

# FENOMENOS DE CONTACTO EN LOS MARMOLES DE ALTA GRACIA, LA CALERA Y MALAGUEÑO, PROVINCIA DE CORDOBA

por JUANA N. R. de TOSELLI

## SUMMARY

Contact phenomena in the marbles of Alta Gracia, La Calera and Malagueño (province of Córdoba).- The author describes contact phenomena in the marbles of various quarries in the zones around Alta Gracia, La Calera and Malagueño (province of Córdoba), and clear distinction is made between the mineral assemblages which are the results of the regional metamorphism and those which occur between marbles and intrusive rocks.

The contact phenomena are, in general, very little developed in the Sierra of Córdoba, but they show clearly, although in small scale, the same development which is formed in the large classic zones of contact metamorphism.

The mineral assemblages are zoned and trend to built monomineral bands. The origin of the latter is explained by the contact metasomatism process which acts in two ways (Korzhinsky's bimetamorphism): an acid siliceous and aluminous front migrates towards the marble, and a basic calcic front moves to the intrusive, forming endomorphic and exomorphic zones.

The process has in general, three genetic phases: 1) a magmatic stage represented by anhydrous and high-temperature assemblages; 2) postmagmatic stage, where appear new rich assemblages in volatile elements, which replace the formers; 3) a postskarn stage, where mineral assemblages of low temperature, and with OH in their composition, replace the mineral of the first and second stage.

One of the most important phenomena which are described, are the formation of scapolite by replacement of the endomorphic plagioclase.

Two calcium-silicate metasomatites are described, although they do not bear any direct connection with intrusive bodies.

## Introducción

Los minerales accesorios de los mármoles de la Sierra de Córdoba fueron ya descritos por Stelzner (1873) y luego por numerosos autores. Pero hasta ahora no se había hecho en general, una distinción clara entre las asociaciones minerales de contacto y las producidas por el metamorfismo regional. Esto se debe a que los minerales de contacto están poco desa-

rollados y a menudo se confunden con las asociaciones regionales preexistentes. No obstante estas limitaciones, los procesos metasomáticos muestran la misma evolución que los grandes cuerpos en áreas clásicas de contacto, y son ejemplos muy ilustrativos de las variaciones químico mineralógicas que acompañan a estos fenómenos.

El objeto principal de este trabajo es establecer las diferencias entre estos dos tipos de asociaciones minerales y caracterizar geológica y petrográficamente varios ejemplos de contactos entre cuerpos intrusivos y mármoles puros o dolomíticos.

\* Facultad de Ciencias Naturales (UNT) - Fundación Miguel Lillo.

En base a estos ejemplos se ha podido elaborar un esquema general de estos fenómenos en la Sierra Chica de Córdoba, lo cual facilitará la interpretación de nuevos hallazgos en el ámbito de las Sierras Pampeanas.

Las zonas estudiadas se han elegido de modo tal, que representen por una parte los mármoles predominantemente cálcicos (La Calera-Malagueño) y por la otra, los predominantemente dolomíticos (Alta Gracia).

En esta forma se lograron dos objetivos: 1) observar un mismo fenómeno en rocas de distinta composición, y 2) adaptar el trabajo a la realidad geológica de la Sierra Chica de Córdoba, donde los dos tipos de rocas están ampliamente distribuidos.

#### Ubicación de las canteras de mármol donde se estudiaron los fenómenos de contacto

Los mármoles objeto de este trabajo, se hallan distribuidos en varias canteras de las zonas de Alta Gracia, La Calera y Malagueño,

situadas en la falda oriental de la prolongación austral de la Sierra Chica (fig. 1).

Su distribución es norte-sur y son las siguientes: "Los Nogales", "Rossi", "El Pozo", "La Isla" y "José de la Quintana".

Las canteras "El Pozo" y "La Isla" se hallan al sudoeste de Alta Gracia, a 3 y 6 km respectivamente. El acceso se efectúa por el camino que va desde Alta Gracia a Villa La Paisanita y La Isla.

La cantera "Rossi" se encuentra a 9 kilómetros al noroeste de Alta Gracia, en el Valle Buena Esperanza, llegándose al lugar por el camino del mismo nombre.

"Los Nogales", cantera situada a 2 kilómetros al oeste de Falda del Carmen, es accesible por el camino que lleva a Bosque Alegre.

A 16 km al sur de Alta Gracia y a 5 km de José de la Quintana se encuentran pequeñas canteras de mármol cálcico, el cual está transformado en parte en skarns o tactitas pobremente mineralizados.

En La Calera, los mármoles con fenóme-

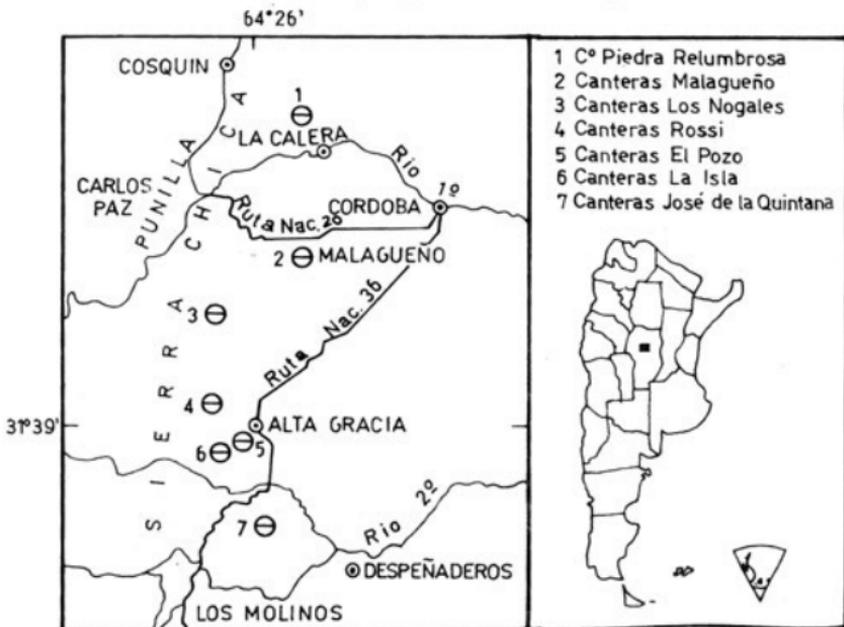


Fig. 1

nos metamórficos se encuentran a 11 km al noroeste de esta ciudad, en la cumbre del cerro Piedra Relumbrosa (973 m). Se llega al lugar por el camino que desde La Calera conduce a La Angostura costeano el arroyo del mismo nombre.

Las canteras de Malagueño se encuentran a 20 km al oeste de la ciudad de Córdoba, unidas a ésta por la Ruta Nacional 20.

### Geología regional y local

La falda oriental de la Sierra Chica está constituida por los elementos del basamento cristalino: gneises, esquistos micáceos, anfíbolitas, mármoles y las rocas filonianas que atraviesan el complejo.

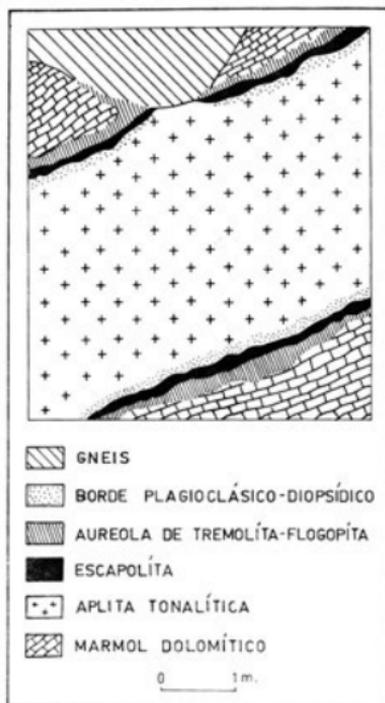
Todo el conjunto de esquistos cristalinos posee un rumbo regional norte-sur, con variaciones locales y un buzamiento monoclin hacia el este, producidos por fallas inversas, lo cual constituye una modalidad estructural característica de las Sierras Pampeanas. Los planos de esquistosidad muestran además, coincidencia con la estratificación primitiva.

Petrológicamente, las rocas del basamento cristalino son el resultado de un metamorfismo regional de grado medio a alto, en el cual la asociación mineral, ampliamente distribuida, compuesta por hornblenda y plagioclasa, indica que el nivel metamórfico alcanzado es la facies de las anfíbolitas.

