



Interpretación Petrogenética del Gabro de Tragarepas al norte de Pacho - Cundinamarca, Colombia

ANGELA TERESA NAVARRETE RODRÍGUEZ⁽¹⁾

JUAN MANUEL MORENO-MURILLO⁽²⁾

ANA ELENA CONCHA PERDOMO⁽³⁾

PEDRO PATARROYO GAMA⁽⁴⁾

Departamento de Geociencias, Universidad Nacional de Colombia, Apartado Aéreo 14490, Bogotá.

(1) E-mail: angelachan_nava@yahoo.com

(2) E-mail: mamoreno@ciencias.ciencias.unal.edu.co

(3) E-mail: aconcha@ciencias.unal.edu.co

(4) E-mail: pepatar@ciencias.unal.edu.co

NAVARRETE R., A.T., MORENO-MURILLO, J.N., CONCHA PERDOMO, A.E. & PATARROYO GAMA, P., (2002): Interpretación Petrogenética del Gabro de Tragarepas al norte de Pacho - Cundinamarca, Colombia.- GEOLOGIA COLOMBIANA, 27, pp. 109-120, 17 Figs., 3 Tablas, Bogotá.

RESUMEN

En las inmediaciones de la población de Pacho, Cundinamarca, se encontró un cuerpo intrusivo básico de morfología cónica, denominado Gabro de Tragarepas, el cual intruye rocas sedimentarias del Albiano.

Petrográficamente, estas rocas intrusivas se componen esencialmente de plagioclasa labradorita, augita y hornblenda y se clasifican como gabros piroxénico hornbléndicos. Generalmente presentan textura granular, aunque también se encuentran las texturas intergranular, ofítica y subofítica. Se encuentra una diversidad de minerales secundarios, entre los que se destacan hornblenda, clorita, calcita, epidota y pirita, debido a un proceso de alteración hidrotermal que afecta en su totalidad al cuerpo intrusivo. La caracterización geoquímica realizada para las rocas del Gabro de Tragarepas, indica que éste pertenece a la serie subalcalina con tendencia sódica y carácter toleítico y geoquímicamente se clasifican como gabros, gabbrodioritas y dioritas bajas en potasio.

Mediante los resultados de los análisis químicos realizados se utilizaron diagramas de discriminación tectónica, que permitieron establecer que la generación del cuerpo intrusivo ocurrió en un dominio distensivo intraplaca, como una consecuencia de la alta subsidencia de la cuenca sobre el área actual de la Cordillera Oriental de Colombia durante gran parte del Mesozoico. El adelgazamiento de la corteza continental permitió el desarrollo de fracturas muy profundas por las cuales el magma ascendió hacia la superficie, como consecuencia de la fusión parcial del manto.

Debido a la similitud de los resultados obtenidos de los análisis petrográficos y geoquímicos, el Gabro de Tragarepas podría corresponder al mismo evento magmático que generó los otros cuerpos gabroides reconocidos en la Cordillera Oriental.

Palabras claves: *Gabro, Petrografía, Geoquímica, Magmatismo básico, Pacho, Cretácico inferior.*

ABSTRACT

Close to the Pacho town it is exposed a basic intrusive body of conic morphology, named as Gabro Tragarepas intruding sedimentary rocks of Albiano age.

Petrographically intrusive rocks are composed of plagioclase labradorite, augite and hornblende, classified as piroxenic, hornblende gabbros; presents both granular and inter-granular and ofitic-subofitic textures. Also it is common to find hornblende, chlorite, calcite, epidote and pyrite as secondary minerals, formed by hydrothermal alteration, event recognized on all intrusive body. Geochemistry characterization shows that the gabbroic body belongs to sub-alkaline series with sodic tendency and tholeiitic character, which permits to classify the intrusive body as gabbro, gabbrodiorite and diorite with low alkalis.

Tectonic discrimination diagrams were useful to establish the generation of the intrusive body by an intraplate distensive domain, as a consequence of the high basin's subsidence along the actual area of

the Colombia Eastern Mountain Range during great part of the Mesozoic. The thickness of the continental crust originated deeper faults through which the magma rises from the mantle partial fusion.

