38'$ lat. sur respectivamente, Fig. 1),




 AREA DE ESTUDIO

Fig. 1. Mapa de ubicación del área estudiada.

Fig. 1. Location map of the studied area.

afloran principalmente rocas plutónicas del Batolito de la Costa, ortoanfibolitas y ortogneisses, que han sido objeto de numerosos estudios. El Batolito de la Costa es una franja de granitoides principalmente del Paleozoico Superior, que constituye una gran proporción de la Cordillera de la Costa de Chile Central, entre los $32^{\circ}30'$ y los 38° lat. sur (Muñoz Cristi, 1962; Corvalán y Munizaga, 1972; Hervé et al., 1985).

Muñoz Cristi (1964) reconoció en el área de estudio dos unidades principales: intrusivos básicos y un batolito granitoídico. A las rocas básicas las describió como anfíbolitas originadas por un metamorfismo dinámico que afectó a gabros originales. En los gra-

nitoides distinguió una predominancia de tonalitas con presencia subordinada de granitos y granodioritas, a los que consideró como el resultado de metasomatismo potásico en las tonalitas, y también de dioritas, a las que interpretó como el producto de una "interacción" entre las anfíbolitas y las tonalitas.

En el levantamiento geológico 1:100.000 de la Hoja Valparaíso - San Antonio, las ortoanfibolitas y ortogneisses que se extienden desde San Antonio hasta el sector de Las Cruces fueron agrupadas bajo el nombre de Formación Quintay (Corvalán y Dávila, 1964; Corvalán y Munizaga, 1972).

Siña y Parada (1985) entregaron antecedentes geológicos y geoquímicos de los granitoides de Rocas de Santo Domingo, describiendo leucogranitos de biotita y tonalitas con inclusiones ígneas máficas. A las tonalitas las interpretaron como el resultado de una mezcla de magmas.

Estudios geocronológicos efectuados en el área, indican que los grani-

toides pertenecen a un evento plutónico del Carbonífero Superior (Muñoz Cristi, 1962; Cordani et al., 1976; Hervé et al., 1985) y que las ortoanfibolitas y ortogneisses representan un episodio metamórfico del Jurásico (Corvalán y Munizaga, 1972; Cordani et al., 1976; Hervé et al., 1985).

En este trabajo se describe la petrografía y principalmente las características de terreno de los granitoides, ortogneisses y ortoanfibolitas. Se presentan también mapas geológicos detallados de escala 1:5.000 (Fig. 2) y 1:25.000 (Figs. 3, 5, 6 y 7) del sector costero estudiado. Además se analizan los rasgos estructurales de estas rocas y se discute la naturaleza y origen de dos constituyentes características de los granitoides, como son las inclusiones máficas y los megacristales de microclina, así como el significado de las relaciones de terreno entre los distintos tipos litológicos.

LITOLOGIA

En esta sección se describen los diez tipos litológicos reconocidos entre las rocas estudiadas:

Tonalitas con inclusiones máficas

Estas tonalitas se reconocen en Rocas de Santo Domingo y en el sector costero comprendido entre El Tabo y Punta de Tralca.

En Rocas de Santo Domingo las inclusiones máficas varían en cantidad, forma (Fig. 2) e índice de color. Ellas presentan formas desde subesféricas hasta lenticulares. Estas últimas suelen estar orientadas paralelamente entre sí, originando una foliación medianamente desarrollada. Las características petrográficas y de terreno de estas tonalitas y sus inclusiones fueron descritas en detalle por Muñoz Cristi (1964) y por Siña y Parada (1985).

Entre El Tabo y Punta de Tralca afloran abundantes tonalitas con cantidades variables de inclusiones máficas orientadas (Fig. 3). Estas tonalitas muestran una moderada orientación de minerales y presentan textura hipidiomorfa de grano medio a grueso. Su mineralogía incluye plagioclasa con zonación concéntrica, cuarzo intersticial, biotita suborientada y hornblenda esporádicamente poikilítica. Como accesorios se encuentran opacos. esfeno, circón y apatito.

Las inclusiones máficas alcanzan una abundancia máxima de 45% en volumen y presentan tamaño variable entre 5 y 80 cm. Son de formas lenticulares y redondeadas con diversos grados de aplanamiento, y están generalmente orientadas paralelamente entre sí y en concordancia con la suborientación de minerales de la tonalita albergante. Poseen textura incipientemente orientada de grano fino y presentan índice de color variable