El complejo se encuentra atravesado profusamente por filones de textura y composición variables, derivados sin duda de cuerpos magmáticos mayores emplazados en profundidad. Son bien visibles en los cortes de canteras y llaman la atención, sobre todo, donde producen efectos de contacto en los mármoles.

Petrológicamente, los más importantes son los tipos siguientes:

1) *Aplitas de grano fino*. Su composición es tonalítica, con plagioclasa y cuarzo esenciales, microclino subordinado o ausente y biotita o anfíbol accesorios. Son los más frecuentes en la zona de Alta Gracia.



CANTERA EL POZO frente a...  
Contacto aplita/mármol

FIG. 2

- 2) *Filones de microclino*. Son de textura variable, con muy poca plagioclasa y sin cuarzo. Beder (1922) ya había notado la coexistencia de los tipos 1 y 2 y señaló que son muy comunes, sobre todo en las canteras de San Antonio (Punilla).
- 3) *Filones de granito hornblendífero*. Son de grano más bien grueso. Se encuentran característicamente en la zona de Malagueño y Beder (op. cit.) llamó la atención sobre los fenómenos de contacto que producen en los mármoles.

- 4) *Pegmatitas*. A pesar de ser muy frecuentes en la Sierra Chica y algunas de importancia económica, raramente aparecen en los cortes de canteras de mármol. Solamente en "El Pozo" se encuentran como núcleos dentro de las aplitas tonalíticas.
- 5) *Pórfidos tonalíticos*. Son muy frecuentes en Malagueño. Su color es gris y el grano generalmente muy fino. Beder (op. cit.) y Pastore (1932) los definieron como "malchitas biotíticas".

### Las paragénesis metamórficas

Creemos necesario hacer una distinción clara entre las asociaciones minerales que son producto del metamorfismo regional en los mármoles y aquellas debidas al metamorfismo

de contacto, porque los minerales resultantes de ambos procesos suelen ser muy similares

### A) Las paragénesis del metamorfismo regional y sus caracteres distintivos

El metamorfismo regional afecta especialmente a los mármoles dolomíticos y cálcicos impuros, formándose silicatos y otros minerales, que se concentran generalmente en bandas paralelas a la esquistosidad y preferencialmente hacia los contactos con la roca de caja. Los mármoles se caracterizan por ser de poco espesor, a menudo lenticiformes y alternan rápidamente con anfibolitas y gneises.

Las paragénesis son sencillas, comparables a las obtenidas experimentalmente por Bowen (1940) y de distribución y uniformidad regio-

### CANTERA "EL POZO" - ALTA GRACIA

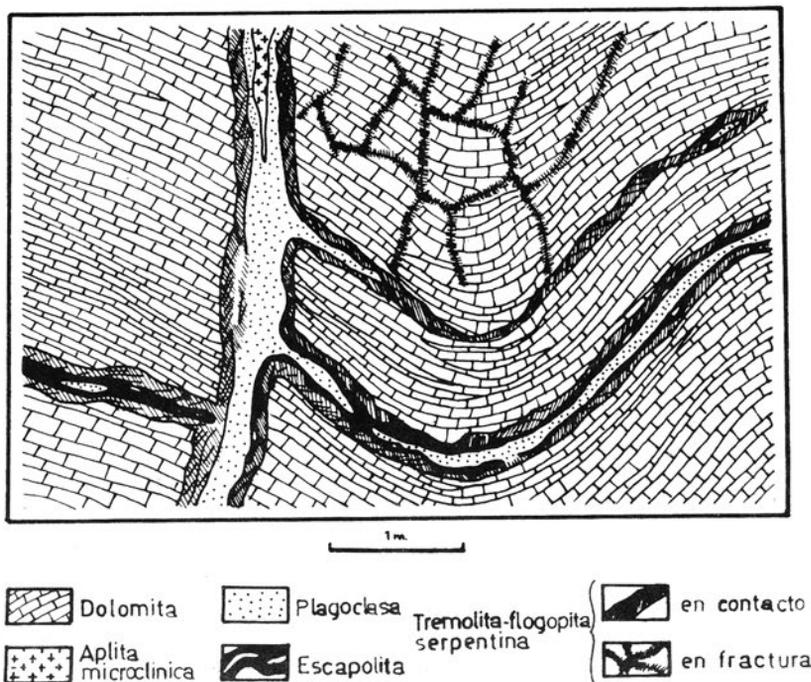
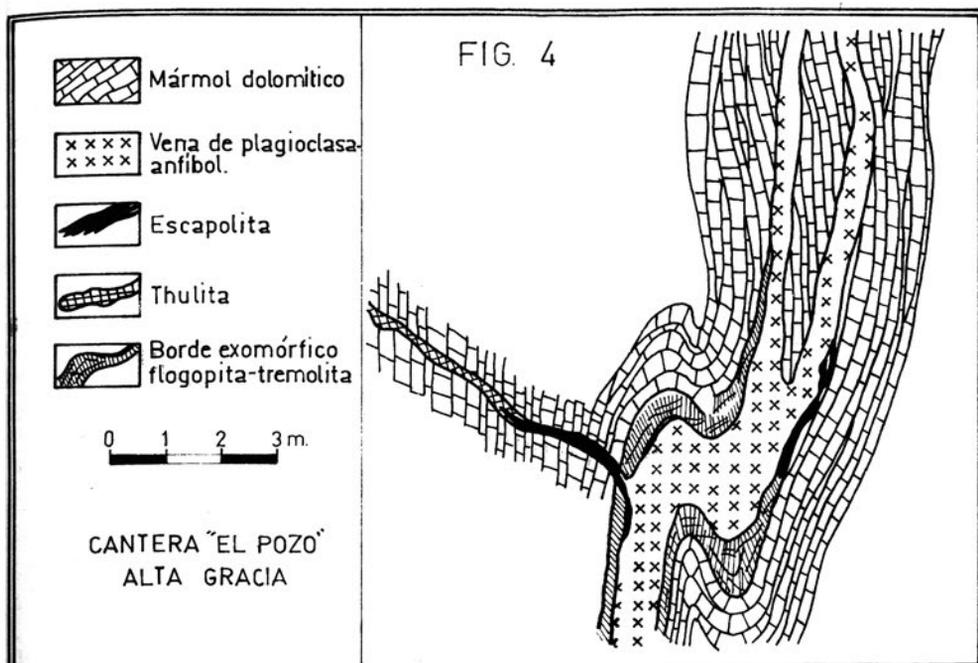


FIG. 3



nal.

Como la composición química de los mármoles es variable entre cálcica y dolomítica, podemos reconocer dos grupos paragenéticos:

- 1) *Paragénesis en mármoles magnesianos y dolomíticos.* La forsterita, acompañada por espinelo o diópsido, flogopita y a veces apatita, son los minerales más frecuentes. En la mayoría de los casos, la forsterita está alterada a antigorita y forma bandas y manchas verde-amarillentas en mármol, dándole un aspecto característico, conocido con el nombre de oficalcita.

Las asociaciones minerales dominantes son las siguientes:

- 1a) forsterita-espinelo-calcita-dolomita  $\tau$  flogopita
- 1b) forsterita-diópsido-calcita-dolomita  $\tau$  flogopita
- 1c) flogopita-calcita-dolomita

Existen además, otras asociaciones de bajo grado metamórfico, constituidas por silicatos de magnesio hidratados como la tremolita, el talco y la serpentina. Estos minerales se desarrollan típicamente en las zonas de fracturas, diaclasas y planos de fricción, que son estructuras favorables a la penetración de soluciones silíceas de baja temperatura que han reaccionado con la dolomita. La tremolita es muy común y a menudo forma cristales de varios centímetros intercrecidos con calcita.