The petrographic and geochemistry results obtained from this work, show a great similarity with the other gabbroic bodies on the Eastern Mountain Range. Perhaps, they were emplaced along the same magmatic event.

Keys works: *Gabbro, Petrography, Geochemistry, Basic Magmatism, Pacho, Lower Cretaceous.*

INTRODUCCIÓN

En la Cordillera Oriental se reportan cuerpos ígneos intrusivos básicos, algunos de los cuales han sido estudiados en detalle por FABRE & DELALOYE (1983), MORENO & CONCHA (1993), VÁSQUEZ (1999), VÁSQUEZ *et al.* (2000) y NAVARRETE (2002); sin embargo, se conoce de la existencia de más cuerpos de este tipo sin que hayan sido objeto de cartografía, ni estudios petrográficos y geoquímicos detallados.

En el presente trabajo se resumen los resultados del estudio petrográfico y geoquímico del cuerpo intrusivo que aflora en las inmediaciones de la población de Pacho, Cundinamarca, en el Cerro Tragarepas, el cual se denomina aquí como Gabro de Tragarepas.

El área donde aflora el cuerpo está localizada en la parte central del flanco occidental de la Cordillera Oriental, en el Departamento de Cundinamarca, al norte de la población de Pacho, (Fig. 1) correspondiendo parcialmente a las planchas 208-IID y 208-IVB del IGAC.

El emplazamiento del intrusivo generó una brecha de contacto, afectando una sucesión de lodolitas y limolitas fosilíferas negras, con laminación interna planoparalela y de edad Albiano, según el control paleontológico (Tabla 3). El cuerpo intrusivo se manifiesta geomorfológicamente como un cuerpo cónico y con una expresión areal de 248 m².

GEOLOGÍA GENERAL

La Cordillera Oriental de Colombia es una cadena plegada y fallada en dirección SW - NE, que cabalga al occidente sobre la cuenca del Magdalena Medio, limitada por el Sistema de Fallas de la Salina en su parte meridional y central, y por el Sistema de Fallas de Santa Marta - Bucaramanga en su parte septentrional. Al Este cabalga sobre el borde de la cuenca de los Llanos Orientales, limitada por el Sistema de Fallas del Piedemonte y de Garzón - Suaza. Esta cadena se encuentra constituida por rocas del Precámbrico al Cenozoico deformadas por diferentes eventos orogénicos.

La cobertera sedimentaria se dispone sobre rocas metamórficas e ígneas del Paleozoico reconocidas en los Macizos de Quetame, Garzón, Floresta y Santander (CAMPBELL & BÜRGL 1965). Estas rocas sedimentarias fueron depositadas en cuencas subsidentes, denominadas Cuenca de Cocuy y Cuenca del Tablazo - Magdalena, durante el Cretácico y Terciario Inferior, las cuales fueron deformadas durante el Mioceno Medio y Superior, mientras que el levantamiento de la cadena ocurrió principalmente durante el Plioceno (FABRE 1983a, 1983b).

Según FABRE (1983a), en la cuenca se produjo la formación de dos grabens desde el Berriasiano al Aptiano Inferior; la sedimentación se inicia al este y al oeste del paleomacizo de Santander - Floresta en dos fosas subsidentes, y sugiere que las fallas normales son activas durante la sedimentación. Desde el Aptiano la subsidencia afecta de manera simétrica los márgenes de la cuenca hasta el final del Oligoceno. Desde el Mioceno Medio y Superior, se inicia una fase de compresión interrumpiendo la subsidencia de las cuencas, generándose plegamiento y fallamiento. De esta forma, la actual Cordillera Oriental cabalga al Este sobre el borde de la zona de los Llanos Orientales y al Oeste sobre la cuenca del Magdalena Medio.

PETROGRAFÍA

Macroscópicamente la roca intrusiva presenta tonalidades verdosas, con colores de alteración que varían de amarillo a rojizo, y presenta textura fanerítica de grano fino a medio reconociéndose cristales de plagioclasas y hornblenda. La alteración hidrotermal se evidencia por la presencia de epidota, pirita, calcita y siderita, mientras que la meteorización, por la presencia de óxidos de hierro y disolución de los mismos, dejando algunas cavidades en la roca.

