



## Metagabros y Eclogitas Asociadas en el Área de Barragán, Departamento del Valle, Colombia.

HUMBERTO GONZALEZ IREGUI

INGEOMINAS, Apartado Aéreo 65160, Medellín, Colombia.

GONZALEZ I., H. (1997): Metagabros y Eclogitas Asociadas en el Área de Barragán, Departamento del Valle, Colombia.- GEOLOGÍA COLOMBIANA, 22, pgs. 151-170, 7 Figs., 9 Tablas, Santafé de Bogotá.

**Resumen:** Cuerpos pequeños de metabasitas se encuentran relacionados a las rocas del Complejo Arquía a lo largo del límite entre las cordilleras Central y Occidental de los Andes Colombianos. El cuerpo localizado cerca a Barragán, Departamento del Valle, contiene gabros troctolíticos, donde se conservan claramente la textura y mineralogía de la roca ígnea original, gabros parcialmente anfibolitizados, metagabros granatíferos y eclogitas.

Conjuntamente con los cambios texturales y mineralógicos, en estas rocas se observan variaciones geoquímicas regulares: MgO decrece de 24% a 11% mientras que el CaO y Na<sub>2</sub>O aumentan de 7% a 11% y de 2% a 3% respectivamente; además el contenido de algunos elementos trazas como Sr, Y, Nb, Zr, Sc aumenta mientras disminuye el de Ni y Cr del gabro troctolítico hacia la eclogita, y el gabro anfibolitizado muestra valores dispersos alrededor de los del gabro troctolítico. Estas variaciones geoquímicas son inherentes a las diferencias en el protolito: un gabro fraccionado que varía desde olivínico a clinopiroxénico. Algunos efectos metasomáticos observados no modifican la tendencia general de los elementos mayores.

Los cambios petrográficos y en la química de las fases minerales son el resultado de una circulación de fluidos sinmetamórficos combinada, posiblemente con deformación por cizallamiento, conservándose la textura y química del protolito cuando la circulación de fluidos y/o el cizallamiento no fueron significativos. Por el contrario, cuando estos dos fenómenos fueron efectivos, ocurrió la formación de las eclogitas. Posteriormente, en una etapa de anfibolitización bajo condiciones de la facies esquistos verde, se forman los gabros anfibolitizados y la eclogita sufre diaforesis.

*Palabras claves:* Metabasitas, Metagabros, Eclogitas, Departamento del Valle, Colombia

**Abstract:** Small metabasite bodies are found related to the rocks of the Arquía Complex along the limits between the Central and Western cordilleras of the Colombian Andes. The body, located near Barragán, Departamento del Valle, contains troctolite gabbros, where the texture and mineralogy of the original igneous rock is conserved, as well as partially amphibolitised gabbros, garnetiferous metagabbros and eclogites.

With the textural and mineralogical changes, regular geochemical changes are observed: MgO decreases from 24% to 11% while CaO and Na<sub>2</sub>O increases from 7% to 11% and from 2% to 3% respectively; furthermore, the content of some trace elements like Sr, Y, Nb, Zr, and Sc increases while Ni and Cr decrease from the troctolitic gabbro to the eclogite and the amphibolitised gabbro shows disperse values near those of the troctolitic gabbro. These geochemical variations are inherent to the differences in the protolith: a fractionated gabbro that varies from olivinic to clinopyroxenic. Some metasomatic effects were observed, but they do not modify the general tendency of the mayor elements. Petrographic and chemical changes in the mineral phases are the result of sinmetamorphic fluid circulation probably combined with deformation by shearing, conserving the protolith texture and chemistry when the fluid circulation and/or shearing were not significant. On the contrary, when both events were effective, the formation of eclogite occurred. Later, the entire body underwent a retrogressive amphibolitic stage under greenschist facies conditions, responsible for the formation of amphibolitized gabbro and for the retrogression of the eclogite.

*Key words:* Metabasites, Metagabbros, Eclogites, Valle Department, Colombia

### INTRODUCCION

La zona de estudio se halla localizada en la parte centro-sur de la Cordillera Central, uno de los ramales en los cuales se subdivide la Cadena Andina en el territorio

colombiano (Fig. 1).

Geológicamente, el área se encuentra en el Complejo Arquía (MAYA & GONZÁLEZ 1995; INGEOMINAS 1992) o Rosario (McCOURT 1984) (Fig.1). El Complejo Arquía está constituido

por unidades limitadas tectónicamente por fallas del Sistema Cauca-Romeral. Estas unidades pueden subdividirse de acuerdo a las variaciones litológicas predominantes en el área de estudio, en esquistos anfibólicos y anfibolitas con los cuales cerca a Barragán se relacionan esquistos de glaucofana (Fig. 2). El Complejo Arquía estuvo sometido a dos eventos metamórficos principales: uno en condiciones de la facies de esquistos de glaucofana y otro en condiciones de facies anfibolita, pero no necesariamente todas las unidades del Complejo muestran evidencias de los dos eventos.

Afloran en el área de Barragán, Génova y Pijao varios cuerpos de metabasitas, alargados en sentido norte-sur, pero generalmente de dimensiones reducidas; estos cuerpos, conjuntamente con algunas rocas máficas y ultramáficas serpentinizadas, se han considerado como porciones de secuencias ofiolíticas desmembradas (ESPINOSA 1985; ALVAREZ 1989; INGEOMINAS 1992). Los cuerpos de metabasita están constituidos por anfibolitas, metagabros y localmente eclogitas (FEININGER 1982) e incluyen localmente metapelitas y esquistos de glaucofana (MÉNDEZ & ZAPATA 1985). El cuerpo estudiado se encuentra al oeste de la población de Barragán (Fig. 2) y contiene además de las ultramafitas serpentinizadas, troctolitas, gabros anfibolitizados, metagabros granatíferos y eclogitas.

El objetivo de este estudio es definir los fenómenos y factores que produjeron esta variación litológica tan marcada en un cuerpo de dimensiones reducidas, así como conocer la composición del protolito y determinar si el cuerpo de roca básica y las rocas encajantes han tenido la misma historia metamórfica.

## RELACIONES DE CAMPO

El cuerpo de Barragán, en afloramiento, está constituido principalmente por peridotitas serpentinizadas a las cuales se asocian tectónicamente (Fig. 2b) eclogitas retrógradas, troctolitas con textura ígnea bien conservada, gabros uralíticos y metagabros granatíferos. En general, los afloramientos están meteorizados, no son continuos y por lo tanto las relaciones espaciales entre los diferentes litotipos son difíciles de establecer. En el sitio se encuentra una cantera de la cual se obtiene material para afirmado de las carreteras en la región y por ello la explotación, en ocasiones, permite obtener muestras más frescas y representativas de la unidad. La cantera tiene unos 50 m de largo por unos 3 m de altura y en ella, de forma general, se pueden observar las siguientes relaciones (Fig. 2b):

Un metagabro troctolítico alterado con exfoliación dentro del cual se observan zonas de roca fresca y maciza,

seguido, en dirección E-W, por un gabro anfibolitizado. Entre estos dos litotipos hay un metagabro troctolítico intensamente fracturado con abundantes venas de carbonato. Luego aparece metagabro troctolítico seguido de una zona de derrubio después de la cual se encuentran el gabro anfibolitizado y el metagabro granatífero. Debido a las malas exposiciones y a las condiciones tectónicas del área, es imposible definir las relaciones de campo entre el metagabro granatífero y las eclogitas circundantes. En la zona periférica del cuerpo, cuando se observa el contacto entre la eclogita y la roca encajante, la textura de la eclogita es foliada.

## TECNICAS ANALITICAS

Los análisis de óxidos de elementos mayores y menores, excepto MgO y Na<sub>2</sub>O, fueron efectuados en el laboratorio químico del INGEOMINAS, por el método de absorción atómica, las pérdidas por ignición a 1000°C por gravimetría y el CO<sub>2</sub> por volumetría. Los análisis de microsonda fueron efectuados en INGEOMINAS utilizando un microscopio electrónico de barrido SEM 505 con microsonda EDX 9100.

La fórmula estructural y el estado de oxidación del hierro en los clinopiroxenos y granates analizados fueron calculados por el método de balance de cargas (NEUMANN 1976) y en los anfíboles de acuerdo a las sugerencias de ROBINSON *et al.* (1982). La determinación de Rb y Sr se efectuó en la Universidad de São Paulo (Brasil), por dilución isotópica utilizando un espectrómetro Micromass MS 30 por cortesía del doctor Umberto Cordani. Los errores (2SE) para las relaciones <sup>87</sup>Sr/<sup>86</sup>Sr se encuentran en la Tabla 8.

## PETROGRAFIA

### Troctolita

Este tipo de gabro en muestra de mano es macizo y en sección delgada muestra una textura "cúmulo" (Fig. 3a) con olivino (Fo<sub>78</sub>), plagioclasa zonada desde An<sub>69</sub> en el núcleo hasta An<sub>59</sub> en el borde en los cristales gruesos y desde An<sub>69</sub> en el núcleo a An<sub>55</sub> en el borde para los cristales finos, apatito y opacos como fases cúmulos y clinopiroxeno (En<sub>46</sub> Fs<sub>10</sub> Wo<sub>44</sub>), anfíbol pardo (Kaersusita magnésica) y mica parda como fases intercúmulos. El clinopiroxeno presenta textura poiquilítica. Con base en la textura y la composición mineralógica (Tabla 1) estos gabros se han clasificado como troctolitas (IUGS, 1974).

La Tabla 2 muestra los análisis químicos de las principales fases minerales. El olivino, clinopiroxeno, anfíbol pardo, mica parda e ilmenita son homogéneos, no zonados, mientras que la plagioclasa muestra zonación.