- 2) *Paragénesis en mármoles cálcicos y débilmente magnesianos.* La mineralogía es muy simple y la asociación cuarzo-calcita está casi siempre presente. Se reconocieron las siguientes paragénesis:

- 2a) hornblenda-titanita-calcita  $\tau$  cuarzo
- 2b) diópsido-hornblenda-titanita-calcita  $\tau$  cuarzo
- 2c) diópsido-cuarzo-calcita
- 2d) calcita-cuarzo

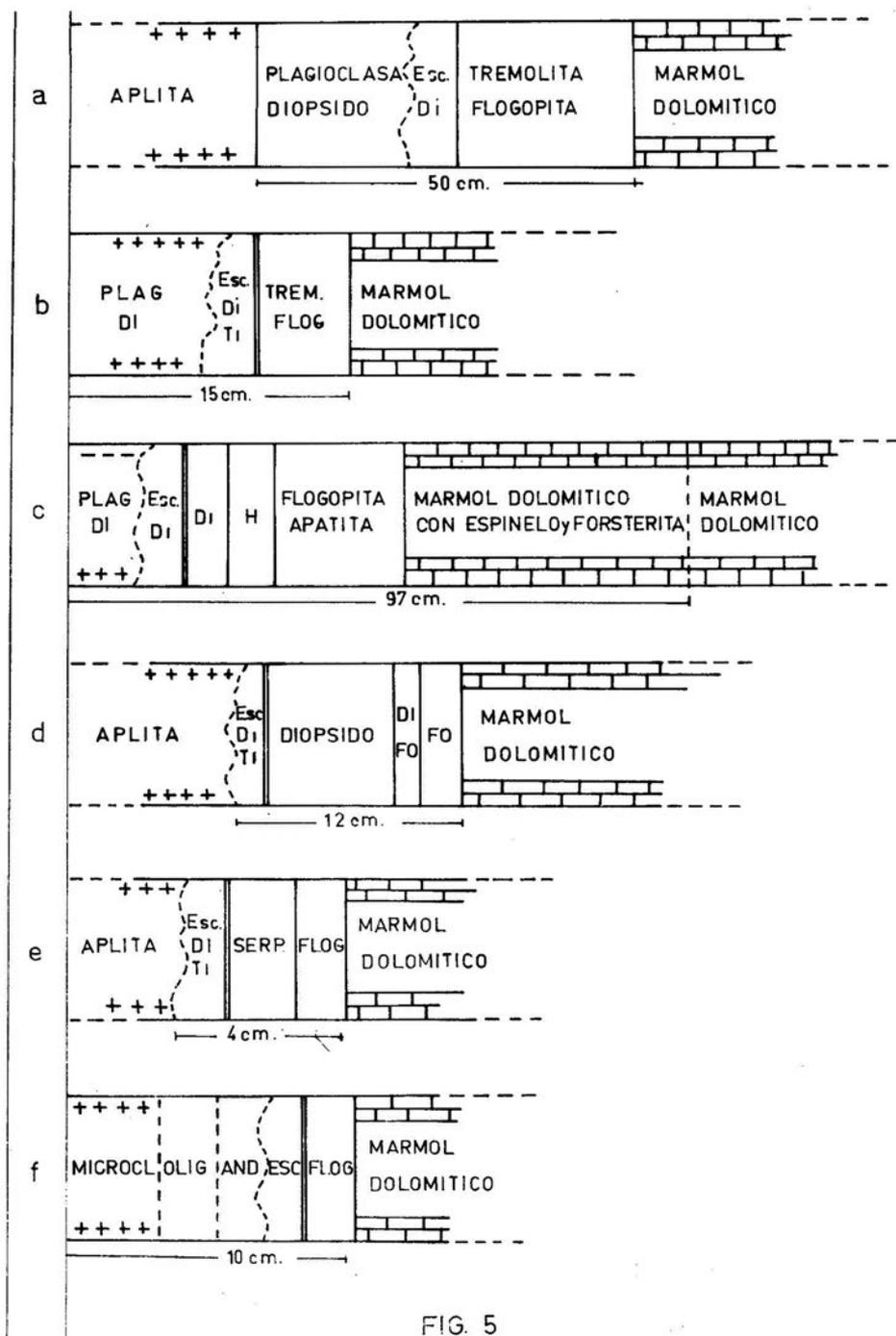


FIG. 5

Los mármoles hornblendíferos con titanita son muy frecuentes en la zona de Malagueño, Yocsina, La Calera y San Antonio. Se los encuentra en contactos frecuentes con anfibolitas.

La asociación diópsido-cuarzo-calcita y cuarzo-calcita es muy común en los mármoles débilmente magnesianos de La Calera y Malagueño.

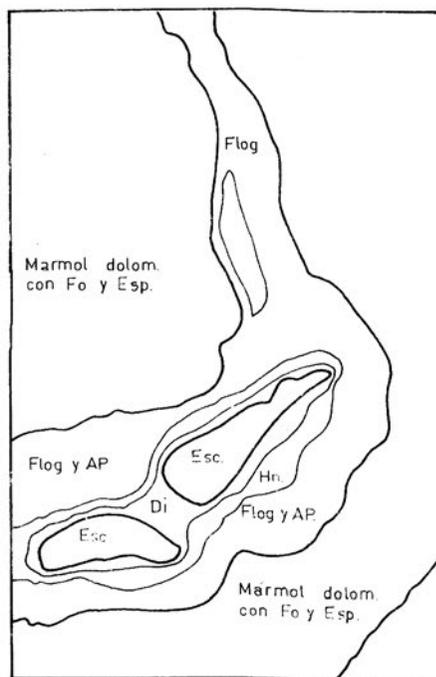
La grosularia y vesubiana, si bien son silicatos cálcicos, no participan de las asociaciones regionales de nuestra zona. Tampoco se encuentra wollastonita, la que sólo se localiza en reducidas zonas de contacto y en metasomatitas calcosilicáticas tabulares.

#### B) Las paragénesis del metamorfismo de contacto en los mármoles y sus caracteres distintivos

En nuestra zona, los fenómenos de contacto están por lo general poco desarrollados, salvo el ejemplo notable de la cantera "El Pozo" en Alta Gracia. Ello se debe a los siguientes factores esenciales:

- 1) La potencia de los cuerpos intrusivos es pequeña en la generalidad de los casos.
- 2) La temperatura durante su emplazamiento fue baja.
- 3) Las zonas de contacto restringidas revelan que la composición del magma denotó poca hidratación y pobreza en elementos volátiles.
- 4) La textura de la roca de campo, por ser el mármol una roca masiva, no es tan fácilmente penetrable por las soluciones metasomáticas infiltrantes como una caliza sedimentaria.
- 5) La estructura de la roca de campo, cuando existen factores estructurales favorables: planos de esquistosidad, diaclasas, fracturas, discontinuidad litológica, etc., será favorecido el emplazamiento de las soluciones residuales, ricas en volátiles, como sucede por ejemplo en la cantera "El Pozo".

Para reconocer las asociaciones de contac-



ELPOZO CANTERA 1 — LENTES DE ESCAPOLITA AZUL

FIG. 6

to, se pueden emplear los criterios siguientes:

- a) Zonado mineral, los minerales tienden a disponerse en bandas monominerales alrededor del contacto. El zonado es bien reconocible especialmente en los contactos de cuerpos discordantes. Un ejemplo son las zonas de granate y wollastonita alrededor de intrusiones lenticulares en Malagueño.
- b) Los minerales tabulares y prismáticos tienden a orientarse con sus ejes mayores normales al contacto. Ejemplo: la tremolita y la flogopita en los mármoles dolomíticos y la wollastonita en los cálcicos.