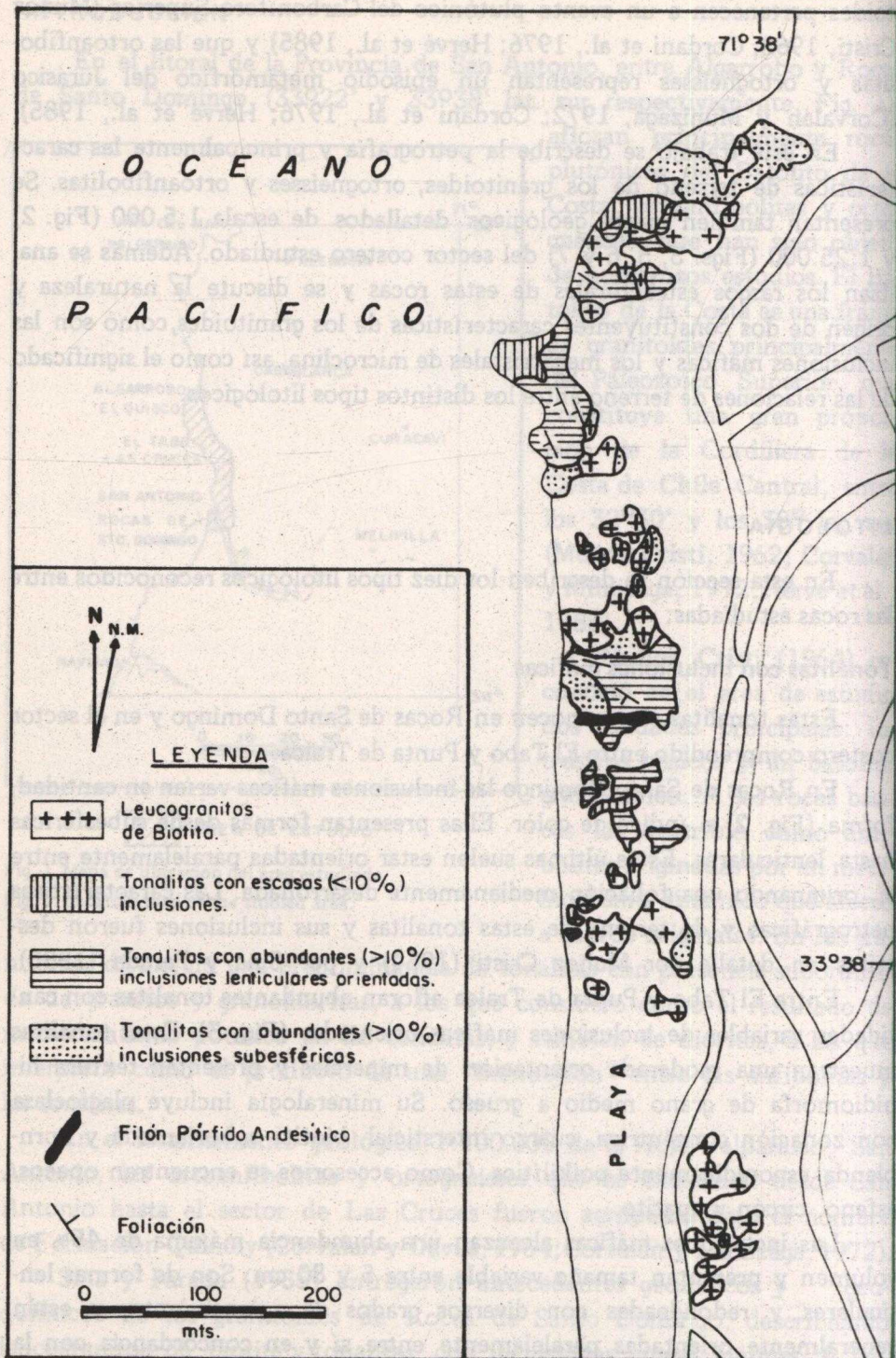


Fig. 2. Mapa geológico de los afloramientos costeros de Rocas de Santo Domingo.

Fig. 2. Geologic map of the coastal outcrops at Rocas de Santo Domingo.

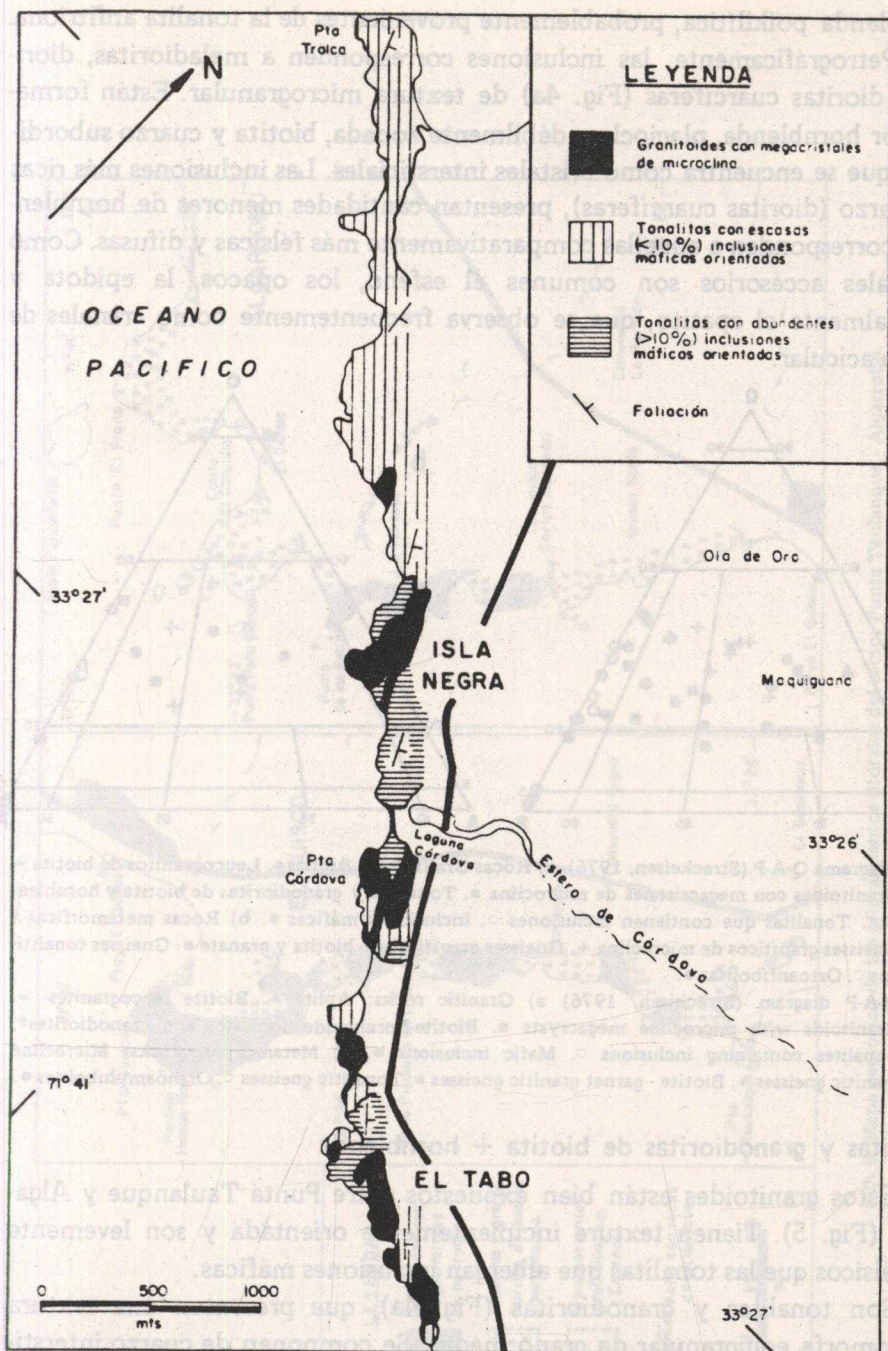


Fig. 3. Mapa geológico de los afloramientos costeros del sector El Tabo-Punta de Traica.

Fig. 3. Geologic map of the coastal outcrops between El Tabo and Punta de Traica.

pero siempre más alto que las tonalitas. Aquellas inclusiones de menor índice de color se observan en terreno difusas, son de grano levemente más grueso y presentan algunos cristales de mayor tamaño (2-4 mm) de plagioclasa y

hornblenda poikilítica, probablemente provenientes de la tonalita anfitriona.

Petrográficamente, las inclusiones corresponden a meladioritas, dioritas y dioritas cuarcíferas (Fig. 4a) de textura microgranular. Están formadas por hornblenda, plagioclasa débilmente zonada, biotita y cuarzo subordinado que se encuentra como cristales intersticiales. Las inclusiones más ricas en cuarzo (dioritas cuarcíferas), presentan cantidades menores de hornblenda y corresponden a aquellas comparativamente más félsicas y difusas. Como minerales accesorios son comunes el esfeno, los opacos, la epidota y especialmente el apatito, que se observa frecuentemente como cristales de hábito acicular.

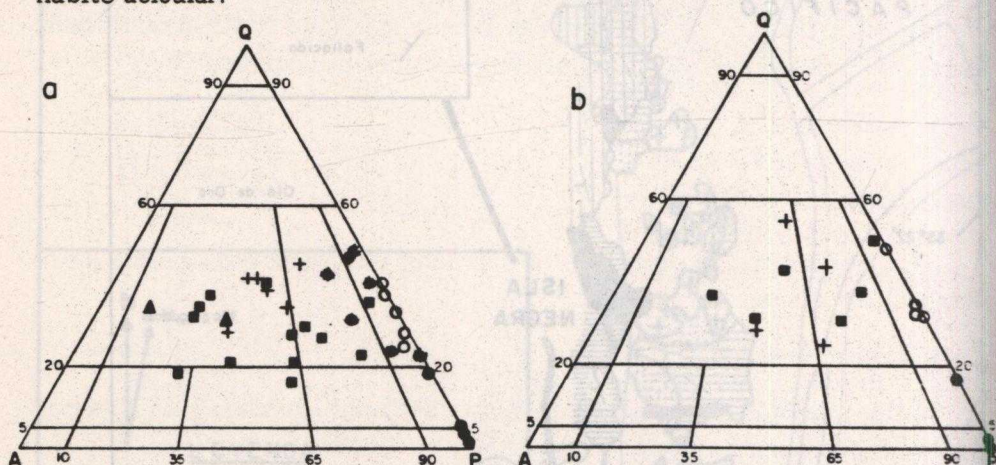


Fig. 4. Diagrama Q-A-P (Streckeisen, 1976). a) Rocas Graníticas: Aplitas ▲. Leucogranitos de biotita + Granitoides con megacristales de microclina ■. Tonalitas y granodioritas de biotita y hornblenda*. Tonalitas que contienen inclusiones ○. Inclusiones máficas ●. b) Rocas metamórficas: Gneisses graníticos de microclina +. Gneisses graníticos de biotita y granate ■. Gneisses tonalíticos ○. Ortoamfibolitas ●.