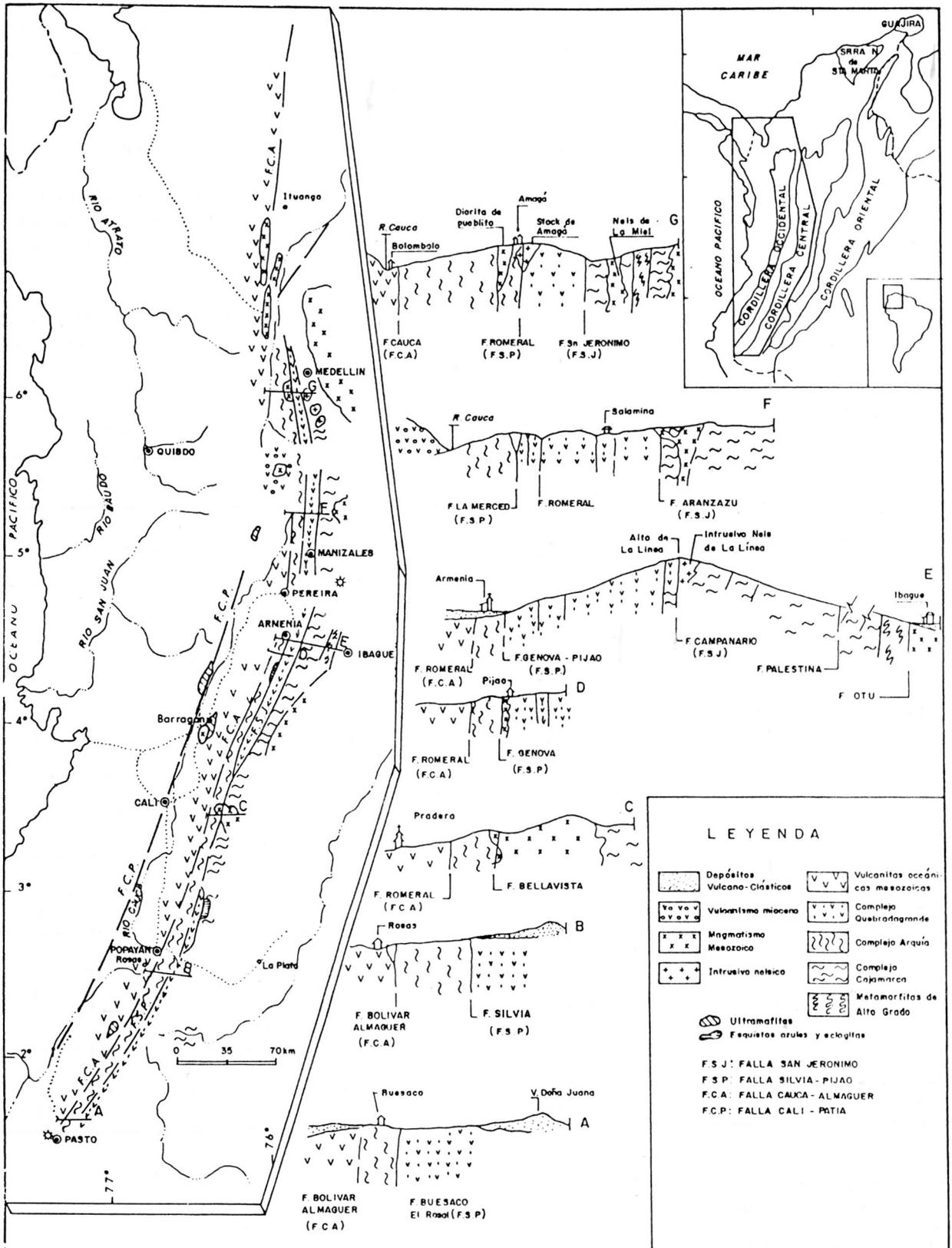


Fig. 1. Esquema geológico regional del flanco occidental de la Cordillera Central, Departamentos del Valle y Quindío (tomado de MAYA & GONZÁLEZ 1995).

La parte triturada, de aspecto carbonoso debido a intensa milonización del metagabro troctolítico, está cortada por numerosas venillas de carbonato agrupadas subparalelamente. Estas venas cortan todas las fases minerales. Las fases primarias aparecen frescas con excepción del olivino que algunas veces aparece transformado en un agregado microcristalino de color pardo naranja (iddingsita?) y opacos.

**Gabro Anfibolitizado**

Este gabro, en muestra de mano, es de color verdoso a gris verdoso con estructura maciza a ligeramente foliada. Algunas veces, especialmente cerca a los contactos con la

troctolita, tiene apariencia granulada (triturada) y está cruzado por delgadas venas de carbonato, clorita y anfíbol. Al microscopio presenta una textura ígnea similar a la de la troctolita pero con el olivino y plagioclasa primarias reemplazados por agregados constituidos fundamentalmente por clorita y anfíbol verde (Fig. 3b).

El clinopiroxeno está reemplazado por anfíbol verde y óxidos de Ti. Anfíbol pardo, ilmenita y ocasionalmente plagioclasa están presentes como relictos de minerales magmáticos primarios.

El anfíbol de neoformación es actinolita y hornblenda actinolítica de acuerdo a la clasificación de LEAKE (1978) y

**TABLA 1**  
Análisis modales (N = 1000 puntos), de muestras del área de Barragán (contenido en porcentaje)

MUESTRA	1	2	3	4	5	6	7
OLIVINO	41						
PLAGIOCLASA	45	4	3				
CLINOPIROXENO	4		13				
ANFIBOL I	3	3					
BIOTITA	0.6						
ILMENITA	2						
ANFIBOL II	4	52	69	46	58	43	37
CLORITA		29					
OPACOS		11	2	2		2	
TALCO		1					
MICA BLANCA			4	5	1	1	1
GRANATE			9	17	14	4	7
ONFACITA				22	5	17	30
EPIDOTA				3	2	19	18
* ALBITA				5	14	11	4
RUTILO					6	3	3

- 1 Gabro troctolítico
- 2 Gabro anfibolitizado
- 3 Metagabro granatífero
- 4-7 Eclogitas
- ANFIBOL I = Anfíbol magmático pardo
- ANFIBOL II = Anfíbol metamórfico
- \* Incluye Anfíbol en crecimiento simplectítico con Albita (Ab).

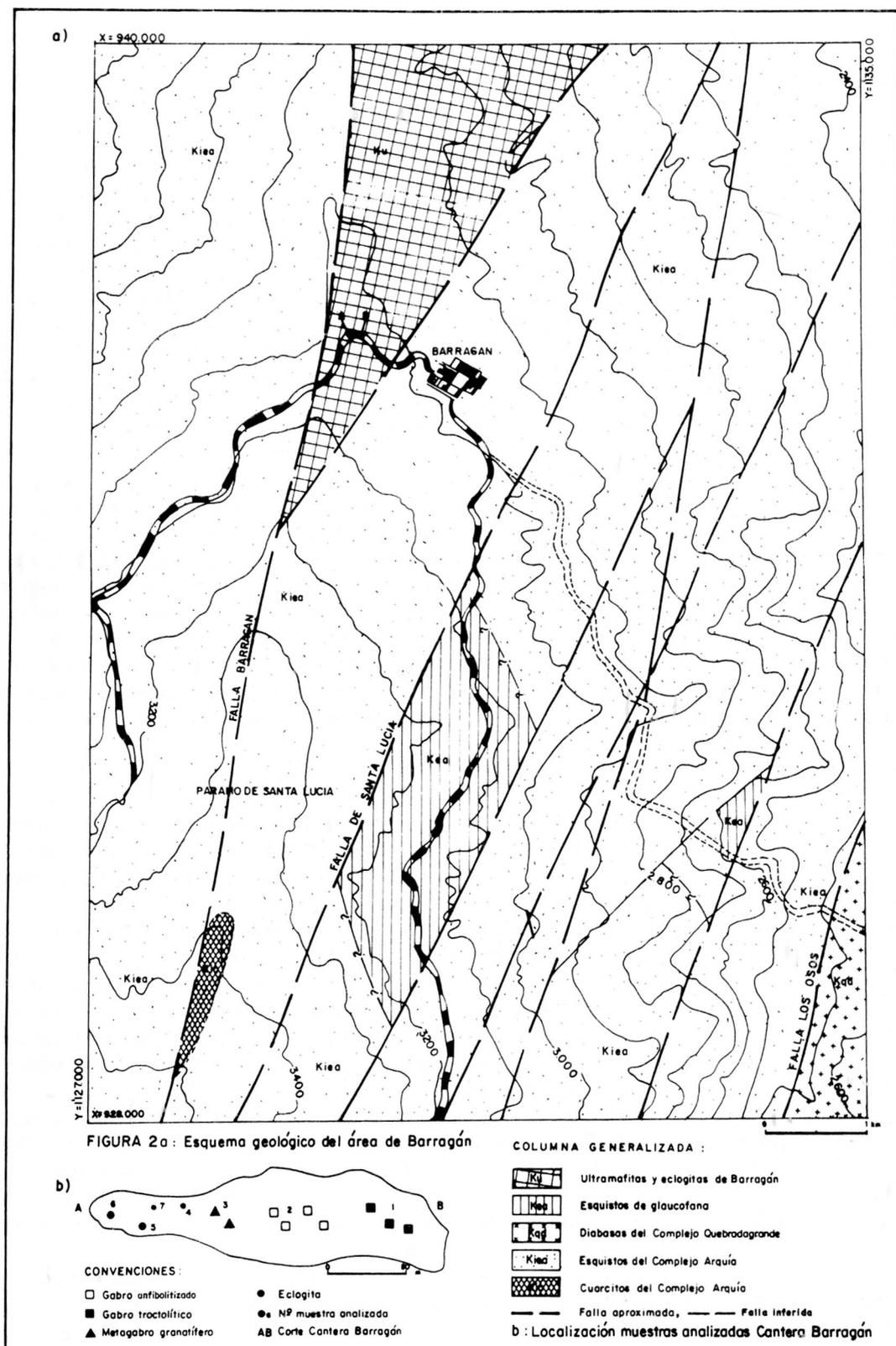


Fig. 2. a) Esquema geológico generalizado del área de Barragán, cuerpo de metabasitas de Barragán.  
 b). Perfil a lo largo de la cantera, mostrando la localización de las muestras.

ROBINSON *et al.* (1982) y pueden presentar diferentes relaciones texturales entre ellos; muestran variaciones sistemáticas en el contenido de  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{FeO}$  y  $\text{CaO}$  que están relacionadas con la composición de las fases a las cuales reemplaza (Tabla 3). La mesostasis de clorita y la clorita asociada con anfíbol reemplazando olivino, son picnocloritas de acuerdo a la clasificación de HEY (1954).

Los relictos de anfíbol pardo y de ilmenita son similares a los del gabro troctolítico. Un relicto analizado de plagioclasa es más rico en albíta que la plagioclasa magmática primaria del gabro. Sin embargo, es necesario anotar que sólo se efectuó un análisis incompleto a lo largo del borde del cristal, puesto que tanto el núcleo como parte de los bordes están reemplazados por un agregado criptocristalino que no pudo ser identificado.

### Metagabro Granatífero

Este gabro, en muestra de mano, es similar al gabro anfíbolitizado excepto por la presencia de granates rosados diseminados. En sección delgada muestra porciones con textura idiomórfica gabroide y porciones donde se han desarrollado minerales metamórficos. La fracción gabroide (Fig. 3c), está formada por relictos de las fases magmáticas: plagioclasa, clinopiroxeno, anfíbol pardo e ilmenita y por clorita, anfíbol verde y opacos pseudomorfos según olivino. Las fases magmáticas están rodeadas, en diferente extensión, por un anillo kelifítico de anfíbol verde y opacos con excepción de la plagioclasa cuando está incluida en clinopiroxeno.