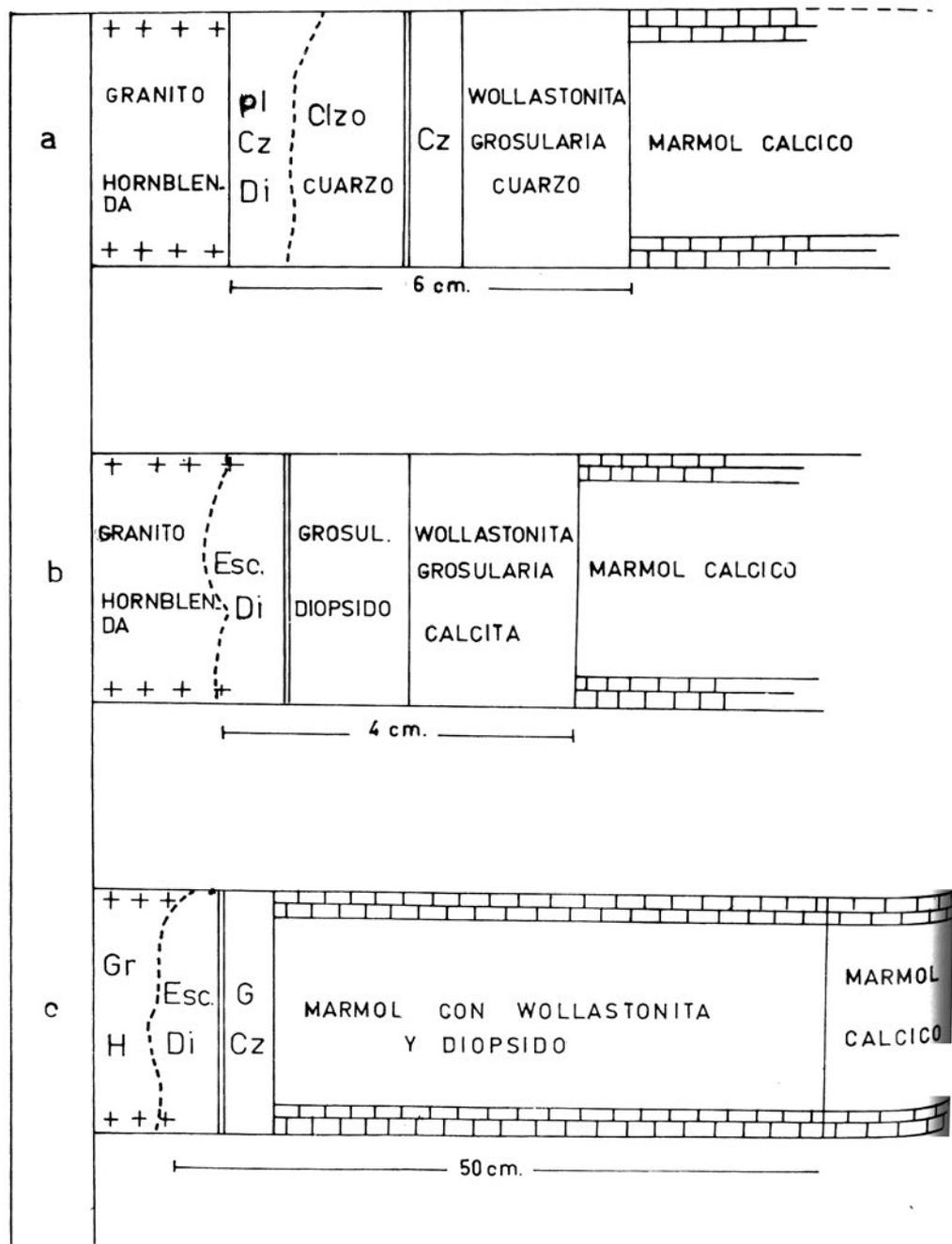


FIG. 7

- c) Presencia de típicos minerales de contacto, ejemplo: la escapolita que se forma por aporte de cloro y calcio; la wollastonita por la introducción de sílice en el mármol adyacente; la condrodita, por el aporte de fluor.
- d) Evidencia de sustitución mutua entre los minerales de una zona de contacto. Ejemplo: la escapolita y el epidoto sustituyen a la plagioclasa en el contacto endomórfico; la hornblenda o actinolita sustituyen al diópsido y la condrodita reemplaza a la forsteria.
- e) Los minerales de contacto son más ricos en elementos volátiles que los de las asociaciones regionales. Ejemplo: la tremolita y la flogopita son más ricos en fluor, la escapolita en cloro.

#### Los skarns zonados de contacto y las metasomatitas calcosilicáticas tabulares sin conexión directa con cuerpos intrusivos

En la Sierra Chica de Córdoba, en general se puede hacer una distinción entre dos tipos de fenómenos metasomáticos en los mármoles: 1) aquellos que constituyen skarns zonados alrededor de un contacto intrusivo y 2) metasomatitas calcosilicáticas tabulares, sin relación directa con contactos intrusivos pero de incuestionable derivación magmática.

Los fenómenos del primer tipo se localizan en los contactos con rocas filonianas y están generalmente poco desarrollados. Los del segundo tipo en cambio, pueden tener grandes dimensiones, constituyendo cuerpos tabulares de varios metros de potencia y cientos de metros de longitud, encontrándose asociados a mármoles cálcicos.

#### Skarns zonados de contacto en las canteras de Alta Gracia

Los mármoles dolomíticos de la zona de Alta Gracia contienen frecuentemente cuerpos intrusivos que se emplazan como diques o como cuerpos concordantes. A menudo se acu-

fian en sus extremos y adoptan formas lenticulares desconectadas y aisladas en el mármol.

En su composición predominan dos tipos de contrastados: 1) filones compuestos esencialmente por microclino y 2) filones compuestos por plagioclasa An 15 y cuarzo. Estos últimos son los más frecuentes; su grano es fino, el color gris claro y las hemos denominado aplitas tonalíticas. Localmente pueden contener núcleos pegmatíticos. La potencia varía desde algunos centímetros hasta varios metros.

La Tabla 1 muestra el modo de las aplitas representativas de las canteras de Alta Gracia.

TABLA 1  
ANÁLISIS MODAL DE LAS  
APLITAS DE ALTA GRACIA

	1	2	3
Plagioclasa	65	68.82	64.9
Cuarzo	30	22.76	31
Microclino	3	6.03	0.41
Biotita	2	2.37	3.39

1, El Pozo; 2, La Isla; 3, Rossi (Valle de Buena Esperanza)

En la cantera "El Pozo" se dan los mejores ejemplos del desarrollo de un skarn zonado a lo largo de un contacto intrusivo y por este motivo los describimos con especial detalle.

La labor principal muestra potentes diques de aplitas tonalíticas, cuyo emplazamiento fue favorecido por una serie de fracturas, cuyo rumbo es variable entre N 50-80 E. En parte, las aplitas se emplazan concordantemente con los planos de esquistosidad de mármol, que tiene un rumbo general de N 45 E y buzamiento casi vertical (fig. 2).

Existen además numerosas estructuras menores que favorecieron la intrusión de venas feldespáticas derivadas de las aplitas mayores (figs. 3 y 4).

Las asociaciones de contacto aparecen distribuidas de la siguiente manera: 1) en zonas

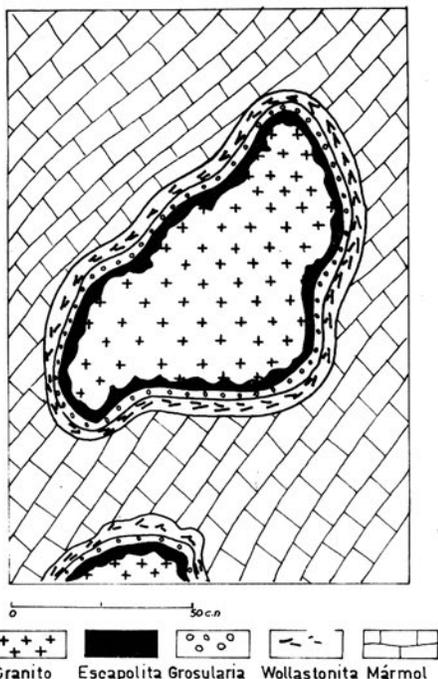


FIG. 8

monominerales paralelas a los contactos aplita/mármol; 2) en zonas monominerales paralelas a venas feldespáticas derivadas de las aplitas mayores y 3) en auréolas alrededor de cuerpos lenticulares aislados en el mármol.

**Contacto aplita-mármol.** La zona marginal de las aplitas (contacto endomórfico) contiene un borde claro, de 20 a 30 cm, compuesto esencialmente por plagioclasa  $An_{35}$ , mucho más cálcica que la de la aplita, acompañada por cantidades menores de diópsido y titanita. El primero tiende a concentrarse más hacia el mármol.

A partir del borde plagioclásico, aparece una zona de escapolita color gris verdoso, superpuesta metamórficamente, con frentes de límites irregulares que avanzan hacia la aplita (figs. 2 y 5a).

El borde básico no siempre está presente, por ejemplo en las canteras Rossi y La Isla, un frente de escapolita, diópsido y titanita reemplaza marginalmente las aplitas (figs. 5d y e).

El contacto exomórfico, hacia el mármol dolomítico, está compuesto por una aureola de 20 a 30 cm de tremolita verde claro, acompañada por flogopita y cantidades menores de apatita. El anfíbol tiende a orientarse con sus prismas normalmente al contacto.

En lugar de tremolita, pueden desarrollarse zonas de transición con diópsido y finalmente forsterita como en la cantera de La Isla (fig. 5d) o bien serpentina y flogopita, como es el caso de la cantera Rossi (fig. 5e).

**Venas feldespáticas.** Están compuestas esencialmente por plagioclasa  $An_{35}$  y algo de hornblenda. En la cantera El Pozo, se nota claramente que derivan como apófisis de las aplitas tonalíticas, no así en Los Nogales, donde además existen venas microclínicas (fig. 5f).

En las zonas endomórficas y exomórficas podemos observar la misma secuencia de zonas monominerales que presentan los contactos aplita-mármol.

**Cuerpos lenticulares.** Aparecen aisladamente, pero son muy llamativos por el desarrollo de grandes masas de escapolita. Los hay desde varios decímetros hasta 1 m de espesor (figs. 5c y 6).