Fig. 4. Q-A-P diagram (Streckisen, 1976) a) Granitic rocks: Aplite ▲. Biotite leucogranites +. Granitoids with microcline megacrysts ■. Biotite-hornblende tonalites and granodiorites*. Tonalites containing inclusions ○. Mafic inclusions ●. b) Metamorphic rocks: Microcline granitic gneisses +. Biotite - garnet granitic gneisses ■. Tonalitic gneisses ○. Orthoamphibolites ●.

Tonalitas y granodioritas de biotita + hornblenda

Estos granitoides están bien expuestos entre Punta Taulanque y Algarrobo (Fig. 5). Tienen textura incipientemente orientada y son levemente más félsicos que las tonalitas que albergan inclusiones máficas.

Son tonalitas y granodioritas (Fig. 4a), que presentan una textura hipidiomorfa equigranular de grano medio. Se componen de cuarzo intersticial, plagioclasa esporádicamente zonada, biotita y hornblenda en algunos casos poikilítica. Generalmente se encuentra microclina como cristales intersticiales con inclusiones de plagioclasa corroída, o bien como parches irregulares en las plagioclasas. Como minerales accesorios se reconocieron apatito, circón, opacos y allanita.

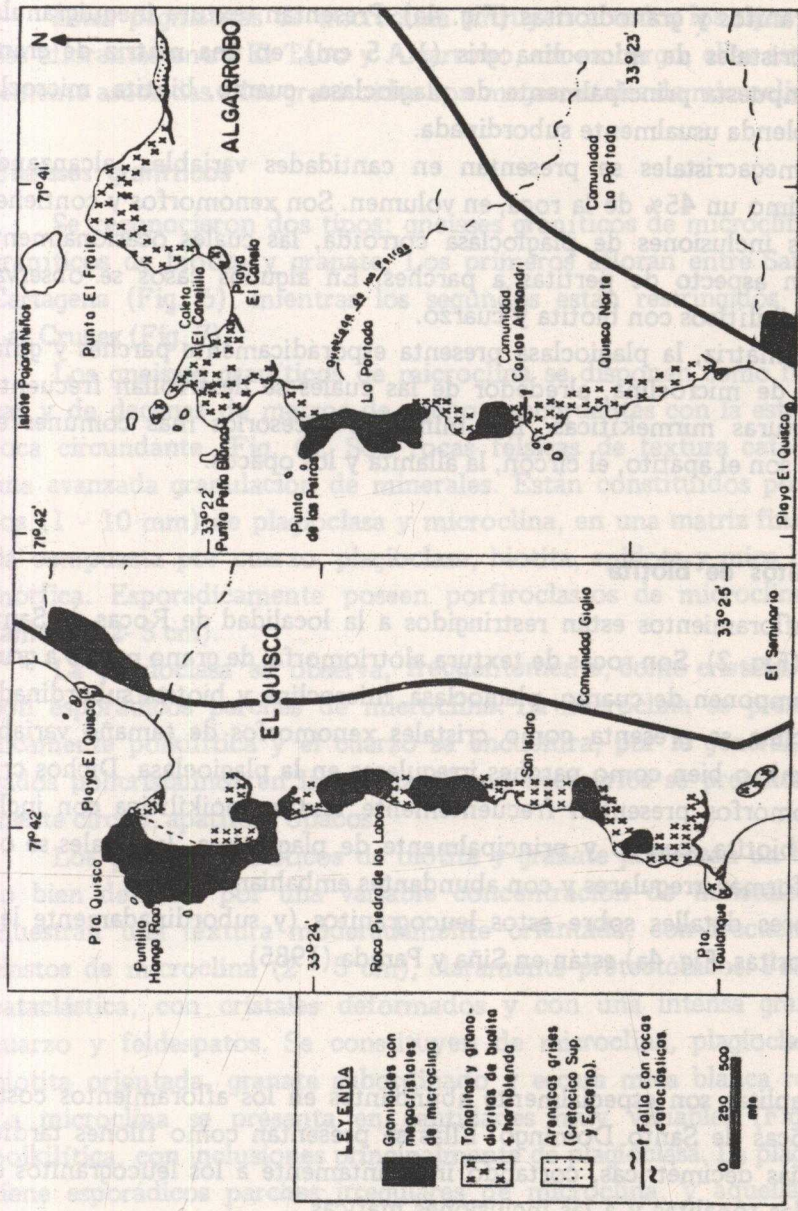


Fig. 5. Mapa geológico de los afloramientos litorales del sector Punta Taulanque - Algarrobo.
 Fig. 5. Geologic map of the littoral outcrops between Punta Taulanque and Algarrobo.

Granitoides con megacrystales de microclina

Sus mejores afloramientos se encuentran en el sector El Tabo-Isla Negra (Fig. 3) y en el balneario El Quisco (Fig. 5). Estos granitoides muestran una incipiente a moderada orientación de minerales y corresponden principalmente a granitos y granodioritas (Fig. 4a). Presentan textura inequigranular con megacrystales de microclina gris (1 - 5 cm), en una matriz de grano medio compuesta principalmente de plagioclasa, cuarzo, biotita, microclina y hornblenda usualmente subordinada.

Los megacrystales se presentan en cantidades variables, alcanzando como máximo un 45% de la roca, en volumen. Son xenomorfos y contienen abundantes inclusiones de plagioclasa corroída, las cuales ocasionalmente les dan un aspecto de pertitas a parches. En algunos casos se observan también poikiliticos con biotita y cuarzo.

En la matriz, la plagioclasa presenta esporádicamente parches y guías irregulares de microclina, alrededor de las cuales se desarrollan frecuentemente texturas mirmekíticas. Los minerales accesorios más comunes en estas rocas son el apatito, el circón, la allanita y los opacos.

Leucogranitos de biotita

Sus afloramientos están restringidos a la localidad de Rocas de Santo Domingo (Fig. 2). Son rocas de textura alotriomorfa, de grano medio a grueso y se componen de cuarzo, plagioclasa, microclina y biotita subordinada. La microclina se presenta como cristales xenomorfos de tamaño variable (1 - 10 mm), o bien como parches irregulares en la plagioclasa. Dichos cristales xenomorfos presentan frecuentemente textura poikilitica con inclusiones de biotita, cuarzo y principalmente de plagioclasa, las cuales se observan de formas irregulares y con abundantes embahiamientos.