El granate es el principal mineral eclogítico que aún se conserva y presenta varias formas: granos subredondeados aislados y dispersos, como coronas alrededor de antiguos cristales de olivino (Fig. 3d) y de anfíbol pardo así como pseudomorfo según plagioclasa (Fig. 3c). Algunos crecimientos simplectíticos de anfíbol verde y albíta podrían haberse formado a partir de onfacita. La composición química de las diferentes fases minerales presentes se indica en la Tabla 4. El clinopiroxeno relicto es ligeramente zonado con bordes enriquecidos en  $\text{CaO}$  y  $\text{Na}_2\text{O}$  y empobrecidos en  $\text{TiO}_2$  y  $\text{Al}_2\text{O}_3$ . El núcleo de los relictos de plagioclasa tiene composición  $\text{An}_{56}$  similar a la de los bordes en la plagioclasa de la troctolita. Los bordes son de andesina ( $\text{An}_{47}$ ). Los restos de anfíbol pardo primario y el anfíbol verde que bordea los cristales redondeados de granate son kaersutita y magnesio-hastingsita, respectivamente. El anfíbol que forma kelifíticos según plagioclasa y que bordea los cristales de granate corresponde a pargasita ferrosa; los granates que tienen formas diferentes de presentación, muestran distinta

composición en el núcleo y una tendencia inversa en el zonamiento de su contenido de  $\text{CaO}$  y  $\text{MgO}$ . Sin embargo, ambos tipos de cristales tienen aproximadamente la misma composición en los bordes (Fig. 4).

### Eclogitas

Las muestras de mano de eclogita tienen estructura maciza, ligeramente foliada mientras que al microscopio se reconocen dos tipos: la primera tiene textura coronítica (Fig. 3e) y la segunda muestra una buena recrystalización con textura foliada (Fig. 3f). A pesar de las diferencias texturales, tienen la misma composición: onfacita, granate, anfíbol azul, epidota, rutilo, anfíbol verde, albíta, mica blanca y opacos. Algunas eclogitas coroníticas conservan relictos magmáticos de anfíbol pardo y de clinopiroxeno en muy pequeñas cantidades.

La onfacita presenta diversos tipos texturales en la eclogita coronítica: mosaicos finogranulares cuyas formas probablemente son mímicas de olivino primario al que reemplaza pseudomórficamente; en este caso está asociado con rutilo, clinopiroxeno magmático y anfíbol pardo. El granate forma coronas alrededor de agregados de anfíbol verde y albíta en los cuales, ocasionalmente, aparecen algunos cristales de onfacita. La apariencia, en general, sugiere que el crecimiento tuvo lugar a partir de olivino.

El granate también se presenta a manera de islas rodeadas por anfíbol verde alrededor de antiguos cristales de clinopiroxeno titanífero y anfíbol y como pseudomorfo de plagioclasa. El anfíbol azul reemplaza tanto el clinopiroxeno primario como el anfíbol y aparece en equilibrio textural con la onfacita y el granate. Las eclogitas tectónicas no muestran evidencias de la mineralogía o textura primarias excepto algunos agregados de granate y onfacita que podrían sugerir una textura ígnea. Por lo general muestran recrystalización donde la foliación, definida por la acumulación preferencial de onfacita y anfíbol azul, sugiere que la eclogitización fue principalmente sintectónica.

Ambos tipos de eclogita presentan una anfíbolitización avanzada; anfíbol verde de diferentes formas y birrefringencia, se presenta en: coronas kelifíticas alrededor de granate; en crecimiento simplectítico con albíta pseudomorfo según onfacita; en venas cortando las coronas de granate; como matriz diablastica asociado con albíta y epidota; como agujas en piroxeno y granate, y como corona alrededor de anfíbol azul.

La composición modal y química de los dos tipos de eclogita se presentan en las tablas 1, 5 y 6 respectivamente.

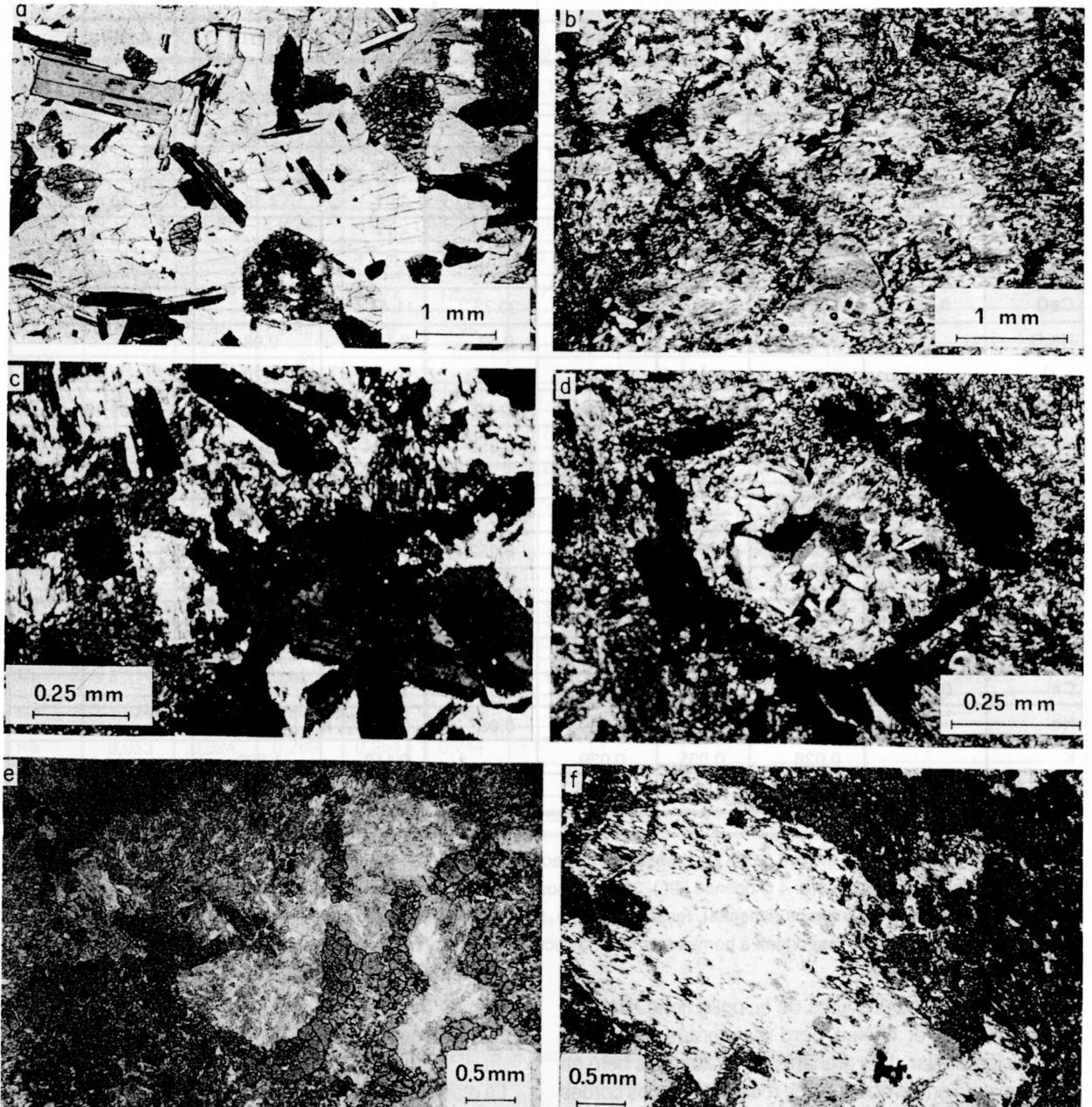


Fig. 3 a). Gabro troctolítico. Acumulación de texturas con cúmulos Ol, listones de Pl, e ilm e intercúmulos de Cpx poiquilíticos. Nicoles cruzados. b). Gabro anfibolitizado. Textura ígnea pseudomórfica definida por anfíboles actinolíticos y cloritas reemplazando los minerales magmáticos. Luz plana polarizada. c). Restos de una porción de gabroide con Pl, Cpx, y Amp I (fondo esquina der.) y porciones metamórficas con listones de Grt (negro), después Plg y anfíbol verde (arriba lado izq.). Nicoles cruzados. d). Metagabro granatífero. Corona de Grt (negro), cubriendo anfíbol y Amp + Ab simplectíticos, probablemente con olivino primario. Nicoles cruzados. e). Eclogita coronítica de Grt alrededor de Omp y Amp + Ab simplectíticas. Luz plana polarizada. f). Eclogita tectónica. Omp porfidoblástica en parte transformada dentro de Amp + Ab simplectítica circundadas por Grt. En parte con nicoles cruzados.

**TABLA 2**  
**Análisis de los minerales esenciales del gabro troctolítico (Muestra 1)**

	PLAGIOCLASA				CLINOPX	ANFIBOL	BIOTITA	ILMENITA
	OLIVINO	NUCLEO	n/b	BORDE				
SiO <sub>2</sub>	38,80	50,05	52,44	52,98	50,26	42,83	39,75	0,22
TiO <sub>2</sub>					1,59	4,33	4,88	51,85
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>		31,15	30,11	29,45	3,63	10,98	15,97	0,60
**FeO	20,17	0,48	0,41	0,45	5,98	8,97	4,38	40,49
MnO	0,27				0,12	0,11		0,72
MgO	40,16	0,45	0,03	0,19	15,77	15,71	22,14	5,27
CaO	0,18	13,66	12,47	11,53	20,76	11,44	0,19	
Na <sub>2</sub> O		3,39	4,41	4,79	0,52	3,12	0,98	
K <sub>2</sub> O		0,11	0,15	0,17	0,75	0,64	7,70	
<b>TOTAL</b>	<b>99,58</b>	<b>99,29</b>	<b>100,02</b>	<b>99,56</b>	<b>99,38</b>	<b>98,13</b>	<b>95,99</b>	<b>99,15</b>
Si	1,002	9,182	9,513	9,634	1,858	6,184	5,542	0,011
Al		6,735	6,437	6,312	0,016	0,053	0,166	0,035
Ti					0,044	0,470	0,512	1,921
Fe <sup>+3</sup>		0,073	0,063	0,068	0,052	0,292		
Fe <sup>+2</sup>	0,436				0,133	0,791	0,511	1,668
Mn	0,006				0,004	0,013		0,030
Mg	1,547	0,123	0,008	0,052	0,869	3,380	4,601	0,387
Ca	0,005	2,685	2,424	2,246	0,822	1,770	0,028	
Na		1,206	1,551	1,689	0,037	0,873	0,265	
K		0,026	0,035	0,039		0,118	1,369	
<b>TOTAL</b>	<b>2,996</b>	<b>20,030</b>	<b>20,031</b>	<b>20,040</b>	<b>4,000*</b>	<b>15,452</b>	<b>15,452</b>	<b>4,052</b>

\*\* Hierro total como FeO \* Incluye 0,023 Cr n/b: Entre núcleo y borde.