Para la caracterización y clasificación petrográfica del Gabro de Tragarepas se analizaron 11 secciones delgadas. Los valores de concentración de los minerales esenciales fueron recalculados al 100% teniendo en cuenta los productos de alteración. Se presentan como minerales esenciales: plagioclasa labradorita 26 – 60 %, clinopiroxeno augita 10 – 41 % y hornblenda con pleocroísmo café a rojizo 8 – 60 %, variando notablemente la composición

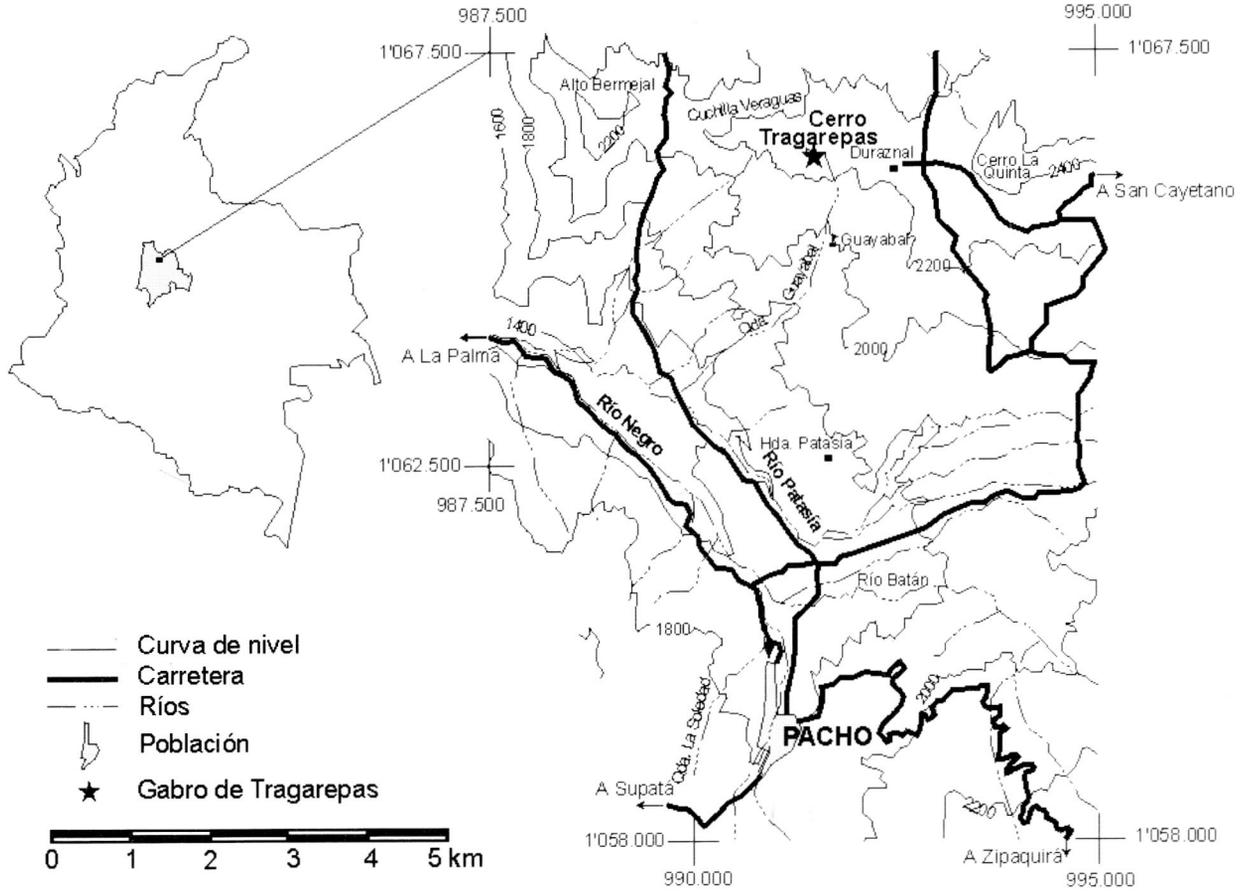


Fig. 1. Localización del área de estudio. Escala 1:100000.

entre cada muestra, debido al grado de alteración que presentan.