Mayores detalles sobre estos leucogranitos (y subordinadamente leucogranodioritas, Fig. 4a) están en Siña y Parada (1985).

Aplitas

Las aplitas son especialmente abundantes en los afloramientos costeros de Rocas de Santo Domingo. Ellas se presentan como filones tardíos de potencias decimétricas, cortando indistintamente a los leucogranitos de biotita, a las tonalitas y a las inclusiones máficas.

Petrográficamente corresponden a granitos (Fig. 4a) hololeucocráticos, de grano fino a medio y de textura alotriomorfa. Se componen principalmente de cuarzo, microclina, plagioclasa y, muy subordinadamente, biotita parcialmente cloritizada (Siña y Parada, 1985).

Pegmatitas de microclina

Son frecuentes desde El Tabo hasta Algarrobo, donde constituyen bolsones y principalmente filones de potencias entre 5 y 50 cm. Se componen de microclina gris predominante, cuarzo y frecuentemente plagioclasa y biotita.

Estas pegmatitas de microclina intruyen a todos los tipos de granitoides aflorantes entre El Tabo y Algarrobo, sin embargo, ellas están preferentemente asociadas a los granitoides con megacristales de microclina.

Gneisses graníticos

Se reconocieron dos tipos: gneisses graníticos de microclina y gneisses graníticos de biotita y granate. Los primeros afloran entre San Antonio y Cartagena (Fig. 6), mientras los segundos están restringidos al sector de Las Cruces (Fig. 7).

Los gneisses graníticos de microclina se disponen como franjas métricas y de decenas de metros de ancho concordantes con la estructura de la roca circundante (Fig. 6). Son rocas félsicas de textura cataclástica, con una avanzada granulación de minerales. Están constituídos por porfiroclastos (1 - 10 mm) de plagioclasa y microclina, en una matriz fina suborientada compuesta por cuarzo, plagioclasa, biotita, epidota y mica blanca retromórfica. Esporádicamente poseen porfiroclastos de microclina de mayor tamaño (2- 5 cm).

La plagioclasa se observa, frecuentemente, como cristales doblados y con esporádicos parches de microclina. La microclina se presenta esporádicamente poikilítica y el cuarzo se encuentra, por lo general, como agregados policristalinos en la matriz. Como accesorios se presentan principalmente circón, apatito y opacos.

Los gneisses graníticos de biotita y granate presentan un bandeamiento bien definido por una variable concentración de minerales máficos y muestran una textura moderadamente orientada, con frecuentes porfiroclastos de microclina (2 - 5 cm), claramente pretectónicos. Poseen textura cataclástica, con cristales deformados y con una intensa granulación de cuarzo y feldespatos. Se constituyen de microclina, plagioclasa, cuarzo, biotita orientada, granate subordinado y escasa mica blanca retromórfica. La microclina se presenta en cantidades muy variables (Fig. 4b) y es poikilítica, con inclusiones principalmente de plagioclasa. La plagioclasa contiene esporádicos parches irregulares de microclina, y aquellas que están en contacto con cristales de microclina presentan frecuentemente texturas mirmekíticas. El granate se presenta parcialmente alterado a clorita y mica blanca y esporádicamente poikilítico. Como minerales accesorios se reconocen circón, opacos y apatito.

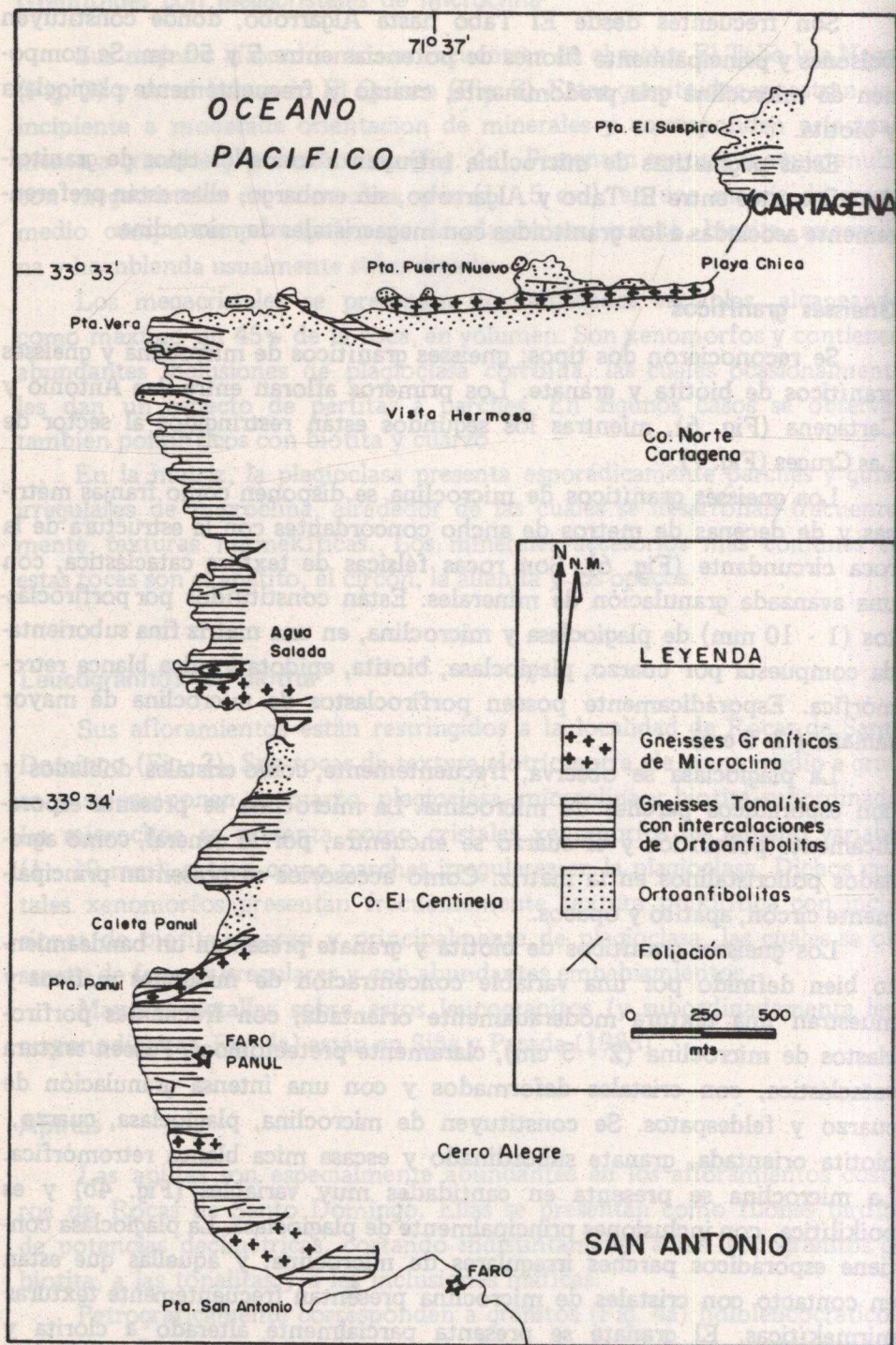


Fig. 6. Mapa geológico de los afloramientos litorales del sector San Antonio - Cartagena.
 Fig. 6. Geologic map of the littoral outcrops of the San Antonio - Cartagena area.