Fórmula estructural basada sobre: 4 Oxígenos (OL), 32 Oxígenos (Plagioclasa), 4 cationes (Clinopiroxeno), 23 Oxígenos (Anfibol), 22 Oxígenos (Biotita) y 6 Oxígenos (Ilmenita), respectivamente. Los cristales euhedrales finos de color verde y el anfíbol verde en contacto con plagioclasa corresponden a hornblenda hastingsítica magnésica y hastingsita magnésica.

La onfacita en los dos tipos de eclogita tiene diferente composición en el núcleo pero los bordes presentan composición similar. Los granates están zonados pero en sentido inverso en los dos tipos de roca (Fig. 4) y los bordes muestran igual composición. El anfíbol de la eclogita coronítica varía de hornblenda pargasítica ferrosa a katoforita magnésica pasando por hornblenda edenítica y edenita. En la eclogita tectonizada la composición de este mineral varía entre hornblenda edenítica - edenita y katoforita magnésica.

#### TRANSFORMACION GABRO-ECLOGITA

Los datos petrográficos y mineralógicos obtenidos del

cuerpo de metabasitas de Barragán permiten plantear el siguiente esquema evolutivo para su génesis.

La etapa magmática se caracterizó por una cristalización fraccionada con una fase cúmulus constituida por olivino y plagioclasa para formar la troctolita. La presencia de olivino y plagioclasa como fases líquidas implica una presión menor de unos 10 Kbar (RINGWOOD & GREEN 1967; THOMPSON 1972).

Además, la ausencia de una zonación evidente en los minerales ferromagnesianos y la composición normativa y modal comparables de la plagioclasa (An<sub>64</sub> contra An<sub>69-55</sub>) y del olivino (Fo<sub>76</sub> contra Fo<sub>78</sub>) sugieren que estos minerales

TABLA 3.  
Análisis de los minerales esenciales del gabro anfibolitizado (Muestra 2)

	ANFIBOL					CLORITA		PLAGIOCLASA	ILMENITA
	1	2	3	4	5	6	7		
SiO <sub>2</sub>	42,50	52,86	52,94	53,23	54,53	29,14	28,72		0,20
TiO <sub>2</sub>	5,32	0,12		0,19	0,04				53,16
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	11,34	4,12	3,73	3,52	2,48	20,10	20,27	20,80	
**FeO	9,21	10,02	9,96	9,33	9,12	13,90	14,35		45,36
MnO	0,14	0,20	0,25	0,32	0,41	0,09	0,21		1,42
MgO	14,90	17,58	17,56	17,71	18,30	24,15	24,39		0,20
CaO	11,77	11,94	11,93	11,77	12,22				
Na <sub>2</sub> O	3,40	1,19	0,98	1,29	0,90			8,99	
K <sub>2</sub> O			0,40						
<b>TOTAL</b>	<b>98,58</b>	<b>98,04</b>	<b>97,75</b>	<b>97,36</b>	<b>98,00</b>	<b>87,38</b>	<b>87,84</b>		<b>100,34</b>
Si	6,146	7,425	7,477	7,523	7,645	5,765	5,674		0,010
Al	1,854	0,575	0,523	0,477	0,355	2,235	2,326		
Al	0,079	0,107	0,098	0,109	0,055	2,452	2,394		
Ti	0,579	0,013		0,020	0,004				2,002
Fe <sup>3</sup>	0,017	0,525	0,474	0,410	0,376				
Fe <sup>2</sup>	1,097	0,652	0,702	0,693	0,693	2,300	2,354		1,900
Mn	0,017	0,024	0,030	0,038	0,049	0,015	0,035		0,060
Mg	3,211	3,680	3,696	3,730	3,823	7,123	7,183		0,015
Ca	1,824	1,797	1,805	1,782	1,836				
Na	0,953	0,324	0,269	0,354	0,244				
K			0,072						
<b>TOTAL</b>	<b>15,777</b>	<b>15,122</b>	<b>15,146</b>	<b>15,136</b>	<b>15,080</b>	<b>19,890</b>	<b>19,966</b>		<b>3,987</b>

\*\*FeO Hierro total como FeO

- 1 Relictos de anfíbol pardo
- 2 Anfíbol pseudomorfo según clinopiroxeno
- 3 Anfíbol asociado con clorita reemplazando olivino
- 4,5 Anfíboles euhedrales
- 6 Clorita en agregado
- 7 Clorita asociada con anfíbol reemplazando olivino

La Fórmula Estructural basada en 23 oxígenos (anfíbol); 28 oxígenos (clorita); 6 oxígenos (ilménita).

no fueron afectados por los eventos metamórficos aunque algunas muestras presentan un anillo delgado kelfítico de anfíbol verde, especialmente en la interfase entre plagioclasa y olivino. La siguiente etapa está representada por el metagabro granatífero el cual, aún en sección delgada, presenta zonas metamórficas e ígneas; esto indica reacciones diferentes y localizadas que permiten la transformación y recristalización por áreas. En esta etapa, el olivino se transforma totalmente en agregados de anfíbol y clorita, mientras que otros minerales magmáticos como plagioclasa, clinopiroxeno, ilménita y anfíbol pardo se

conservan. Sin embargo, la diferencia entre la composición normativa y química de la plagioclasa (An<sub>63</sub> y An<sub>56-47</sub> respectivamente), indica un enriquecimiento en Na debido probablemente a reacción con las fases aledañas.

El clinopiroxeno es zonado con enriquecimiento hacia los bordes en CaO, Na<sub>2</sub>O y empobrecimiento en Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. El clinopiroxeno se ha enriquecido en acmita con respecto al de la troctolita. En las fracciones eclogitizadas, el granate se forma como corona alrededor de olivino y clinopiroxeno preexistentes (Fig. 3d); en algunos casos, el crecimiento

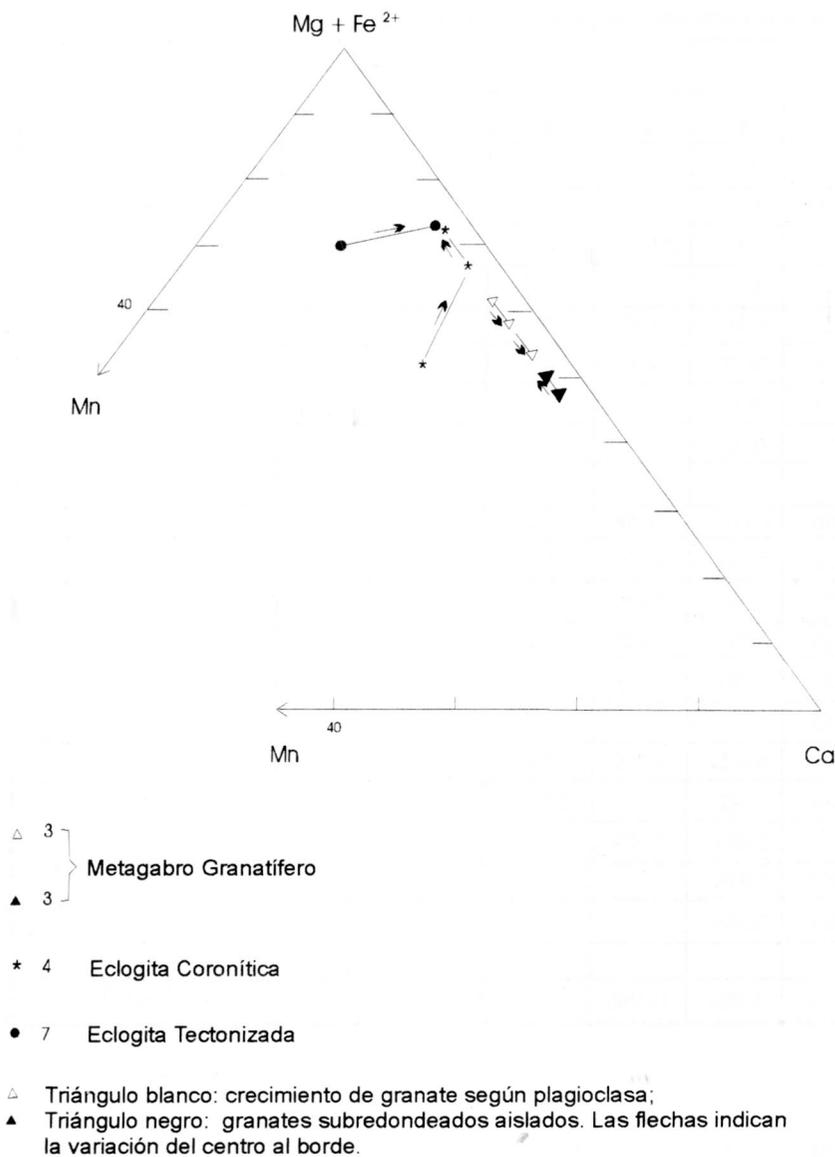


Fig. 4. Proporciones atómicas de Alm + Py en el metagabro granatífero (muestra 3), eclogitas coroníticas (muestra 4) y tectonizadas (muestra 7), respectivamente. Triángulo blanco: Crecimiento de granates según plagioclasa; triángulo negro: Granates subredondeados separados. Las flechas indican la variación del centro al borde.

hacia el interior de la corona de granate continúa hasta formar granos aislados y subredondeados. En este último caso, la ausencia de texturas intermedias hace difícil determinar si estos granates son el resultado del crecimiento hacia adentro a partir de una corona o si se han originado por nucleación diferencial dentro de plagioclasas. Cualquiera que sea el

caso, se puede deducir que la cinética de la formación del granate según plagioclasa es mucho mayor que la de su formación a partir de ferromagnesianos y por lo tanto la movilidad de  $Fe^{+2}$  y  $Mg^{+2}$  mayor que la del  $Ca^{+2}$  y  $Al^{+3}$ . El granate que reemplaza máficos es ligeramente zonado mientras que el proveniente de plagioclasa presenta un intenso zonamiento con bordes

enriquecidos en  $CaO$  y empobrecidos en  $MgO$ . Los dos tipos de granate muestran esquemas de zonamiento opuestos con el último tipo más rico en  $MgO$  que el primero. La variación composicional y la zonación pueden atribuirse e interpretarse en función de diferentes modelos (TRACY 1982): crecimiento-fractionamiento, difusión-intercambio iónico, difusión-reacción (LOOMIS 1975), empobrecimiento (ATHERTON 1968) y cambio de condiciones P-T (MIYASHIRO 1953, 1973). En el caso de Barragán, teniendo en cuenta el desequilibrio textural puede pensarse que la zonación en los granates es consecuencia de un desequilibrio químico, de la disponibilidad de cationes y velocidad de difusión durante la transformación de la roca.