Están compuestos por un núcleo de escapolita azul-violado, con restos de plagioclasa, diópsido, titanita y por las siguientes zonas a partir de la escapolita: diópsido granular verde; hornblenda verde oscura que reemplaza al anterior; una amplia aureola de flogopita acompañada por abundantes granos de apatita celeste y calcita. Finalmente, una zona no bien definida con espinelo y forsterita diseminados en el mármol.

#### Skarns zonados de contacto en las canteras de Malagueño

Estos skarns se desarrollan en mármoles cálcicos o con muy poco magnesio, en los con-

tactos con cuerpos granfíticos. Estos no forman verdaderos filones sino masas lenticulares y frecuentemente ameboidales diseminadas en el mármol (fig. 8). Están compuestos por microclino y cuarzo esenciales, con plagioclasa subordinada y hornblenda accesoria.

tivo de la plagioclasa, mientras que el cuarzo y el microclino permanecen estables. En esta zona se encuentran además, diópsido y titanita.

En la zona exomórfica aparecen los minerales que se enuncian en el siguiente orden: cuarzo, grosularia, wollastonita. En la mayo-

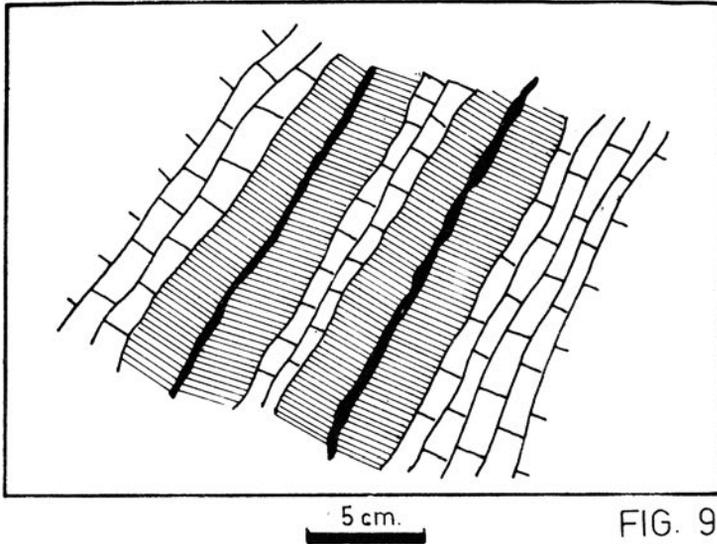


FIG. 9



Beder (op. cit.) los habría observado y los conectó genéticamente con varios afloramientos de un granito hornblendífero de grano grueso que aparecería "en las canteras chicas de Malagueño"... "se notan inclusiones del mismo granito dentro de la caliza cristalina... como bloques desprendidos de la masa principal, con contornos difusos por su disgregación parcial dentro del calcáreo y acompañados de minerales de contacto como ser granate, diópsido y titanita".

Las paragénesis de contacto se desarrollan claramente, a pesar de su pequeño espesor (desde algunos milímetros hasta 2 ó 3 cm de contacto). En la zona endomórfica pueden formarse escapolita o epidoto. No hemos comprobado la coexistencia de los dos minerales, pero ambos se producen por reemplazo selec-

ra de los casos no hay un límite neto entre las zonas y frecuentemente aparecen intercrecidas unas con otras, por ejemplo, la grosularia con cuarzo y diópsido (figs 7a, b y c) y aureolas de wollastonita con mayor o menor amplitud en el mármol.

*Comparación con otras áreas clásicas de contacto:* las observaciones realizadas nos permiten comprobar que los skarn de contacto de la Sierra Chica de Córdoba muestran en pequeña escala la misma evolución que los grandes cuerpos en áreas clásicas de contacto, con el desarrollo de paragénesis comparables a las descritas entre otros por Kemp y Hollick (1894), Lacroix (1899), Hatch y Rastall (1910), Du Toit (1929), Tilley (1951).

### Metasomatitas tabulares sin conexión directa con contactos intrusivos

Estos cuerpos tabulares son frecuentes en la Sierra Chica. Beder (op. cit.) citó numerosos, algunos de hasta 100 m de espesor y 500 m de afloramiento.

Se encuentran emplazados en mármoles cálcicos a los que reemplazan a través de estructuras favorables (esquistosidad, discontinuidad litológica). También se los puede denominar venas de skarns (skarn veins, Pitcher, 1950).

En ellos hemos podido reconocer dos tipos de paragénesis: a) de alta temperatura, constituida por grosularia, wollastonita y diópsido; b) de baja temperatura, compuesta por granate, cuarzo y epidoto, acompañados eventualmente por sulfuros y óxidos de hierro.

**Cerro Piedra Relumbrosa.** En la cumbre del cerro de 973 m, aflora un banco de mármol cálcico de 10 a 15 m de potencia y aproximadamente 50 m de longitud. La roca de campo

es un gneis tonalítico esquistoso, con intercalaciones de anfibolitas. Se encuentran además en la zona, cuerpos intrusivos sin contactos visibles con el mármol.

Los "skarn veins" se encuentran emplazados en el mármol y algunos alcanzan hasta 4 m de potencia. Numerosas venillas de escasos centímetros de espesor, derivadas de los cuerpos principales, reemplazan el mármol a través de estructuras menores.

La asociación mineral se distribuye de la siguiente manera: grosularia a menudo en dodecaedros bien desarrollados en la parte central de la vena, sigue una zona de diópsido con wollastonita y finalmente wollastonita fibrosa orientada normalmente al rumbo de la vena, que penetra en el mármol, (fig. 9).

**Skarn tabular de José de la Quintana.** Se trata de una roca compuesta principalmente por granate, hornblenda, epidoto y cuarzo, acompañados por menas minerales como calcoprita, bornita, calcosina y oligisto. El skarn puede definirse como una verdadera granatita, el epi-

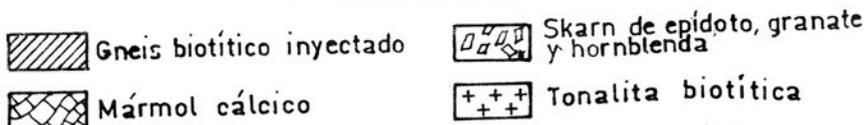
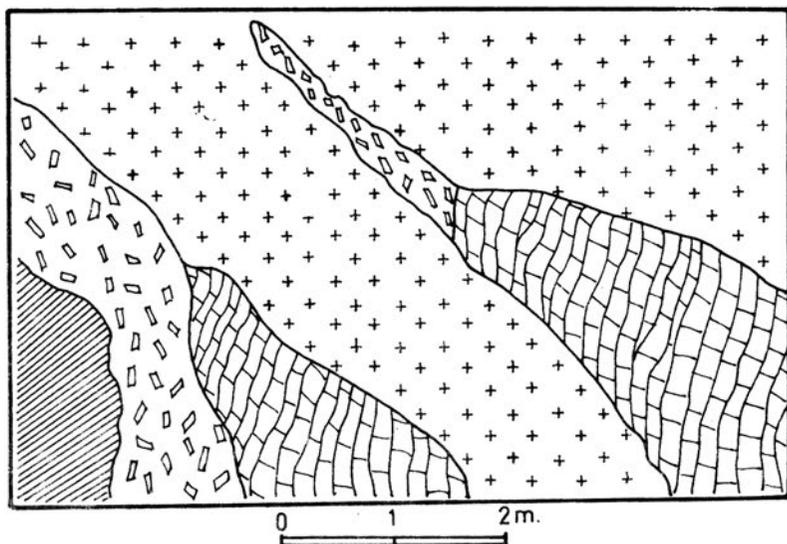


FIG. 10

doto es subordinado y se trata de la variedad común pistacita, el cuarzo contiene la metalización que es bastante pobre.

En la zona se conocen dos tipos de skams: a) metasomatitas en venas que acompañan diques de aplita tonalítica que cortan el basamento. Las aplitas no producen fenómenos de contacto en la caliza, pero varias de ellas van acompañadas en su borde por venas de cuarzo con granate y epidoto. Evidentemente, el skarn nada tiene que ver con el dique aplítico (fig. 10) y sólo aprovechó la estructura favorable que el mismo produjo en la roca de campo. El perfil muestra cómo la skarnización se produce sólo en el banco calcáreo y no en el gneis; b) skams tabulares por alteración de bancos de mármol. El ejemplo más notable lo tenemos en la skarnización de bancos de mármol interpuestos entre esquistos cristalinos.

No han ninguna relación visible con rocas intrusivas. Las soluciones metasomáticas aprovechan aquí estructuras favorables (discontinuidad litológica y esquistosidad) en la misma forma como los clásicos ejemplos de digitaciones en bancos calcáreos que alternan con sedimentos no reemplazables (fig. 11).