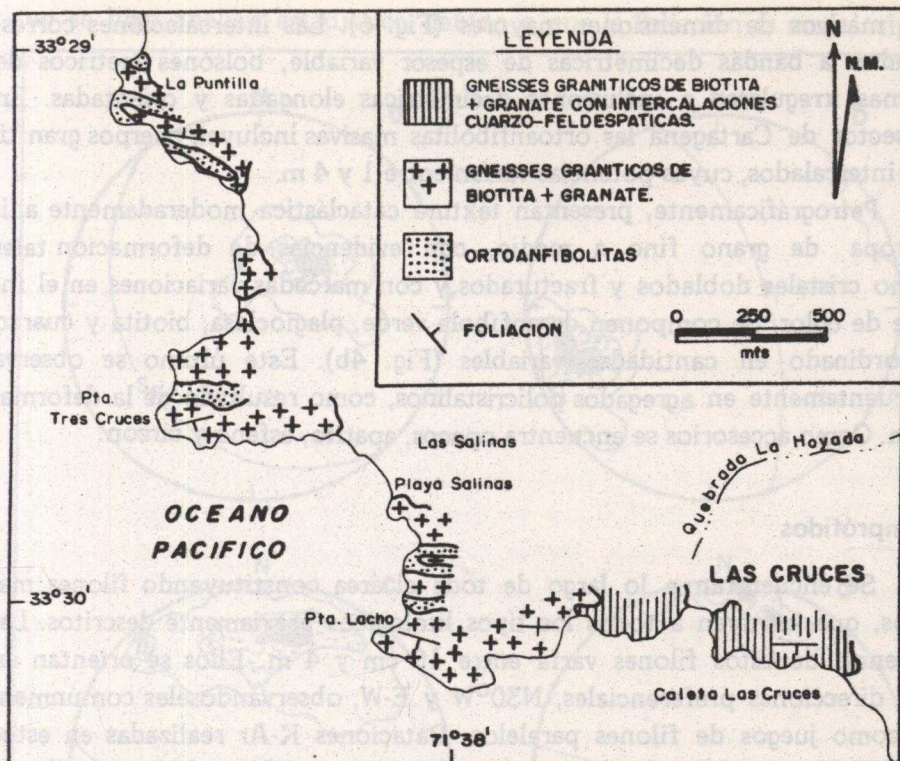


Fig. 7. Mapa geológico de los afloramientos costeros de Las Cruces.

Fig. 7. Geologic map of the coastal outcrops at Las Cruces.

Gneisses tonalíticos

Los gneisses tonalíticos afloran entre San Antonio y Cartagena. Asociados a ellos se observan frecuentes intercalaciones de ortoanfibilitas (Fig. 6) muy heterogeneas e irregulares y con límites esporádicamente difusos.

Estos gneisses presentan textura cataclástica con fuerte trituración de minerales. Se componen de porfiroclastos (2 - 8 mm) de plagioclasa y cuarzo con extinción ondulosa, en una trama de grano fino consistente en agregados de cuarzo policristalino, plagioclasa, biotita, epidota y esporádicamente mica blanca secundaria. La plagioclasa a menudo se observa como cristales doblados y deformados. La biotita se presenta en cristales suborientados y en algunos casos doblados. Los accesorios más comunes son opacos, apatito, circón y microclina.

Ortoanfibilitas

Se encuentran principalmente entre San Antonio y Cartagena, como frecuentes intercalaciones en los gneisses tonalíticos y también como cuer-

pos masivos de dimensiones mayores (Fig. 6). Las intercalaciones corresponden a bandas decimétricas de espesor variable, bolsones métricos de formas irregulares e inclusiones decimétricas elongadas y orientadas. En el sector de Cartagena las ortoanfibolitas masivas incluyen cuerpos graníticos intercalados, cuyas potencias varían entre 1 y 4 m.

Petrográficamente, presentan textura cataclástica moderadamente anisótropa de grano fino a medio, con evidencias de deformación tales como cristales doblados y fracturados, y con marcadas variaciones en el índice de color. Se componen de anfíbola verde, plagioclasa, biotita y cuarzo subordinado en cantidades variables (Fig. 4b). Este último se observa frecuentemente en agregados policristalinos, como resultado de la deformación. Como accesorios se encuentra opacos, apatito, esfeno y circón.

Lamprófidos

Se encuentran a lo largo de toda el área constituyendo filones máficos, que intruyen a todos los tipos litológicos previamente descritos. La potencia de estos filones varía entre 10 cm y 4 m. Ellos se orientan en dos direcciones preferenciales, N30°W y E-W, observándoseles comúnmente como juegos de filones paralelos. Dataciones K-Ar realizadas en estos filones lamprófidos han arrojado valores entre 180 y 115 m.a. (Irwin et al., en prep., en Hervé et al., 1985).

Generalmente presentan textura porfídica, con proporciones variables de fenocristales (1 - 1,5 mm) de clinopiroxeno y anfíbola, en una masa fundamental de grano fino (0,2 - 0,8 mm) compuesta por anfíbola, plagioclasa, clorita, opacos, clinopiroxeno y, en menor cantidad, mica blanca, calcita y epidota, aparentemente secundarias. Los fenocristales de clinopiroxeno presentan esporádicamente coronas anfibólicas. La anfíbola se presenta en cristales prismáticos alargados. Esporádicamente se encuentra cuarzo subordinado.

También hay variedades equigranulares con escasa anfíbola y biotita abundante. Como mineral accesorio se reconoce principalmente apatito.

DEFORMACIONES SINPLUTONICA Y POSTPLUTONICA

En las rocas estudiadas se puede reconocer dos foliaciones de características muy diferentes: la foliación de las rocas graníticas (S₁), y la gneissosidad que caracteriza a las rocas metamórficas (S₂).

La Fig. 8 muestra los estereogramas de cuatro sectores estudiados con los polos de la foliación respectiva. En el sector El Quisco-Algarrobo

no se hizo análisis estadístico debido a que la foliación es muy incipiente.