La etapa siguiente en la evolución del cuerpo de metabasitas de Barragán está representada por las eclogitas y se caracteriza por la desaparición, casi total, de los minerales de origen magmático y de las texturas de la roca ígnea original; esto implica ya sea una alta movilidad catiónica o un proceso de recrystalización. La descomposición de la plagioclasa es total y el Na ha migrado para formar onfacita y anfíbol azul que reemplazan los productos de reacción del olivino y el clinopiroxeno.

El esquema de zonación de la onfacita en ambos tipos de eclogita con enriquecimiento en jadeita hacia los bordes, sugiere un aumento de presión. Por otra parte, los granates muestran zonación en sentido inverso para Ca y Fe aún en bordes que tienen composición similar (Fig. 4, Tablas 5, 6).

También en este caso, la zonación es el resultado de un desequilibrio, de un equilibrio local o de una variación en la disponibilidad de algunos cationes, más que de variación en las condiciones P-T. En general, el granate de las eclogitas es más bajo en Ca que

**TABLA 4**  
**Análisis por microsonda de los minerales esenciales del metagabro granatífero (Muestra 3)**

	CLINOPIROXENO		PLAGIOCLASA				ILMENITA		ANFIBOL							GRANATE			
	Núcleo	Corona	1		2		3	4	5	6	7	8		9					
			Núcleo	Corona	Núcleo	Corona						Núcleo	Corona	Núcleo	Corona				
SiO <sub>2</sub>	49,27	50,90	53,13	54,84	53,18	0,33	41,55	43,05	43,75	40,56	39,82	37,75	37,47	38,13	37,86	37,94			
TiO <sub>2</sub>	1,78	1,28				52,53	5,21	0,12	0,85	0,10	0,06								
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4,00	2,49	28,61	27,63	28,89		11,44	14,41	12,50	17,08	18,36	21,28	21,50	21,84	21,44	20,77			
**FeO	6,64	6,76	0,35	0,35	0,88	46,04	10,27	11,83	9,40	11,49	14,20	21,68	22,02	22,74	23,27	23,24			
MnO	0,14	0,27				0,49	0,13	0,17	0,07	0,10	0,25	0,79	0,74	1,35	1,16	0,73			
MgO	14,65	14,19		0,13	0,12	1,60	13,18	14,37	15,85	12,77	10,16	0,87	1,33	3,75	2,20	1,67			
CaO	21,63	23,16	11,30	9,76	11,62		11,47	11,20	12,00	10,58	10,70	17,89	17,10	13,09	14,44	16,56			
Na <sub>2</sub> O	0,67	0,80	4,85	5,93	5,00		3,04	3,18	2,83	3,34	3,38								
K <sub>2</sub> O			0,10	0,16			0,88	0,31	0,56	0,27	0,52								
TOTAL	98,78	99,85	98,34	98,80	99,69	100,99	97,87	98,64	97,81	96,29	97,45	100,26	100,16	100,90	100,37	100,91			
Si	1,837	1,883	9,762	10,001	9,668	0,016	6,115	6,111	6,273	5,892	5,834	2,957	2,933	2,944	2,956	2,953			
Al	0,163	0,108	6,196	5,939	6,190		1,885	1,889	1,727	2,108	2,166	0,044	0,067	0,057	0,044	0,046			
Al	0,013						0,099	0,523	0,386	0,817	1,004	1,919	1,916	1,930	1,929	1,860			
Ti	0,050	0,036				1,959	0,577	0,013	0,092	0,011	0,007	0,006	0,004	0,001	0,011	0,004			
Fe <sup>+3</sup>	0,100	0,114	0,054	0,054	0,134		0,000	1,003	0,581	0,986	0,732	0,112	0,143	0,126	0,093	0,179			
Fe <sup>+2</sup>	0,107	0,095				1,910	1,281	0,402	0,546	0,410	1,007	1,307	1,299	1,341	1,426	1,335			
Mn	0,004	0,008				0,021	0,016	0,020	0,009	0,012	0,031	0,052	0,049	0,088	0,077	0,048			
Mg	0,814	0,782		0,035	0,033	0,118	3,004	3,040	3,387	2,764	2,218	0,102	0,155	0,431	0,256	0,194			
Ca	0,864	0,917	2,225	1,907	2,263		1,809	1,703	1,844	1,647	1,680	1,501	1,434	0,082	0,208	0,381			
Na	0,048	0,057	1,728	2,097	1,762		0,867	0,876	0,786	0,940	0,960								
K			0,023	0,037			0,165	0,056	0,102	0,050	0,097								
TOTAL	4,000	4,000	19,988	20,070	20,050	4,024	15,858	15,636	15,733	15,637	15,736	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000			

\*\*FeO = Hierro total como FeO  
 N/C = Entre núcleo y corona  
 1 = Plagioclasa, cristal grueso en contacto con granate  
 2 = Plagioclasa, cristal pequeño  
 3 = Relicto de anfíbol parido  
 4 = Corona de anfíbol alrededor de granate  
 5 = Cristal pequeño euédral  
 7 = Kelfítico según plagioclasa  
 8 = Cristal subredondeado y aislado  
 9 = Cristal de granate creciendo según plagioclasa.  
 Fórmula estructural basada en 4 cationes (cpx), 32 oxígenos (plagioclasa), 6 oxígenos (limonita), 23 oxígenos (anfíbol) y 8 cationes (granate).

**TABLA 5.**  
**Análisis de minerales esenciales en eclogita coronítica (Muestra 4)**

	CPX		GRANATE			ANFIBOL				
	N	C	N	N/C	C	1	2	3	4	5
SiO <sub>2</sub>	55,43	55,57	37,90	38,15	37,10	43,15	43,36	46,25	45,86	47,66
TiO <sub>2</sub>			0,08	0,04		0,28	0,80	0,38	0,27	
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	11,57	11,90	21,87	21,66	21,60	14,37	13,99	14,44	12,88	9,77
**FeO	3,95	3,66	23,12	26,60	28,45	15,63	14,39	12,14	12,53	11,26
MnO			4,50	1,16	0,97	0,28	0,31		0,19	0,14
MgO	8,13	7,89	1,07	2,66	2,94	9,63	9,73	11,51	11,68	13,94
CaO	13,03	12,65	12,54	11,19	9,37	9,57	8,88	8,49	8,86	11,23
Na <sub>2</sub> O	7,14	7,58				3,90	3,78	4,53	3,85	3,06
K <sub>2</sub> O						1,16	0,77	0,50	0,61	0,38
<b>TOTAL</b>	<b>99,25</b>	<b>99,25</b>	<b>101,08</b>	<b>101,46</b>	<b>100,43</b>	<b>93,97</b>	<b>96,01</b>	<b>98,24</b>	<b>96,73</b>	<b>97,44</b>
Si	1,975	1,972	2,975	2,967	2,921	6,377	6,461	6,617	6,677	6,924
Al	0,026	0,027	0,025	0,034	0,079	1,623	1,539	1,383	1,323	1,706
Al	0,460	0,471	1,998	1,951	1,926	0,881	0,918	1,053	0,887	0,597
Ti			0,005	0,002		0,031	0,090	0,041	0,030	
Fe <sup>+3</sup>	0,058	0,078	0,017	0,078	0,152	0,312	0,369	0,298	0,413	0,051
Fe <sup>+2</sup>	0,059	0,031	1,501	1,652	1,721	1,620	1,424	1,115	1,113	1,317
Mn			0,299	0,076	0,065	0,035	0,039		0,023	0,017
Mg	0,432	0,418	0,125	0,308	0,345	2,121	2,160	2,454	2,534	3,018
Ca	0,497	0,481	1,055	0,932	0,791	1,515	1,418	1,301	1,382	1,748
Na	0,493	0,522				1,118	1,092	1,257	1,087	0,862
K						0,219	0,146	0,091	0,113	0,070
<b>TOTAL</b>	<b>4,000</b>	<b>4,000</b>	<b>8,000</b>	<b>8,000</b>	<b>8,000</b>	<b>15,852</b>	<b>15,656</b>	<b>15,650</b>	<b>15,582</b>	<b>15,680</b>

- N: Núcleo
- C: Corona (borde)
- \*\*FeO Hierro Total como FeO
- 1 Cristal grueso de anfíbol
- 2 Anfíbol pseudomorfo según clinopiroxeno
- 3 Anfíbol azul
- 4 Cristal euhedral pequeño
- 5 Anfíbol en corona

Fórmula estructural basada en 4 cationes (cpx); 8 cationes (granate) y 23 oxígenos (anfíbol).

el del metagabro granatífero y dentro de éstas, el granate de la eclogita tectonizada está empobrecido en Ca con relación al de la coronítica. Esta disminución continúa en el contenido de Ca del granate, a expensas del contenido total de Ca en la roca (Tabla 1), y está relacionada con la nucleación de otras fases cálcicas como onfacita, anfíbol y epidota. La composición del anfíbol azul en ambos tipos de eclogita es similar excepto por un ligero aumento en la relación Al<sup>VI</sup>/Al<sup>IV</sup> en la eclogita tectonizada, lo cual implicaría una tendencia hacia condiciones de equilibrio en esta roca (SPEAR 1981; MORK 1985).