En general, la mineralización es pobre y se produjo en la última etapa del proceso de skarnización. Aparece asociada al cuarzo y se

compone principalmente de sulfuros: calcopirita, bornita, calcosina y especularita.

### Descripción y propiedades ópticas de los minerales de contacto

**Escapolita.** Es uno de los minerales más frecuentes y se presenta en hábitos y colores variables. El clivaje y hábito columnar están bien desarrollados en los bordes básicos de las aplitas, los colores varían del blanco al gris, pero también es muy común la variedad masiva granular, sobre todo en los contactos pequeños. La escapolita lenticular generalmente presenta buen hábito y clivaje y un intenso color azul-violado.

La Tabla 2 muestra las propiedades ópticas y la composición de las escapolitas calculada en base a la semisuma de los índices de refracción, según el diagrama de Deer et al. (1962). La mayoría de ellas cae dentro de los límites de la mizzonita (50-70% Meionita). Sólo hay una excepción con la muestra N<sup>o</sup> 7).

La fig. 12 muestra la relación entre la composición en % de meionita y la birrefringencia, ésta última aparece con valores mayores a los dados por Deer et al. (op. cit.) en el dia-

TABLA 2

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
$\omega$	1.580	1.572	1.583	1.582	1.583	1.572	1.563	1.580	1.577	1.585	1.572
$\epsilon$	1.552	1.548	1.556	1.551	1.551	1.550	1.544	1.552	1.550	1.551	1.550
$\Delta$	0.028	0.024	0.027	0.031	0.032	0.022	0.019	0.028	0.027	0.034	0.022
$\frac{\omega + \epsilon}{2}$	1.566	1.560	1.569	1.566	1.567	1.561	1.553	1.566	1.566	1.568	1.561
% Me	63	52	68	63	64	53	38	63	63	67	56

1, La Isla, vena de escapolita; 2, La Isla, zona marginal de aplita; 3, El Pozo, escapolita azul en lente; 4, El Pozo, vena de escapolita blanca; 5, El Pozo, escapolita blanca en vena; 6, Valle Buena Esperanza, zona marginal de aplita; 7, Valle Buena Esperanza, escapolita en vena; 8, Los Nogales, vena gris; 9, Los Nogales, vena violada; 10, Los Nogales, zona marginal de aplita; 11, Cantera Malagueño, zona marginal de granito

grama. Esto se debe a que nuestras escapolitas son más ricas en  $\text{CO}_2$  que las normales.

La fig. 13 muestra la relación entre la composición química de tres escapolitas de El Pozo y la birrefringencia.

**Clinozoicita.** La variedad thulita rosada es notable en El Pozo, donde los cristales pueden tener hasta medio centímetro. Sus propiedades ópticas son las siguientes:  $a : 1.706$ ,  $\beta : 1.710$ ,  $\gamma : 1.712$ ,  $\gamma - a : 0.006$ .

La clinozoicita de Malagueño es masiva y aparece en el endocontacto reemplazando a la plagioclasa.

**Diópsido.** Se presenta asociado a la escapolita en el endocontacto, en granos y también como prismas cortos. En el exocontacto constituye agregados masivos color verde oscuro. Asociado a la wollastonita, se encuentra como gránulos subredondeados.

Las propiedades ópticas de algunos diópsidos se dan en la Tabla 3.

TABLA 3

	1	2	3	4	5
$a$	1.675	1.662	1.688	1.670	1.662
$\gamma$	1.701	1.698	1.718	1.700	1.700
$\wedge$	0.026	0.036	0.030	0.030	0.038
$Z \wedge \gamma$	-	-	42	-	-

1, La Isla, exocontacto; 2, El Pozo, endocontacto; 3, Malagueño, exocontacto; 4, Malagueño, exocontacto; 5, C<sup>o</sup> Piedra Relumbrosa, asociado a wollastonita.

**Tremolita.** Es el componente más frecuente de la zona exomórfica, y se concentra en bandas monominerales en los contactos, puede aparecer sólo o asociado a flogopita. Alrededor de cuerpos lenticulares de escapolita se desarrolla en prismas verde claro de 1-2 cm orientados normalmente al contacto, pero es más frecuente que se concentre en masas compactas en el mármol (zona exomórfica). No está en equilibrio con el diópsido y cuando aparecen juntos tiende a sustituirlo.

Las mejores muestras se encuentran en la cantera "El Pozo", siendo sus propiedades ópticas las siguientes:  $a : 1.608$ ,  $\gamma : 1.634$ ,  $z \wedge c : 19^\circ$ , lo que indica un 90% de tremolita, según el diagrama de Deer et al. (op. cit.). **Homblenda.** Es mucho menos frecuente que la tremolita, pero a veces aparece en lugar de ésta en la zona exomórfica. Su color es negro y forma prismas de hasta un centímetro que se orientan normalmente al contacto.

Las propiedades ópticas:  $a : 1.631$ ,  $z \wedge c : 26^\circ$ , indican una homblenda común rica en magnesio.

**Flogopita.** Se encuentra comúnmente asociada a tremolita en el exocontacto. Es generalmente incolora,  $2V : 0^\circ$  pero cuando aumenta el contenido en hierro se vuelve parda y pasa a biotita, variando entonces el  $2V$  entre  $0$  y  $50^\circ$ .

**Titanita.** Aparece en agregados granulares pequeños y también como cristales de buen hábito y color marrón. Acompaña las venas de plagioclasa y está asociada con escapolita y diópsido en el endocontacto.

**Wollastonita.** Se encuentra formando agregados fibrosos o como prismas de hábito corto en el exocontacto de los mármoles cálcicos. La Tabla 4 muestra las propiedades ópticas de dos típicas wollastonitas.

TABLA 4

	2	1
$a$	1.621	1.622
$\beta$	1.629	1.630
$\gamma$	1.630	1.632
$\delta$	0.009	0.010

1 - Cantera Malagueño, exocontacto en mármol  
2 - Cerro Piedra Relumbrosa, reemplazando mármol.

**Granate.** El "skarn vein" de Piedra Relumbrosa contiene dodecaedros rómbicos casi perfectos, que varían desde blancos a rosados. Su índice de refracción 1.737, indica una grosularia casi pura.

En Malagueño se presenta en agregados masivos en el exocontacto y su índice 1.784 indica un 26% de andradita.

En José de la Quintana, este mineral constituye la mayor parte del skarn, presentándose en agregados masivos. Su índice de refracción, de 1.785 indica también un 26% de andradita.

#### El mecanismo del proceso metasomático

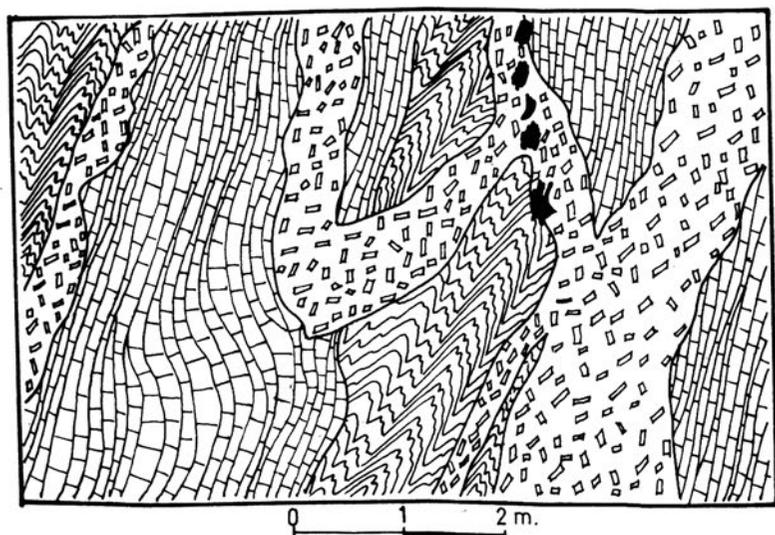
Como es sabido, en el metasomatismo de contacto, el mecanismo dominante es la infiltración de iones hidratados bajo gradientes de actividad química. Los iones de la fase fluida emigran hacia la fase sólida (de menor actividad) y para restablecer el equilibrio, pasan iones de la fase sólida a la fluida. Los minerales se distribuyen regularmente alrededor de la fuente de origen, constituyendo un zonado metasomático (figs. 5 y 7). Pero las zonas representan

aquí distinta composición química y se producen debido a que en el frente de infiltración no todos los iones tienen la misma movilidad, produciéndose barreras de distinta permeabilidad que actúan como un filtro. Esto es lo que Korzhinsky (1950), llamó "efecto de filtración".