Los minerales secundarios se dividieron en productos de alteración y minerales de introducción por la alteración hidrotermal. Por alteración se reconocen hornblenda verde, clorita, clinozoicita, sericita y óxidos de hierro. Por introducción se presentan epidota, calcita, muscovita, actinolita, esfalerita, pirita y hematita especular.

De acuerdo a la recomendación de la Unión Internacional de Ciencias Geológicas (IUGS), las rocas se clasifican como gabros piroxénico hornbléndicos con base en su contenido de minerales esenciales (STRECKEISEN 1976) (Fig. 2).

Plagioclasas. La composición de la plagioclasa corresponde a labradorita (An 50 - 70). Los cristales muestran hábito tabular y usualmente poseen formas subhedrales a euhedrales. Se observan principalmente maclas de Carlsbad a veces combinadas con maclas de la Albita. Se encuentran generalmente frescas aunque en

algunas muestras presentan algo de sericitización debido a la alteración hidrotermal.

Clinopiroxenos. El clinopiroxeno presente en estas

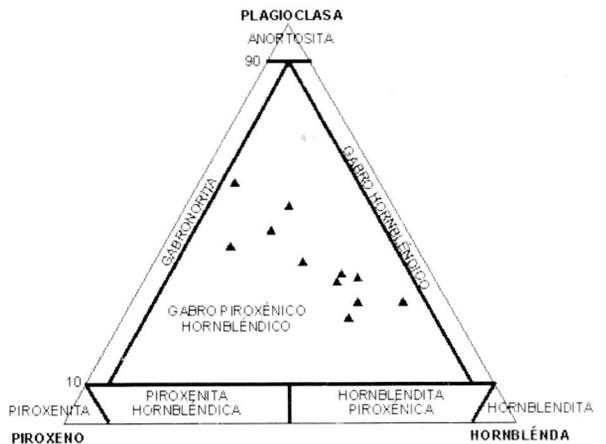


Fig. 2. Clasificación de las rocas del Gabro de Tragarepas (STRECKEISEN 1976).

rocas es augita, el cual generalmente se encuentra alterado a clinozoicita, así como a clorita. Los cristales son anhedral y se disponen en texturas ofíticas y subofíticas, ó localmente poiquilíticas sobre las plagioclasas. Es frecuente encontrarlos reemplazados por calcita debido a la alteración hidrotermal; en algunos individuos se observa la segregación de óxidos de hierro.

Anfíboles. En las rocas del Gabro de Tragarepas se presentan dos tipos de anfíbol. El anfíbol esencial corresponde a hornblenda con pleocroísmo café a rojizo, en formas generalmente subhedrales, presentando inclusiones de epidota granular y tabular. También se encuentra hornblenda verde para la cual, las evidencias petrográficas permiten considerarla como mineral secundario (hidrotermal) a partir de la transformación de la hornblenda café.

Se realizaron análisis químicos semicuantitativos areales en el microscopio electrónico sobre los dos tipos de hornblenda presentes y los datos obtenidos se presentan en la Tabla 1, donde se observa una clara diferencia composicional entre ellos, principalmente en cuanto al contenido de titanio y aluminio.

En la Fig. 3, de acuerdo a los contenidos de estos óxidos, se puede indicar la temperatura y la presión de formación del anfíbol y usarlo como un termobarómetro semicuantitativo, (ERNST & LIU 1998). Los puntos medidos sobre la hornblenda café indican una temperatura de formación alrededor de 1000°C, correspondiente a la temperatura de cristalización de los gabros. Los puntos sobre la hornblenda verde indican temperaturas cercanas a los 500°C, que representan estados tardíos de cristalización, posiblemente correspondientes al estadio hidrotermal, lo cual se comprueba con las observaciones petrográficas de las alteraciones presentes en las rocas.

En la gráfica, es posible observar que la presión litostática para la formación del cuerpo fue baja, indicando que éste se emplazó a niveles cercanos a la superficie (aproximadamente a 7.5 km de profundidad). Estas condiciones concuerdan con el modelo de emplazamiento establecido para los cuerpos gabroides de Puerto Romero - El Marfil, en el flanco occidental de la Cordillera Oriental (MARQUÍNEZ & MORENO 1993).