Sin embargo, debe tenerse en cuenta que el cuerpo de Barragán se encuentra altamente retrogradado y anfíbolitizado (Tabla 1) y por lo tanto es difícil precisar cual es el significado de este evento metamórfico y cuánto ha influido en el zonamiento y composición mineralógica de las eclogitas. Durante la diaforesis, parte de la onfacita ha sido transformada en simplectitas de anfíbol-albita y el granate reemplazado por agregados de anfíbol. En las eclogitas, el anfíbol edenítico a pargasítico recristaliza como pequeños cristales euhedrales y como pseudomorfo según piroxeno o anfíbol azul. La mayoría de la epidota recristaliza,

**TABLA 6**  
**Análisis por microsonda de los minerales esenciales de la eclogita tectonizada (Muestra 7)**

	CLINOPIROX		GRANATE		ANFIBOL			EPIDOTA
	NUCLEO	CORONA	NUCLEO	CORONA				
SiO <sub>2</sub>	55,76	55,39	36,70	37,77	45,55	49,96	50,30	38,83
TiO <sub>2</sub>	0,13	0,16			0,22	0,20	0,31	
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	10,18	11,24	21,10	21,61	12,93	9,36	8,72	31,40
*FeO	4,20	5,01	30,00	27,65	12,13	10,47	9,16	3,15
MnO	0,07	0,08	6,96	1,68	0,13	0,17	0,21	0,24
MgO	9,10	7,75	1,25	3,35	12,77	14,14	15,07	0,11
CaO	14,50	12,46	4,91	8,89	9,99	8,64	9,92	24,33
Na <sub>2</sub> O	6,88	7,49			3,84	4,27	3,54	
K <sub>2</sub> O					0,58	0,27	0,37	
TOTAL	100,82	99,52	100,92	100,95	97,14	97,48	97,60	98,06
Si	1,959	1,970	2,946	2,955	6,562	7,128	7,177	5,973
Al	0,041	0,030	0,054	0,046	1,438	0,872	0,823	
								5,692
Al	0,380	0,442	1,941	1,945	0,758	0,702	0,644	
Ti	0,003	0,004			0,024	0,021	0,033	
Fe <sup>+3</sup>	0,123	0,096	0,113	0,101	0,370	0,255	0,033	0,450
Fe <sup>+2</sup>	0,001	0,053	1,901	1,707	1,091	0,994	1,060	
Mn	0,002	0,002	0,473	0,111	0,016	0,021	0,025	0,031
Mg	0,476	0,411	0,150	0,390	2,741	3,006	3,204	0,025
Ca	0,546	0,475	0,422	0,745	1,542	1,321	1,517	4,010
Na	0,469	0,517			1,072	1,181	0,979	
K					0,107	0,049	0,067	
TOTAL	4,000	4,000	8,000	8,000	15,721	15,550	15,562	16,181

\*FeO Hierro total como FeO;

N Núcleo

C Corona (borde).

probablemente durante este evento, conjuntamente con pequeñas cantidades de mica blanca. En esta etapa, parte de la troctolita fue transformada completamente en gabro anfibolitizado.

La determinación de las condiciones P-T para una paragénesis en particular en sistemas con evidencias obvias de desequilibrio termodinámico como el de Barragán, puede tener múltiples respuestas; además, en este caso, el geobarómetro convencionalmente usado, Di-Jd, para determinar P (GASPARIK & LINDSLEY 1980; WINKLER *et al.* 1994; MIYASHIRO 1994) no puede emplearse ya que no existe cuarzo. Adicionalmente, la utilización de termómetros

basados en las reacciones de intercambio Mg-Fe<sup>+2</sup> para clinopiroxeno-granate, requiere la determinación de P (RAHEIM & GREEN 1974; ELLIS & GREEN 1979; MORTEN & BONDIA 1984) y el valor KD {KD = (Fe<sup>+2</sup>/Mg) granate / (Fe<sup>+2</sup>/Mg) cpx}, está influenciado por la relación Fe<sup>+2</sup>/Fe<sup>+3</sup> de los minerales que coexisten. En este trabajo no se determina el estado de oxidación del hierro y aunque se han desarrollado varios métodos para calcular la relación Fe<sup>+3</sup>/Fe<sup>+2</sup> a partir de los análisis de microsonda, se siguió el método de RYBURN *et al.* (1975).

Con este método, la relación Férrico/Ferroso se obtiene al calcular el número de cationes por fórmula unitaria para

TABLA 7  
Composición química promedio y rango de valores para los litotipos del Area de Barragán

	GABRO (X3)	GABRO ANFIBOLITIZADO X7	METAGABRO GRANATIFERO (X2)	ECLOGITA (X4)
SiO <sub>2</sub>	43,73(43,57-43,96)	44,13(37,08-46,84)	45,88(45,50-46,25)	48,33(47,05-49,34)
TiO <sub>2</sub>	0,81(0,79-0,82)	0,89(0,81-0,93)	1,09(1,00-1,17)	1,64(1,47-1,89)
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	14,21(13,47-14,70)	11,72(9,95-12,75)	14,44(13,85-15,03)	15,42(14,75-16,35)
*Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	12,37(12,34-12,40)	13,79(12,05-15,38)	12,46(11,07-13,85)	10,77(10,26-11,02)
MnO	0,16(0,15-0,18)	0,14(0,13-0,16)	0,16(0,15-0,17)	0,16(0,15-0,16)
MgO	19,26(18,32-20,77)	21,49(19,17-24,82)	15,65(15,06-16,24)	8,60(6,25-11,33)
CaO	7,19(6,65-7,46)	6,67(5,52-9,12)	8,02(7,30-8,74)	10,72(10,28-11,02)
Na <sub>2</sub>	1,98(1,89-2,11)	0,99(0,15-1,48)	2,02(1,70-8,74)	3,79(2,25-4,52)
K <sub>2</sub> O	0,18(0,17-0,21)	0,07(0,01-0,15)	0,17(0,10-0,24)	0,38(0,27-0,51)
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,11(0,10-0,11)	0,11(0,10-0,12)	0,13(0,12-0,14)	0,21(0,16-0,25)
H <sub>2</sub> O	0,14(0,11-0,17)	5,88(2,88-7,19)	3,39(2,12-4,66)	1,00(0,00-1,53)
CO <sub>2</sub>		1,54(0,17-5,85)	0,15(0,12-0,18)	
(mg)	0,63(0,62-0,65)	0,63(0,59-0,66)	0,58(0,57-0,60)	0,46(0,39-0,53)
OL	42(40-45)	22(7-52)	26(24-28)	14(9-20)
Cpx	4(3-5)	0,6 (003)	6(4-9)	22(20-23)
Rb	5(4-7)	7(4-13)	6(5-6)	7(4-11)
Sr	195(189-199)	119(47-173)	381(197-564)	275(222-349)
Y	13(10-15)	14(12-15)	14(12-16)	23(21-24)
Nb	8(7-9)	7(5-9)	8(6-9)	10(8-12)
Zr	62(59-64)	61(58-70)	80(78-81)	103(89-114)
Sc	18(17-19)	18(16-20)	19(18-19)	29(27-30)
Co	84(83-86)	68(33-89)	65(62-68)	48(40-54)
Ni	686(677-701)	664(609-738)	460(442-477)	135(68,201)
V	117(107-123)	124(111-139)	140(132-148)	234(218,250)
Cr	1224(1176-1327)	1293(1140-1396)	804(693-915)	652(222-952)

\*Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>: Hierro total como Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>  
 Oxidos mayores % en peso  
 Elementos menores - ppm  
 (mg) = MgO/(MgO + FeO)  
 OL y Cpx - norma CIPW.

obtener el balance de cargas con base en el número total de cationes (NEUMANN 1976), es decir 4 y 8 cationes para clinopiroxeno y granate respectivamente. Para la estimación de P durante el evento eclogítico se tomó la determinada para las asociaciones de los esquistos de glaucofano, ±10Kbars (MARTÍNEZ 1980; TURNER 1983; EVANS & BROWN 1986; YARDLEY 1989) puesto que éstos se encuentran en el área y se consideran con la misma historia metamórfica (FEININGER 1982; McCOURT & FEININGER 1984; McCOURT

1984). Los valores de KD Mg/Fe para los bordes de clinopiroxeno-granate que coexisten en los dos tipos de eclogita varían entre 13 y 21; con estos valores y utilizando una presión de 10 Kbars se obtiene una temperatura de equilibrio para deformación de las eclogitas entre 520°C y 599°C con los valores de ELLIS & GREEN (1979) para la calibración del intercambio Fe - Mg entre granate-clinopiroxeno.

**TABLA 8**  
**Datos analíticos Rb/Sr para los litotipos del cuerpo de Barragán**

LITOTIPO	MUESTRA	Rb(ppm)	Sr(ppm)	$^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$	$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr} \pm 2\text{SD}$
GABRO	8	2,67	204,5	0,0378	0,70313 +/- 12
GABRO	9	2,00	212,0	0,0273	0,70315 +/- 10
GABRO	1	4,32	177,4	0,0704	0,70388 +/- 12
METAGABRO GRAN.	3	4,26	557,6	0,0221	0,70456 +/- 8
ECLOGITA	5	5,88	341,3	0,0449	0,70506 +/- 6
ECLOGITA	6	2,83	270,6	0,0302	0,70619 +/- 10
ECLOGITA	7	5,42	231,2	0,0678	0,70665 +/- 8

## QUIMICA

La composición química promedia y el rango de valores para cada tipo de roca considerado se encuentran en la Tabla 7 y han sido graficados en la Fig. 5. Las eclogitas con respecto a los gabros tienen valores altos en  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{P}_2\text{O}_5$ , Sr, Zr, Nb, Y, V, y bajos en  $\text{MgO}$ , hierro total como  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , Ni, Co, Cr y Sc.

En la secuencia troctolita - gabro anfibolitizado metagabro granatífero-eclogita, algunos elementos muestran una correlación simple positiva ( $\text{SiO}_2$ ,  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{P}_2\text{O}_5$ , V, Y, Zr), otros una correlación simple negativa (Ni, Co), mientras que otros tienen tendencia en V o V invertida ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{CaO}$ , y Cr y  $\text{MgO}$ , Hierro total como  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  respectivamente).

El gabro anfibolitizado presenta los valores máximo y mínimo y el mayor rango de valores en relación a los del gabro troctolítico lo cual podría indicar cambios metasomáticos en el proceso de transformación. Para determinar si la variación química y las deficiencias observadas en los diferentes tipos de roca son consistentes con los cambios texturales y mineralógicos y con las relaciones de campo, se escogieron 10 muestras representativas de los diferentes tipos litológicos a lo largo de la cantera (Fig. 2b). Los valores obtenidos y los diagramas de variación se muestran en la Fig. 6 y son similares a los obtenidos para todo el cuerpo (Fig. 5).

La Tabla 8 muestra los valores de Rb-Sr para tres muestras de gabro troctolítico, un metagabro granatífero y tres eclogitas. Las troctolitas tienen una relación  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  mucho menor que los otros litotipos. La muestra con mayor relación entre estos gabros presenta alteración con parte del olivino cloritizado y de la plagioclasa sericitizada. La relación isotópica del Sr en el metagabro granatífero tiene la mayor relación  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  y es intermedia entre las troctolitas

y eclogitas y en estas últimas cada una de ellas tiene relación muy diferente de las otras.