En el metasomatismo de nuestros skarns se pueden reconocer casi siempre las dos fases genéticas principales y la secundaria de Semenenko (1964):

- 1) *Metasomatismo magnético*. Se produce durante el emplazamiento del cuerpo intrusivo. El magma ácido reacciona metasomáticamente con la roca calcárea y se contamina marginalmente con calcio. A menudo se forma un borde endomórfico de plagioclasa que cristaliza antes que el intrusivo y detiene el intercambio. En otros casos, la contaminación no forma una zona continua, sino que se manifiesta por un

#### CANTERA "JOSE de la QUINTANA"



 Gnes biotítico inyectado  
 Mármol cálcico

 Sulfuros (calcopirita- bornita en asociación con cuarzo).  
 Skarn de epidoto, granate y hornblenda.

FIG. 11

enriquecimiento marginal y desordenado de wollastonita-grosularia-plagioclasa y piroxeno. Tilley (op. cit.) también denominó a esta fase "zona primaria".

2) *Metasomatismo postmagnético*. Está asociado a soluciones hidrotermales de grado medio a alto, ricas en volátiles (F, Cl, P, CO<sub>2</sub>). Los minerales de la paragénesis anterior son ahora inestables y tienden a ser reemplazados. Los feldespatos pasan a escapolita y/o zoicita, el piroxeno a homblenda o tremolita-actinolita.

Aparecen flogopita, apatita, titanita y el olivino es reemplazado por la condrodita. Esta fase es comparable con la "zona secundaria" de Tilley, (op. cit.).

3) *Metasomatismo post-skarn*. Está asociado a soluciones hidrotermales de baja temperatura, donde el agua adquiere su máximo potencial iónico. La homblenda se transforma en clorita, el olivino, la tremolita y la flogopita en serpentina o talco; la escapolita y epidoto en zeo-

litas. Aparecen, además, ciertos sulfuros como piritita, calcopiritita y bombita, además de calcita secundaria y eventualmente calcedonia.

En el contacto de un cuerpo intrusivo con rocas calcáreas puede faltar alguna de estas fases o estar todas tan poco desarrolladas que parecen inexistentes. El desarrollo de las mismas es efectivamente muy variable, pues depende de varios factores: 1) la temperatura y potencia del cuerpo intrusivo, 2) grado de hidratación y riqueza en elementos volátiles, 3) composición de la roca de campo, 4) estructuras favorables para la infiltración de los flúidos metasomáticos.

En los fenómenos metasomáticos que se ha estudiado, el mejor desarrollado se encuentra en la zona de Alta Gracia, especialmente en la cantera El Pozo. Ello se debe a la existencia de cuerpos intrusivos potentes, hidratados y ricos en volátiles, y estructuras favorables en la roca de campo, la cual fue muy fracturada durante

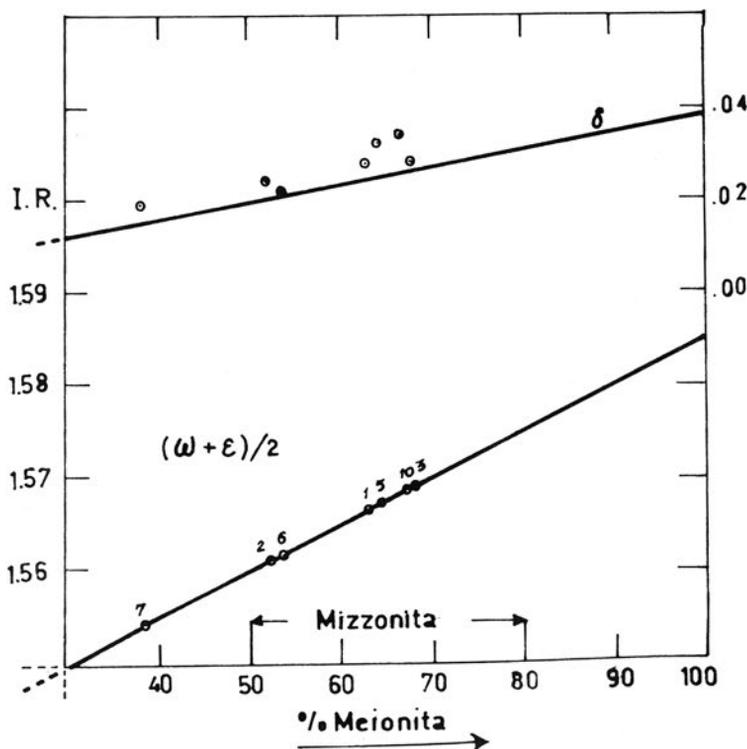


FIG. 12

el emplazamiento de los diques intrusivos.

En la zona crítica del contacto, la asociación sufre el primer cambio (fase magnética). Los potenciales químicos del Ca, Mg y Fe, alcanzan valores altos y deben redistribuirse en nuevas asociaciones, que se adaptan al quimismo dominante y a las condiciones de presión y temperatura.

En esta fase, predomina el metasomatismo cálcico, tanto en dolomitas como en calizas. La movilidad iónica puede establecerse como sigue:



El calcio emigra hacia el endocontacto, el magnesio opera en el exocontacto. Se constituye así, una asociación anhidra de alta temperatura. Pero más tarde surgen nuevas condiciones: el cuerpo intrusivo ha entrado en el estado hidrotermal (postmagnético). Fluidos ricos

en volátiles aprovechan las líneas estructurales del contacto primario y producen nuevas paragénesis a expensas de la anterior, o produciendo otras nuevas.

El metasomatismo alcanza su máxima actividad debido a que los elementos aportados por el magma (Si - F - Cl - P - CO<sub>2</sub> - OH), llegan como aniones hidratados de pequeño radio iónico y gran poder de infiltración. Predomina el metasomatismo neumatólfico y todos los minerales que se forman contienen oxhidrilo o un elemento volátil.

El ciclo metasomático concluye con una fase hidrotermal de baja temperatura, (estadio postskarn), que produce hidratación de las paragénesis anteriores y que puede ser portadora de metales valiosos, que deposita como sulfuros.

Si analizamos el zonado metasomático que se produce en el contacto de un intrusivo

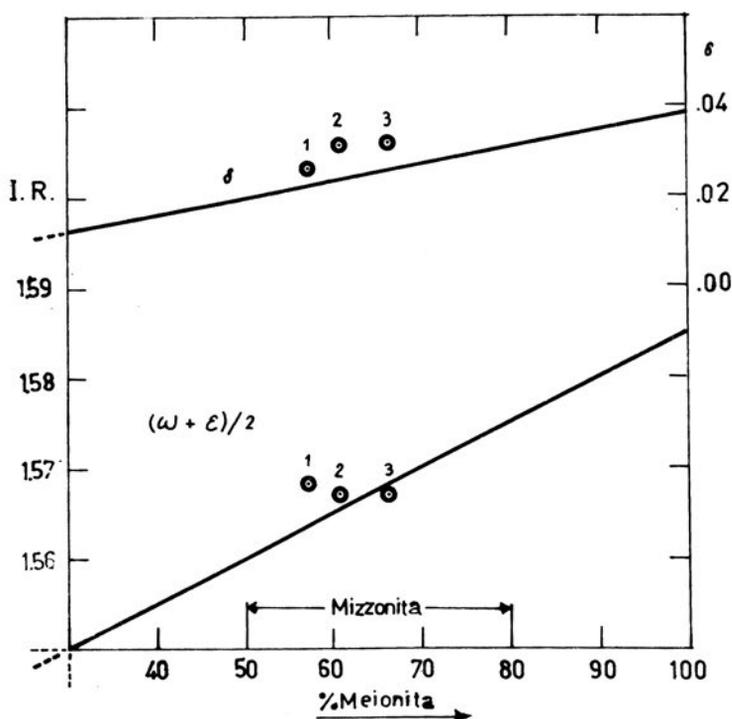


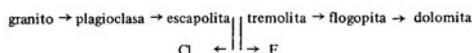
FIG. 13

ácido y mármol cálcico, tenemos el siguiente incremento de calcio:

%CaO	3	→	10	→	23	→	48	→	56
	granito		plag.		grosul.		wollast.		mármol

La plagioclasa representa el punto más avanzado de la contaminación cálcica del intrusivo, pero al mismo tiempo se descubre que el calcio emigra en un sentido y el aluminio y el silicio en sentido contrario, esto es el bimetasomatismo de Korzhinsky. Además se ve que la sílice es más móvil que la alúmina.