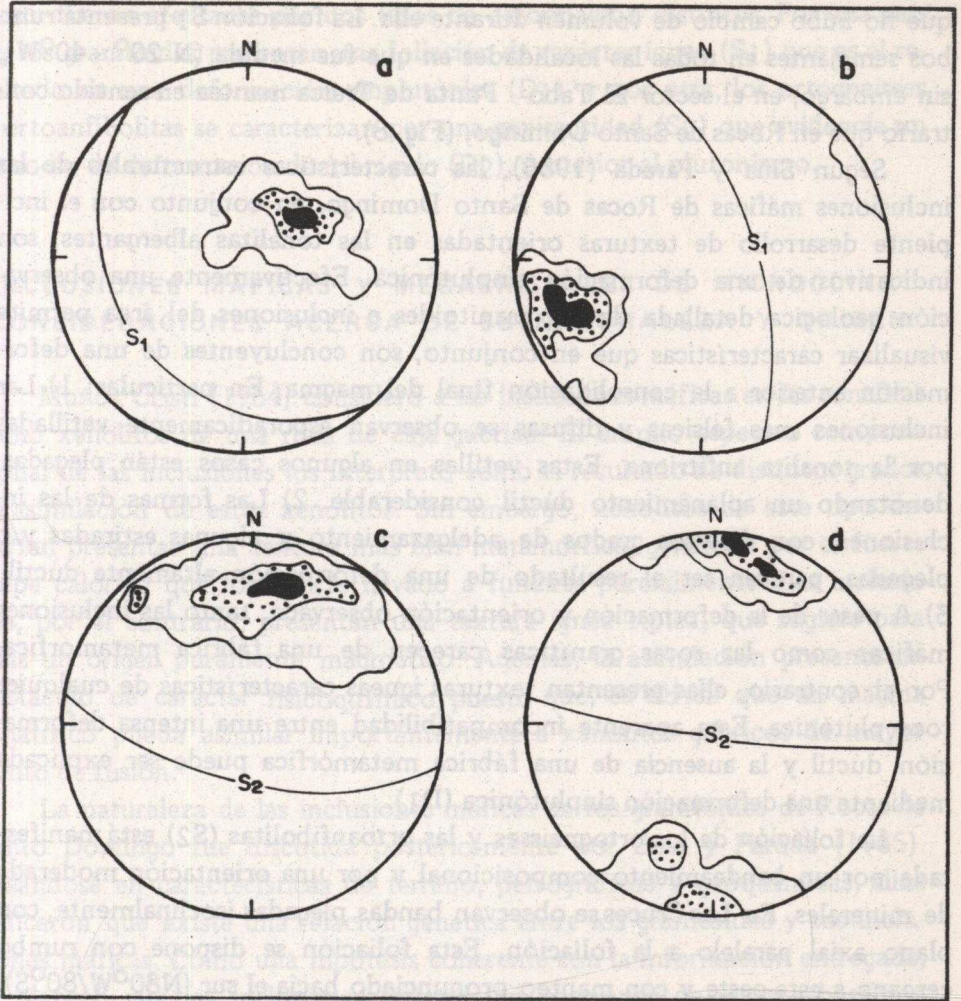


Fig. 8. Redes de Schmidt para las foliaciones S_1 y S_2 . a) Polos de S_1 en Rocas de Santo Domingo; 35 puntos; curva de 3%, 14 y 29% b) Polos de S_1 en el sector El Tabo - Punta de Tralca; 40 puntos; curvas de 3%, 10 y 23% c) Polos de S_2 en el sector San Antonio -Cartagena; 54 puntos; curvas de 2%, 6 y 13% d) Polos de S_2 en Las Cruces; 23 puntos; curvas de 4%, 9 y 22%

Fig. 8 Stereoplots for the S_1 and S_2 foliations. a) S_1 poles at Rocas de Santo Domingo; 35 points; contours at 3% 14 and 29% b) S_1 poles at the El Tabo-Punta de Tralca area; 40 points; contours at 3% 10 and 23% c) S_2 poles at the San Antonio-Cartagena area; 54 points; contours at 2% 6 and 13% d) S_2 poles at Las Cruces; 23 points; contours at 4% 9 and 22%.

La foliación de las rocas graníticas (S_1) está definida por una orientación preferente de las inclusiones máficas de forma lenticular, la cual va acompañada por un moderado alineamiento de minerales planares en los granitoides, principalmente biotita y plagioclasa. De esta manera, las inclusiones pueden ser consideradas los principales marcadores de una deformación D_1 . Sus formas planares o lenticulares sugieren un aplastamiento

simple (axially symmetric shortening) como tipo de formación, si se supone que no hubo cambio de volumen durante ella. La foliación S_1 presenta rumbos semejantes en todas las localidades en que fue medida ($N 20^\circ - 40^\circ W$), sin embargo, en el sector El Tabo - Punta de Tralca mantee en sentido contrario que en Rocas de Santo Domingo, (Fig. 8).

Según Siña y Parada (1985), las características estructurales de las inclusiones máficas de Rocas de Santo Domingo, en conjunto con el incipiente desarrollo de texturas orientadas en las tonalitas albergantes, son indicativos de una deformación sinplutónica. Efectivamente, una observación geológica detallada de los granitoides e inclusiones del área permite visualizar características que en conjunto, son concluyentes de una deformación anterior a la consolidación final del magma. En particular: 1) Las inclusiones más félsicas y difusas se observan esporádicamente vetilladas por la tonalita anfitriona. Estas vetillas en algunos casos están plegadas, denotando un aplanamiento dúctil considerable. 2) Las formas de las inclusiones, con diversos grados de adelgazamiento y algunas estiradas y/o plegadas, parecen ser el resultado de una deformación altamente dúctil. 3) A pesar de la deformación y orientación observada, tanto las inclusiones máficas como las rocas graníticas carecen de una fábrica metamórfica. Por el contrario, ellas presentan texturas igneas características de cualquier roca plutónica. Esta aparente incompatibilidad entre una intensa deformación dúctil y la ausencia de una fábrica metamórfica puede ser explicada mediante una deformación sinplutónica (D_1).

La foliación de los ortogneisses y las ortoanfibolitas (S_2) está manifestada por un bandeamiento composicional y por una orientación moderada de minerales. En Las Cruces se observan bandas plegadas isoclinalmente, con plano axial paralelo a la foliación. Esta foliación se dispone con rumbo cercano a este-oeste y con mantee pronunciado hacia el sur ($N80^\circ W/80^\circ S$), en los dos sectores en que afloran las rocas metamórficas (Fig. 8).

Las rocas en las cuales se desarrolló esta estructura (S_2), vale decir aquellas afectadas por una deformación D_2 , se caracterizan por la presencia de abundantes texturas cataclásticas. Si bien en terreno no se observó una relación directa entre S_1 y S_2 , se presume que esta deformación D_2 es posterior, considerando que afectó a rocas plutónicas de composición y textura semejantes a las rocas graníticas del área y en estado totalmente sólido.

Los rasgos estructurales y texturales de las rocas metamórficas indican que esta deformación postplutónica tuvo características intermedias entre dúctil y rígida ya que, por una parte, la gneissosidad y el plegamiento isoclinal de bandas sugieren un comportamiento dúctil, pero por otro lado en los ortogneisses predominan las texturas de cataclisis por sobre las texturas de flujo plástico y recristalización, indicando un comportamiento más bien rígido.

En resumen: en el área estudiada las rocas plutónicas del Batolito de la Costa fueron afectadas por dos tipos de deformación distintos. Por una parte, los granitoides presentan una foliación de carácter ígneo (S₁) que es el resultado de una deformación sinplutónica (D₁), y por otra, los ortogneisses y ortoanfibolitas se caracterizan por una gneissosidad (S₂) que evidencia un episodio de deformación dúctil-rígido (D₂), posterior al plutonismo.

INCLUSIONES MAFICAS Y MEGACRISTALES DE MICROCLINA: CONSIDERACIONES ACERCA DE SU NATURALEZA Y ORIGEN

Muñoz Cristi (1964) consideró a las inclusiones máficas en las tonalitas como xenolitos de una roca de caja gábrica. El amplio espectro composicional de las inclusiones los interpretó como el resultado de distintos grados de asimilación de estos xenolitos. Sin embargo, xenolitos de este tipo deberían presentar una textura más bien metamórfica, generada por el fuerte golpe calórico que los habría llevado a fundirse parcialmente. Las inclusiones, por el contrario, presentan una textura ígnea típica, que sugiere para ellas un origen puramente magmático. Además, la asimilación presenta un obstáculo de carácter fisicoquímico, puesto que, es difícil que un magma tonalítico pueda asimilar importantemente a xenolitos gábricos de mayor punto de fusión.