## DISCUSION

Dos hipótesis alternativas pueden plantearse para explicar las variaciones químicas encontradas entre la troctolita y la eclogita en el cuerpo de Barragán. Primera: Las variaciones químicas son debidas a diferencias primarias en el protolito; es decir, el cuerpo fue originalmente un gabro estratificado o fraccionado. Segunda: Las variaciones son debidas a fenómenos metasomáticos durante los eventos orogénicos andinos que actuaron sobre un cuerpo inicialmente homogéneo, química y mineralógicamente similar al metagabro troctolítico. La primera posibilidad se fundamenta en el hecho de que las variaciones químicas tanto de los elementos mayores como de los menores y trazas del gabro a la eclogita pasando a través de los metagabros granatíferos muestran una tendencia característica, posiblemente de una asociación ígnea (Fig.5); los valores mg ( $\text{MgO}/(\text{MgO}+\text{FeO})$ ) decrecen linealmente en el sentido metagabro troctolítico - metagabro granatífero - eclogita, mientras que las cantidades normativas de olivino y piroxeno decrecen y crecen respectivamente (Tabla 7); de este esquema se exceptúa el gabro anfibolitizado. Las diferencias primarias en el protolito, tal como lo sugieren las diferentes proporciones normativas de minerales máficos, están marcadas por una variación coherente del contenido de Ni y Sc versus el contenido de olivino y piroxeno (Fig. 7).

La variación del contenido de elementos mayores y menores en la misma dirección considerada, versus el índice de fraccionamiento (mg) es también consistente y coherente con una tendencia de diferenciación ígnea (Tabla 7), o sea que  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{P}_2\text{O}_5$ , Sr, Zr, Nb, V, Y y Sc aumentan al disminuir el valor de mg y

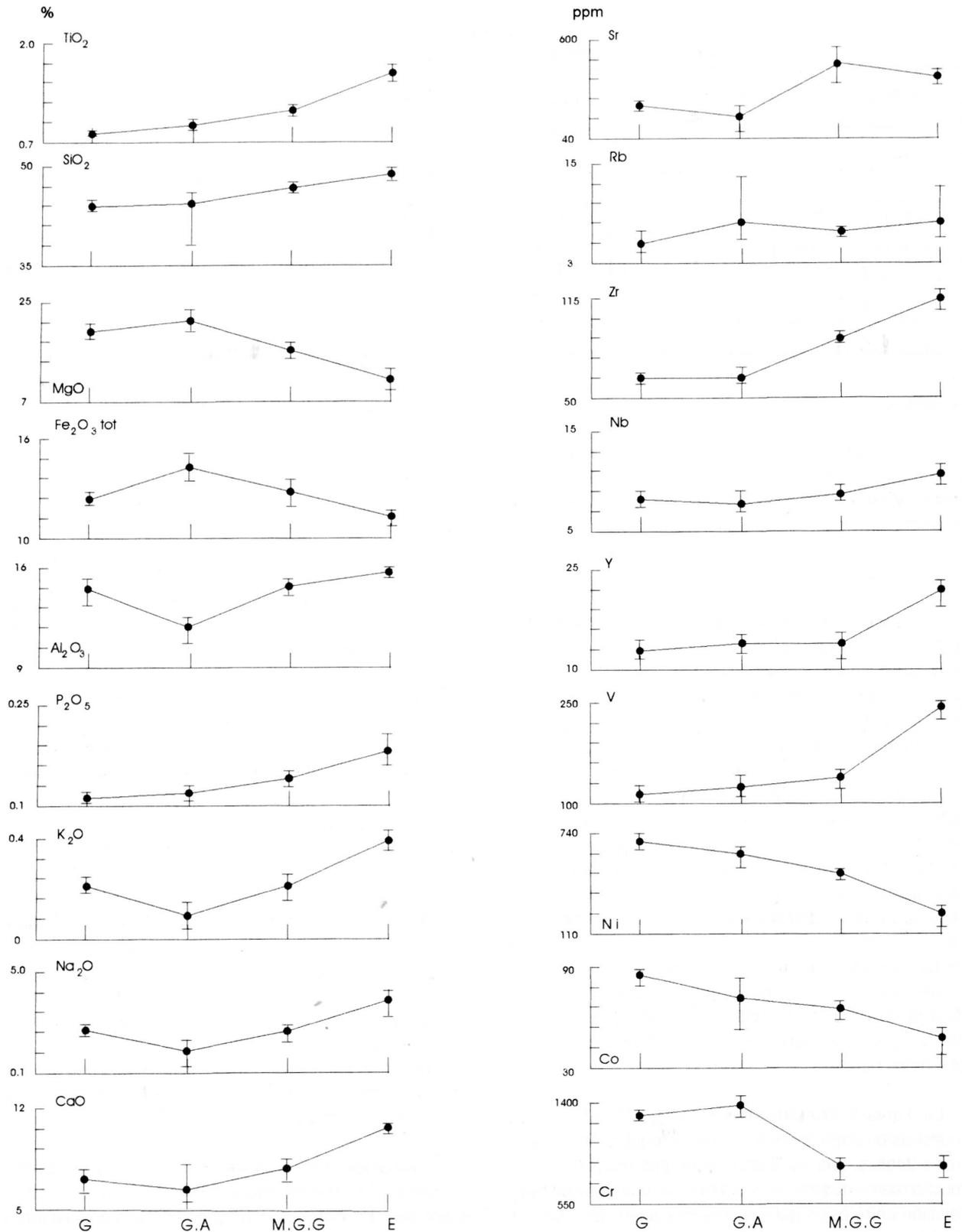


Fig. 5. Variación química de los elementos mayores y algunos menores en el gabro troctolítico (G), gabros anfibolitizados (GA), metagabros granatíferos (MGG) y eclogitas (E) del cuerpo de Barragán. Las barras verticales representan los rangos de composición química.

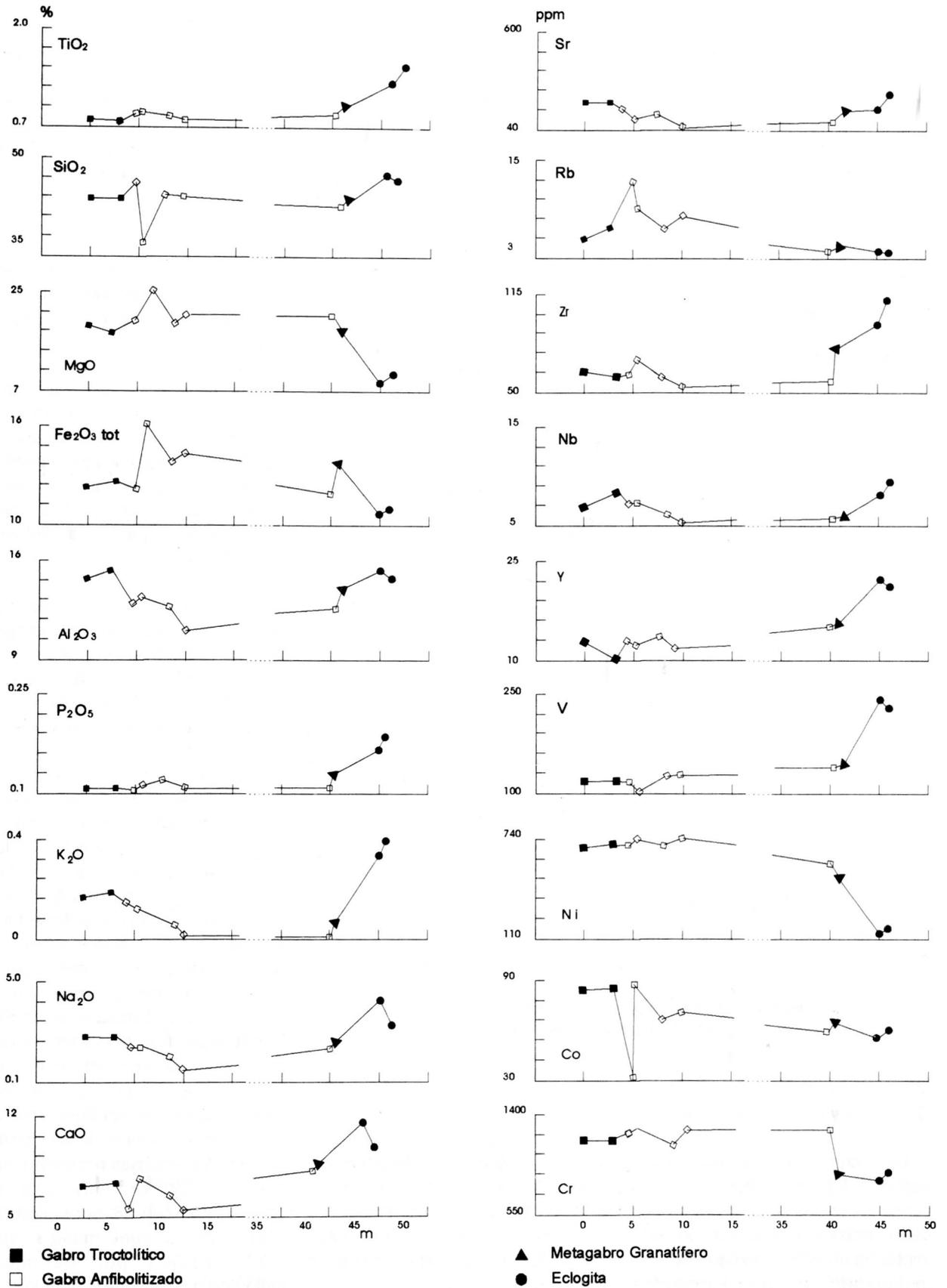


Fig. 6. Variación química de elementos mayores y menores a lo largo del perfil de la Fig. 2b.