En el zonado postmagmático de un contacto granito/dolomita, tenemos:



El cloro alcanza su máximo avance en la escapolita y en el sentido contrario, el fluor lo hace con la tremolita (Gordillo, 1965).

Sin entrar en la complejidad físico-química de la infiltración, podemos establecer que el fenómeno químico principal consiste en el desplazamiento de un frente ácido, de origen magmático, que va siendo progresivamente neutralizado por el frente básico de la roca cal-

cárea. El quimismo de los minerales y su posición en la zona de contacto, estará sujeto a este intercambio en dos sentidos.

Un ejemplo muy ilustrativo de estos procesos es el reemplazo de la plagioclasa por la escapolita, Gordillo (op. cit.), Gordillo y Rossi (1968), fenómeno que sólo se produce en las zonas de contacto, bajo condiciones no bien conocidas, pero sin duda sujetas a una cierta concentración de cloro en los fluidos hidrotermales. Por ser la escapolita el único mineral de cloro que se forma bajo tales condiciones, puede servir como un indicador de la composición de dichas soluciones.

Los cambios químicos que se producen se caracterizan por una notable introducción de calcio, además de CO<sub>2</sub>, Cl, y OH y una remoción de Si y Na; el Al se mantiene prácticamente inmóvil.

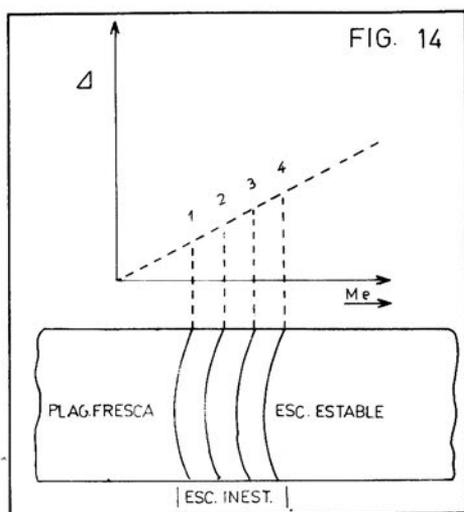
El intercambio de material se produce a través de una interfase que opera entre la plagioclasa inalterada y la escapolita en equilibrio. Partiendo de la primera, se forman zonas de escapolita cada vez más cálcica y por consiguiente menos sódica, hacia la escapolita en equilibrio (fig. 14).

El fenómeno se hace visible debido a que en las escapolitas la birrefringencia aumenta notablemente con el contenido de calcio, lo cual origina en la observación microscópica bandas de color de birrefringencia creciente hacia la escapolita estable. El fenómeno está de acuerdo con el concepto de zonado metasomático de Korzhinsky (op. cit.). Según el mismo, la infiltración se produce por avance continuo de las zonas exteriores sobre las interiores del frente y si bien la conversión mineral se produce en el límite de la zona frontal, el cambio de composición en mezclas isomorfas se produce dentro de las zonas.

Los reemplazos de escapolita se producen casi exclusivamente en la plagioclasa y sólo raramente se los ha observado en feldespato alcalino y apatita.

### Conclusiones

En base a las observaciones realizadas, se



pueden establecer las siguientes conclusiones:

1.- Los minerales accesorios de los mármoles de la Sierra de Córdoba, son en su mayor parte, producto del metamorfismo regional que afectó al basamento cristalino.

2.- El grado metamórfico alcanzado no supera la facies de anfibolitas.

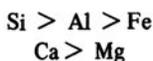
3.- Los fenómenos de contacto entre mármoles y cuerpos intrusivos están en general poco desarrollados en la Sierra Chica de Córdoba, debido a la poca permeabilidad de la roca metamórfica y a la escasez de volátiles en las intrusivas como consecuencia de la gran profundidad a que se realizó el fenómeno.

4.- Como en ciertas zonas, los cuerpos intrusivos son muy frecuentes, por ejemplo Alta Gracia, Malagueño, San Antonio, etc., los fenómenos de contacto están siempre presentes y muestran, si bien en pequeña magnitud, el mismo desarrollo que en áreas clásicas de contacto.

5.- En los contactos las asociaciones minerales son zonadas y tienden a producir bandas monomineralizadas.

6.- La asociación mineral depende naturalmente de la composición original del mármol y del cuerpo intrusivo; pero es importante ubicar la asociación dentro de las siguientes fases genéticas: a) estadio magmático; b) estadio postmagnético y c) estadio postskarn.

7.- El fenómeno metasomático se produce, en general, en dos sentidos (bimetasomatismo de Korzhinsky): un frente ácido de sílice y alúmina emigra hacia el mármol y un frente básico de calcio se desplaza hacia el cuerpo intrusivo. Esto origina zonas endomórficas y exomórficas. La movilidad de los iones puede expresarse como sigue:



8.- Uno de los fenómenos más notables que se describe en este trabajo es la generación de escapolita metasomática a expensas de la plagioclasa. Se aclara el mecanismo de formación y el lugar donde debe aparecer en todo contac-

to. Se clasifican, en base a las propiedades ópticas, numerosas escapolitas de la provincia de Córdoba.

9.- Existen en Córdoba, además, metasomatitas calcosilicáticas sin conexión directa con cuerpos intrusivos, pero de incuestionable derivación magnética. Son verdaderos skarns y eventualmente alcanzan importancia económica. Se trata de cuerpos tabulares que reemplazan el mármol a través de estructuras favorables (esquistosidad, discontinuidad litológica) y producen asociaciones minerales de alta temperatura, como wollastonita, granate, y diópsido; o de baja temperatura como epidoto, granate y cuarzo. En algunas partes van acompañadas de un estadio postskarn con depósito de sulfuros y óxidos de hierro.

#### BIBLIOGRAFIA

- BEDER, R. 1922. Estudios geológicos en la Sierra de Córdoba, especialmente de las calizas cristalino-granulosas y sus fenómenos de metamorfismo.- Boln Dir. gen. Minas Geol. Hidrog., B. Aires. 33.
- BOWEN, N. L., 1940. Progressive metamorphism of siliceous limestones and dolomites.- J. Geol. 48: 225.
- DEER, W. A., HOWIE, R. A. and ZUSSMAN, M. A. 1962. Rock Forming Minerals. Longmans. London.
- DU TOIT, A. L. 1929. The geology of the Marble Delta, Natal.- Jl. geol. Soc. Lond. 75: 119.
- GORDILLO, C. E. y ROSSI, J. N. 1968. La Escapolita de la cantera El Pozo, Alta Gracia.- Terceras Jorn. Geol. Arg., Chubut, 3: 1-11.
- GORDILLO, C. E. 1965. Variaciones químico-mineralógicas en el contacto de una aplita con mármol dolomítico.- Boln Acad. nac. Cienc. Córdoba, 44: 1-4.
- HATCH, F. H. and RASTALL, R. H. 1910. Dedolomitization in the marble of Fort Shepstone Natal.- Jl. geol. Soc. Lond. 66: 507.
- KEMP, J. F. and HOLLICK, A. 1894. The granite at mounts Adam and Eve, Warwick, Orange Co. N.Y. and its contact phenomena.- Ann. Acad. Sci. 7: 638.
- KORZHINSKY, R.D.S. 1950. Differential mobility of components and metasomatic zoning in metamorphism.- 18 th Internat. Geol. Cong. Repts. London. part. III. p. 65-72.

- LACROIX, F. 1899. Contributions a l'étude des gneiss a pyroxene et des roches a wernerite.- Bull. Soc. fr. Minér. 12: 83.
- PASTORE, F. 1932. Hoja 20i del Mapa Geológico de la Argentina. Región oriental media de la Sierra de Córdoba.- Boln Dir. Minas Geol., B. Aires, 36.
- PITCHER, W. S. 1950. Calc-silicate skarns veins in the limestone of Laugh Anure, Co. Donegal.- Mineralog. 29: 126-141.
- SEMENENKO, N. P. 1964. The genesis and the classification of skarns. Kristalinikum II. Checoslovaquia.
- STELZNER, A. 1873. Mineralogische Beobachtungen in gebiete der Argentinischen Republik. Tchernak's Mineralogische Mittheilungen. p. 219.
- TILLEY, C.E. 1951. The zoned contact skarns of the Broadford area, Skye. A study of boron-fluorine metasomatism in dolomites.- Mineralog. 29: 621.
- WINCHELL, A. N. 1951. Elements of Optical Mineralogy. Part. II. Wiley.

**J. N. R. de TOSELLI**

Fundación Miguel Lillo

Miguel Lillo 251

4000 San Miguel de Tucumán

República Argentina