La naturaleza de las inclusiones máficas de los granitoides de Rocas de Santo Domingo fue discutida posteriormente por Siña y Parada (1985). Basándose en características de terreno, petrográficas y geoquímicas, ellos indicaron que existe una relación genética entre los granitoides y sus inclusiones máficas. Como una hipótesis coherente con la información entregada, se planteó que las inclusiones representan porciones de magma basáltico que experimentaron diversos grados de hibridación con el magma granitoídico albergante, dentro del cual se habrían solidificado.

Las características petrográficas y de terreno de las inclusiones máficas del sector El Tabo-Punta de Tralca son coherentes con esta última hipótesis. En efecto, su textura ígnea de grano fino, su composición mineralógica y la presencia en ellas de apatito de hábito acicular (Willie et al., 1962; Reid et al., 1983), evidencian la naturaleza magmática de dichas inclusiones y sugieren una cristalización relativamente rápida. Por otro lado, la ocurrencia de inclusiones más félsicas y difusas, con fenocristales provenientes de la tonalita anfitriona y más ricas en cuarzo, indica que tales inclusiones interactuaron con la tonalita. Desde este punto de vista, las inclusiones efectivamente parecen representar porciones de un magma básico disgregado en un magma más ácido. Una mezcla parcial entre ambos magmas y la prematura solidifi-

cación del fundido básico a causa de su mayor temperatura de cristalización, conducirían a la obtención de tonalitas con inclusiones máficas como las descritas en el área. Las evidencias para la coexistencia e hibridación de estos dos magmas serán discutidas con mayor detalle en el próximo ítem.

Gran parte de los granitoides más félsicos del área se caracterizan por la presencia de megacristales de microclina. Estos megacristales ocurren casi exclusivamente en rocas carentes de inclusiones máficas, en las cuales originan importantes variaciones composicionales como por ejemplo en los granitoides de El Quisco (Fig. 5).

El carácter xenomorfo de los megacristales, junto con su frecuente textura poikilítica, son indicativos de su crecimiento tardío. La presencia de parches y guías irregulares de microclina en las plagioclasas, y la ocurrencia de abundantes inclusiones de plagioclasa corroídas en los megacristales de microclina, sugieren que el desarrollo de dichos megacristales es, al menos en parte, producto de un reemplazo de plagioclasa preexistente. Por consiguiente, los megacristales evidenciarían un proceso tardío de microclinización, que sería el resultado de una introducción metasomática de potasio por parte de los fluidos residuales del magma, durante las etapas finales de la cristalización magmática (Muñoz Cristi, 1964).

RELACIONES DE TERRENO Y SU SIGNIFICADO

Algunas características petrográficas y de terreno de las inclusiones máficas y de las tonalitas que las albergan son diagnósticas de la coexistencia e hibridación de dos magmas (cf. Goldie, 1978; Reid et al., 1983; Whalen y Currie, 1984). Entre ellas se puede destacar las siguientes:

- 1) Los fenocristales de plagioclasa y hornblenda poikilítica que ocurren en las inclusiones, son idénticos a los cristales de estos minerales presentes en las tonalitas.
- 2) Algunas de las inclusiones máficas se presentan atravesadas por vetillas de la tonalita.
- 3) Las inclusiones difusas representan toda una gradación de su composición mineralógica entre las tonalitas y las inclusiones de mayor índice de color. En Rocas de Santo Domingo algunas inclusiones llegan a ser tan nebulíticas, que sólo se distinguen por un aumento local del índice de color de la tonalita.
- 4) Los contactos entre las inclusiones y las tonalitas son en la mayoría de los casos nítidos, sin embargo, también hay contactos gradacionales.
- 5) Las inclusiones son generalmente cuerpos lenticulares, aplanados y

redondeados, semejantes en forma y tamaño a las almohadillas formadas en basaltos extruídos en agua.

Las tonalitas con inclusiones máficas están espacialmente asociadas a granitoides más félsicos. En el caso de Rocas de Santo Domingo estos últimos corresponden a los leucogranitos de biotita (Fig. 2), mientras que en el sector de Isla Negra y El Tabo corresponden a los granitoides con megacristales de microclina (Fig. 3). En ambos casos se observan evidencias para la coexistencia del magma tonalítico con el magma granítico o granodiorítico respectivo. Entre ellas se cuentan las siguientes:

- 1) Los contactos entre las tonalitas con inclusiones y los granitoides más félsicos, son localmente nítidos y localmente gradacionales. Estos últimos parecen ser el resultado de una mezcla mecánica, muy localizada, sin efectos de hibridación entre los dos magmas.
- 2) En los contactos nítidos no se observan bordes enfriados ni discontinuidades estructurales.
- 3) En Rocas de Santo Domingo se han descrito filones sinplutónicos de tonalitas alojados en los leucogranitos (Siña y Parada 1985).
- 4) En los granitoides más félsicos se encuentran esporádicamente escasas inclusiones máficas similares a las observadas en las tonalitas.
- 5) La compleja relación espacial existente entre los dos tipos de granitoides y la disposición de sus contactos concordantes con la foliación de origen sinplutónico, pueden ser interpretadas como el resultado de interacciones mecánicas entre dos magmas contemporáneos.

Los rasgos señalados se consideran como evidencias de que los magmas tonalíticos coexistieron con magmas básicos, representados por sus inclusiones máficas, y con magmas ácidos, representados por los granitoides más félsicos asociados.

En los casos en que las inclusiones son abundantes, éstas invariablemente están alojadas en tonalitas con las cuales muestran evidencias de hibridación. Incluso las ortoanfibolitas, que tienen una composición mineralógica muy similar a las inclusiones, se presentan asociadas preferentemente a ortogneisses de composición tonalítica. Estas relaciones de terreno indican que tales composiciones tonalíticas son precisamente el resultado de la contaminación de los magmas silícicos (graníticos o granodioríticos), mediante inyecciones de magma básico y posterior hibridación. La naturaleza híbrida de las tonalitas que albergan inclusiones máficas en Rocas de Santo Domingo fue anteriormente propuesta por Siña y Parada (1985), en base a consideraciones geoquímicas y de terreno.

En el sector comprendido entre Punta Taulanque y Algarrobo afloran las tonalitas y granodioritas de biotita y hornblenda y los granitoides con megacristales de microclina (Fig. 5). Sus contactos se manifiestan exclusi-

vamente por la brusca aparición o desaparición de los megacristales, los cuales constituyen la única diferencia notoria en terreno entre ambos tipos de granitoides. Las pegmatitas de microclina, frecuentes en este sector, intruyen a las tonalitas y granodioritas como filones bien definidos con límites nítidos, mientras que en los granitoides con megacristales se observan también como bolsones de bordes difusos.