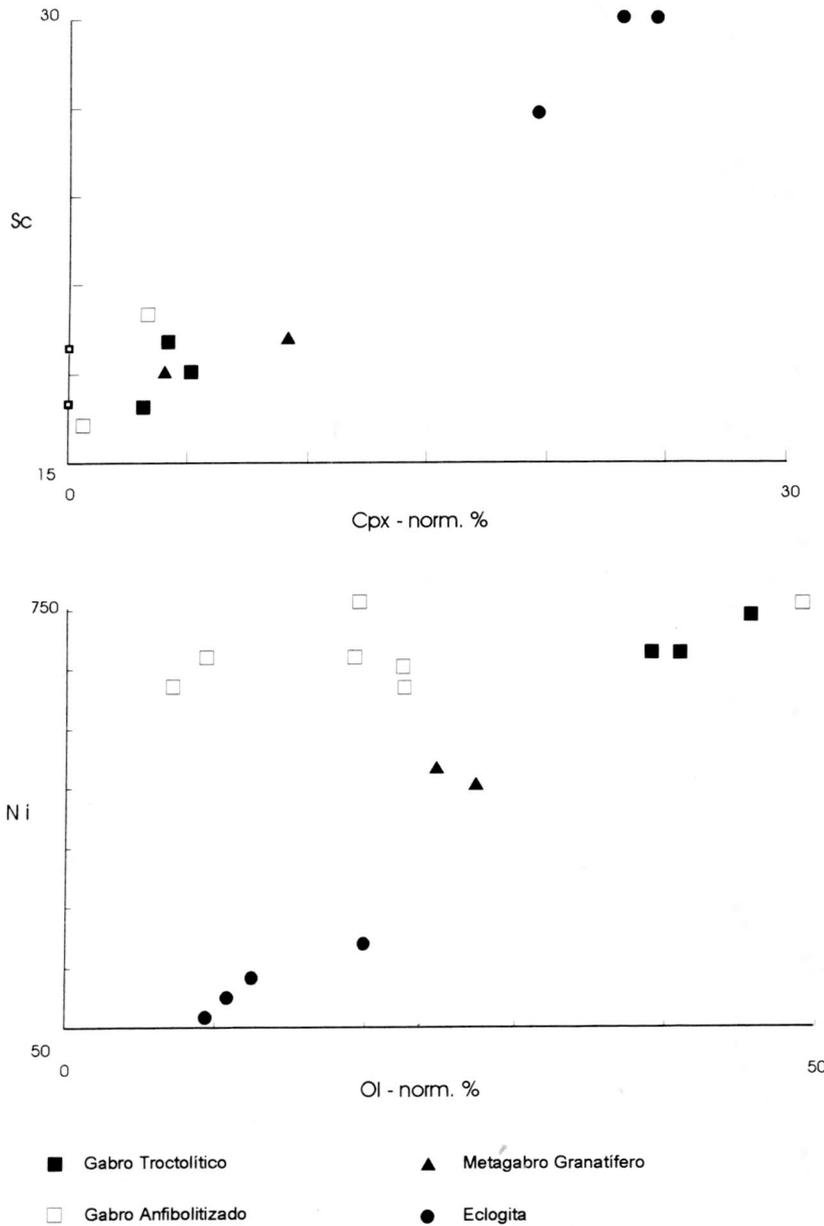


Fig. 7. Contenido normativo de olivino y clinopiroxeno vs contenido en Ni y Sc en las rocas del cuerpo de Barragán.

MgO, hierro total como Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Ni, Co y Cr, disminuyen al disminuir mg.

Es poco probable, en cuanto a la segunda hipótesis, que todas las variaciones químicas sean el resultado de cambios metasomáticos pues esto implicaría un intenso metasomatismo incluyendo el de elementos considerados "inmóviles" durante

eventos metamórficos (CANN 1970, FIELD & ELLIOT 1974), tales como Ti, Zr, Nb. Sin embargo, en aquellas áreas de gabro anfibolitizado cortadas por venas monominerales y de carbonato y donde es evidente que hay metasomatismo, la variación química muestra los efectos de este evento con dispersión de los valores (Figs. 5 y 6).

Lo anterior indica que la tendencia de la composición química original se conservó aún durante el metasomatismo que afectó el cuerpo de Barragán y que introdujo H<sub>2</sub>O, CO<sub>2</sub> (Tabla 7), pero que no cambió o enmascaró la composición química premetamórfica.

Así, las diferencias químicas observadas en Barragán pueden explicarse por variación en el protolito original de gabro olivínico a gabro clinopiroxénico. Sin embargo, esto no sucede con las actuales asociaciones minerales: gabro - metagabro granatífero - eclogita y es claro que la introducción gabbroide que se conserva nunca estuvo en equilibrio textural o mineralógico durante el evento metamórfico que produjo los litotipos circundantes.

La ocurrencia de eclogitas con anortositas, gabros y doleritas ha sido descrita en diferentes sitios (AUSTRHEIM & GRIFFIN 1985; CUTBERT & CARSWELL 1982; MORK 1985; POGNATE 1985) y en estos casos las paragénesis de la eclogita se han considerado como el resultado de deformaciones locales y la presencia de fluidos. En este caso la ausencia de reacciones en el gabro troctolítico pudo haberse debido tanto a la textura gruesogranular como a la ausencia de deformación y de fluidos circulantes. El gabro troctolítico estuvo en una zona de baja deformación y ésta aumentó del núcleo hacia la parte externa (metagabro granatífero - eclogita). Las evidencias de circulación de fluidos por fuera del núcleo de baja reactividad se encuentran en las eclogitas que contienen anfíbol azul sódico - cálcico en equilibrio textural con los otros minerales de la eclogita; además, las eclogitas presentan una relación <sup>87</sup>Sr/<sup>86</sup>Sr muy alta en comparación con los otros litotipos (Tabla 8) lo cual implica una contaminación por estroncio radiogénico de la corteza para lo cual se requiere la circulación de una fase

**TABLA 9**  
**Esquema simplificado de la historia petrogenética del cuerpo de Barragán**

ETAPAS					
MINERALES	MAGMATICA	PRE-CINEMATICA	ECLOGITICA	INTER-CINEMATICA	ANFIBOLITICA
OLIVINO	—————				
PLAGIOCLASA	—————				
CLINOPIROXENO	—————				
ANFIBOL PARDO	—————				
BIOTITA	—————				
OPACOS	—————				
APATITO	—————				
KELIFITA		—————			
GRANATE			—————		
ONFACITA			—————		
ANFIBOL AZUL			—————		—————
ANFIBOL VERDE					—————
RUTILO			—————		
CLORITA				—————	
ESFENA					—————
ALBITA					—————
MICA BLANCA					—————
EPIDOTA					—————

fluida. A pesar de que la introducción metasomática del Sr pudo haber ocurrido durante el metamorfismo retrógrado que acompañó el emplazamiento de la eclogita a los niveles superiores de la corteza, el valor  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  en el metagabro granatífero intermedio entre el del gabro troctolítico y el de la eclogita, sugiere que la circulación de fluidos con la introducción de Sr radiogénico fue un fenómeno que sucedió durante la formación (metamorfismo) de la eclogita. La relación  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  (Tabla 8), más alta se encuentra en la eclogita más próxima al contacto del cuerpo de metabasitas con las rocas regionales.

## CONCLUSIONES

Basados en los datos petrográficos y petroquímicos, y en las relaciones observadas en el cuerpo de metabasitas de Barragán, se plantea la siguiente petrogénesis (Tabla 9):

a. Una etapa magmática con formación de un cuerpo básico por cristalización fraccionada que varía en composición de gabro olivínico (troctolita) a gabro

clinopiroxénico.

b. Una etapa eclogítica de alta presión y media temperatura, unos 10 Kbar y 500-600°C, durante el comienzo de la Orogenia Andina a finales del Cretácico. Este evento metamórfico (M1) transformó parte del cuerpo de gabro en metagabro granatífero y eclogita. En aquellas áreas del cuerpo donde prevalecieron condiciones isotrópicas, los minerales metamórficos se formaron como coronas alrededor de los minerales magmáticos (eclogitas coroníticas), mientras que donde prevaleció la deformación se desarrolló una fábrica tectónica (eclogita tectonizada).

## REFERENCIAS

- ALVAREZ, J. (1989): Mapa Metalogénico de las fajas ofiolíticas de la zona occidental de Colombia.- Boletín Geológico, Ingeominas, vol. 30 (2): 6-18.
- ATHERTON, M. (1968): The variation in garnet, biotite and chlorite composition in medium-grade pelitic rocks from Dalradian, Scotland, with particular reference to the zoning in garnet.- Contributions to Mineralogy and Petrology, 18, p. 347-371.

- MIYASHIRO, A. (1953): Calcium - poor garnet in relation to metamorphism.- *Geochemica et Cosmochemica Acta*, 4, p. 179-208.
- \_\_\_\_ (1973): *Metamorphism and metamorphic belts*.- John Wiley and Sons, New York, 491 p.
- \_\_\_\_ (1994): *Metamorphic Petrology*.- Oxford University Press, 404 p., New York.
- MORK, M. (1985): A gabbro-eclogita transition on Flemsoy, Sunnmore, western Norway.- *Chemical geology*, v. 50, p. 283-312.
- MORTEN, L. & BONDI, M. (1984): Disequilibrium in coexisting clinopyroxene and garnet from blueschist facies Fe-rich eclogites, Volti Group, Italy.- *Journal of Metamorphic Geology*, v. 2, p. 205-218.
- NEUMANN, E. (1976): Two refinements for the calculation of structural formulas for pyroxenes and amphiboles.- *Norsk geologisk Tidsskr.*, v. 56, p. 1-6.
- POGNANTE, U. (1985): Coronitic reactions and ductile shear zones in eclogitic ophiolite metagabbros, western Italian Alps.- *Chemical Geology*, v. 50, p. 99-110.
- RAHEIM, A. & GREEN, D. (1974): P-T paths of natural eclogites during metamorphism. A record of subduction.- *Lithos*, v. 8, p. 317-328.
- RINGWOOD, A. & GREEN, D. (1967): The genesis of basaltic magmas.- *Contributions to Mineralogy and Petrology*, v. 15, p. 103-190.
- ROBINSON, P., SPEAR, F., SCHUMACHER, J., LAIRD, J., KLEIN, C., EVANS, B. & DOOLAN, B. (1982): Phase relations of metamorphic amphiboles: natural occurrence and theory. *In: Amphibole: Petrology and Experimental Phase Relations*.- *Reviews in Mineralogy*, Vol. 9 B (eds. Veblen, D.R. and Ribbe P.H.). Mineralogical Society of America, p. 1-227.
- RYBRUN, R., RAHEIM, A. & GREEN, D. (1975): Determination of the P,T, paths of natural eclogites during metamorphism-record of subduction.- *Lithos*, v. 9, p. 161-164.
- SPEAR, F. (1981): An experimental study of hornblende stability and compositional variability in amphibolite.- *American Journal of Science*, v. 281, p. 697-734.
- THOMPSON, R. (1972): Melting behavior of two Snake River lavas at pressure up to 35 Kb.- *Carnegie Institute, Washington Yearbook*, v. 71, p. 406-410.
- TRACY, R. (1982): Compositional zoning and inclusions in metamorphic minerals. *In: Characterization of Metamorphism through Mineral Equilibria*.- *Reviews in Mineralogy*, vol. 10 (ed. Ferry, J.M.). Mineralogical Society of America, p. 355-397.
- TURNER, F. (1983): *Metamorphic petrology*. Mineralogical, Field and tectonic aspects segunda edición.- McGraw-Hill Book Co., New York, 324p.
- WINKLER, H., BUCHER, K. & FREY, M. (1994): *Petrogenesis of metamorphic rocks*. 6th edition.- Springer - Verlag. XIV, 318 pp.
- YARDLEY, B. (1989): *An Introduction to metamorphic petrology*.- Longman, Harlow, England, 248 pp.

*Manuscrito recibido, Julio de 1997.*