Estas relaciones de terreno son consistentes con un origen tardimagmático para los megacristales de microclina. En efecto, las pegmatitas de microclina evidencian que existió una fase residual de la cristalización magmática enriquecida en volátiles y en potasio, ambas condiciones necesarias para que se lleve a cabo el proceso de microclinización. Más aún, entre la microclina de las pegmatitas y la microclina que constituye los megacristales, hay una incuestionable semejanza y una estrecha asociación de campo, características que sugieren que dichas microclinas están genéticamente relacionadas. Probablemente ambas se formaron a partir de los mismos fluidos residuales, pero mientras la microclina de las pegmatitas se depositó rellenando espacios abiertos, los megacristales de los granitoides crecieron reemplazando plagioclasa previamente cristalizada. Las variaciones composicionales introducidas en los granitoides del sector Punta Taulanque-Algarrobo por la presencia irregular de los megacristales de microclina, pueden ser interpretadas como variaciones en la concentración de los fluidos residuales, la cual puede ser una de las variables que controla la intensidad del proceso de reemplazo y generación de megacristales.

CONCLUSIONES

- 1) El Batolito de la Costa en el área de estudio se compone de 10 tipos litológicos, que se reconocen en distintas proporciones en toda ella.
- 2) Las rocas graníticas del área presentan una foliación (S_1) que se generó por una deformación simultánea al plutonismo, en cambio los orto-gneisses y las ortoanfibolitas se caracterizan por una gneissosidad (S_2) que es producto de una deformación más local, posterior al plutonismo.
- 3) Las inclusiones máficas reconocidas en el sector representan porciones de magmas básicos disgregados en magmas granitoídicos coexistentes, con los cuales experimentaron diversos grados de hibridación.
- 4) Las tonalitas que albergan inclusiones máficas son el resultado de una mezcla parcial entre los magmas básicos que generaron a las inclusiones, y los magmas silícicos que originaron a los granitoides más félsicos.
- 5) Los megacristales de microclina observados en rocas del área se desarrollaron principalmente a través de un reemplazo de plagioclasa pre-existente, como resultado de un proceso tardimagmático de microcli-

nización que ocurrió en los granitoides más félsicos con intensidad variable.

Las conclusiones 3 y 4 son compatibles con modelos petrogenéticos desarrollados para batolitos cordilleranos, que sostienen que sus variadas composiciones graníticas son producto de la hibridación entre magmas silícicos corticales y magmas básicos mantíferos (e.g. Hildreth, 1981; Reid et al., 1983; Gray, 1984).

Es importante destacar que las interpretaciones petrogenéticas expuestas en este trabajo, son una base de discusión sobre la cual se podrán cimentar futuros estudios petrogenéticos. Para que estas ideas lleguen a ser modelos establecidos, es necesario demostrar su consistencia con una abundante información geoquímica.

AGRADECIMIENTOS

El autor agradece expresamente a la familia Hartley Lacoste por facilitar su casa de El Quisco y al profesor Miguel Angel Parada por la conducción de este estudio, el cual fue presentado como Taller de Título II en el Departamento de Geología y Geofísica de la Universidad de Chile. Iván Seguel e Iván Garrido colaboraron en algunas campañas de terreno; el profesor Estanislao Godoy cooperó en la redacción del Abstract y Paulina Correa tipeó las numerosas versiones del texto. El trabajo fue financiado por los Proyectos E-1300 y E-2457 del Departamento de Investigación y Bibliotecas de la Universidad de Chile y es una contribución al Proyecto PICG 249.

REFERENCIAS

- Cordani, U.; Munizaga, F.; Hervé, F. y Hervé, M. 1976. Edades radiométricas provenientes del Basamento Cristalino de la Cordillera de la Costa de la provincia de Valparaíso y Santiago, Chile. Actas I Congreso Geol. Chileno, 2, F213 - F222.
- Corvalán, J. y Dávila, A., 1964. Observaciones geológicas en la Cordillera de la Costa entre los ríos Aconcagua y Mataquito. Soc. Geol. Chile, Resumen, N° 9.
- Corvalán, J. y Munizaga, F., 1972. Edades radiométricas de rocas intrusivas y metamórficas de la Hoja de Valparaíso San Antonio. Inst. Invest. Geol., Bol. N° 28.
- Goldie, R., 1978. Magma mixing in the Flavrian pluton, Noranda area, Quebec. Can. J. Earth Sci., 15, 132-144.
- Gray, C.M., 1984. An isotopic mixing model for the origin of granitic rocks in southeastern Australia. Earth Planet. Sci. Letters, 70, 17-60.
- Hervé, F.; Munizaga, F.; Parada, M.A.; Pankhurst, R.; Snelling, N. y Drake, R., 1985. Granitoids of the Coast Range of Central Chile: Geochronology and Geologic setting. Revista Comunicaciones, 35, 105-108.

Hildreth, W., 1981. Gradients in silicic magma chambers: Implications for lithospheric magmatism. *Jour. Geoph. Res.*, 86, 11, 10153-10192.

Muñoz Cristi, J., 1962. Comentarios sobre los granitos chilenos. *Soc. Geol. Chile. Publicaciones N° 2.*

Muñoz Cristi, J., 1964. Estudios petrográficos y petrológicos sobre el Batolito de la Costa de las provincias de Santiago y Valparaíso. *Inst. Geol. U. de Chile. Publicación 25, Santiago.*

Reid, J.; Evans, O. y Fates, D., 1983. Magma mixing in granitic rocks of the Central Sierra Nevada, California. *Earth and Planet. Sci. Letters*, 66, 243-261.

Siña, A. y Parada, M.A. 1985. Los granitoides de Rocas de Santo Domingo: Antecedentes de terreno, petrográficos y de química de elementos mayores para una mezcla de magmas. *Actas IV Congreso Geol. Chileno, Area 4, 512-530, Antofagasta.*

Streckeisen, A., 1976. To each plutonic rock its proper name. *Earth Sci. Reviews*, 12, 1-35.

Whalen, J. y Currie, K., 1984. The Topsails igneous terrane, Western Newfoundland: evidence for magma mixing. *Contrib. Mineral. Petrol.*, 87, 319-327.

Wyllie, P.; Cox, K. y Biggar, G., 1962. The habit of apatite in sythetic systems and igneous rocks. *J. Petrol.*, 3, 238-242.

REFERENCIAS

(1) El Batolito de la Costa de las provincias de Santiago y Valparaíso. *Inst. Geol. U. de Chile. Publicación 25, Santiago.*

(2) Estudios petrográficos y petrológicos sobre el Batolito de la Costa de las provincias de Santiago y Valparaíso. *Inst. Geol. U. de Chile. Publicación 25, Santiago.*

(3) Comentarios sobre los granitos chilenos. *Soc. Geol. Chile. Publicaciones N° 2.*

(4) Los granitoides de Rocas de Santo Domingo: Antecedentes de terreno, petrográficos y de química de elementos mayores para una mezcla de magmas. *Actas IV Congreso Geol. Chileno, Area 4, 512-530, Antofagasta.*

(5) To each plutonic rock its proper name. *Earth Sci. Reviews*, 12, 1-35.

(6) The Topsails igneous terrane, Western Newfoundland: evidence for magma mixing. *Contrib. Mineral. Petrol.*, 87, 319-327.

(7) The habit of apatite in sythetic systems and igneous rocks. *J. Petrol.*, 3, 238-242.

(8) Magma mixing in granitic rocks of the Central Sierra Nevada, California. *Earth and Planet. Sci. Letters*, 66, 243-261.

(9) Gradients in silicic magma chambers: Implications for lithospheric magmatism. *Jour. Geoph. Res.*, 86, 11, 10153-10192.