Minerales secundarios. Como consecuencia de la alteración hidrotermal, la clorita se presenta como producto de alteración de la hornblenda verde, el piroxeno está alterado a clinozoicita y las plagioclasas se encuentran algo sericitizadas. Así mismo, se observa introducción de epidota en agregados granulares que se disponen a

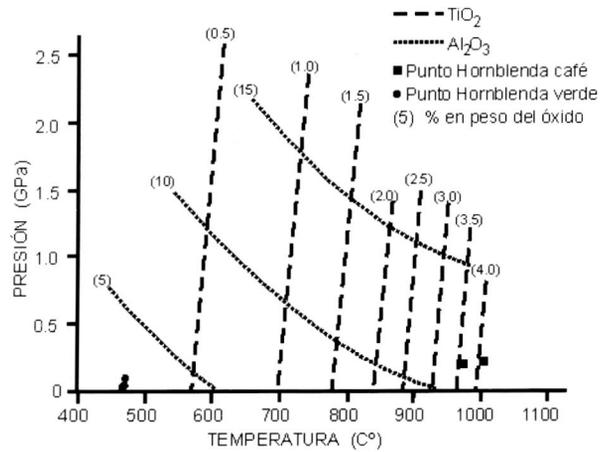


Fig. 3. Hornblendas del Gabro de Tragarepas como termobarómetros semicuantitativos. (ERNST & LIU 1998). 1 Gpa = 10 Kbar. 1 Kbar @ 3 km de profundidad.

manera de inclusiones sobre los anfíboles o sus productos de alteración y en forma tabular en inclusiones sobre las plagioclasas. También se presenta introducción de actinolita, esfalerita, calcita, muscovita, pirita y opacos, posiblemente hematita especular observada a nivel macroscópico y dispuesta como pseudomorfos de los anfíboles. Además, aparecen óxidos de hierro segregados por los anfíboles y piroxenos a causa de la meteorización de éstos.

Patrón textural

Las rocas son holocristalinas, equigranulares y el tamaño de grano es fino a medio. La textura general es granular y las específicas son intergranulares, ofíticas, subofíticas y poiquilíticas.

La textura granular se presenta en la mayoría de las secciones. La textura intergranular puede aparecer como textura general o bien como textura específica o localmente en la sección. Las plagioclasas pueden estar en diferentes disposiciones, ya sea subradiales o subparalelas. La textura poiquilítica se observa como pequeños agregados granulares de piroxeno alterado a clinozoicita, que están encerrados dentro de cristales más grandes de plagioclasa y se presenta en las secciones como textura específica o localmente.

Las texturas ofítica y subofítica se observan en las secciones como texturas específicas, sin ser muy marcadas, predominando la textura ofítica. Estas texturas son la evidencia de un proceso de cristalización del sistema eutéctico Diópsido – Anortita, donde las plagioclasas incluidas en los piroxenos indican la previa cristalización

TABLA 1

Porcentaje en peso de los óxidos que componen los dos tipos de hornblenda presentes en las rocas del Gabro de Tragarepas.

Hornblenda	% EN PESO DE LOS ÓXIDOS				
	Café	Café	Verde	Verde	Verde
ÓXIDO					
SiO ₂	46.34	47.88	56.32	57.41	58.7
TiO ₂	3.61	4.11	0	0	0
Al ₂ O ₃	11.32	11.44	2.83	2.74	3.03
MgO	13.5	13.86	14.28	17.05	13.19
CaO	10.76	8.81	8.45	8.88	7.33
Na ₂ O	2.53	2.56	1.86	1.97	1.79
Fe ₂ O ₃	11.5	12.4	16.25	12.24	15.69
Total	99.56	101.06	99.99	100.29	99.73

de estas, partiendo de un líquido silicatado enriquecido en componente anortítico.

CARACTERIZACIÓN Y CLASIFICACIÓN GEOQUÍMICA

Fueron analizadas geoquímicamente nueve muestras del Gabro de Tragarepas, en el laboratorio del Área de Química de INGEOMINAS, utilizando los métodos analíticos de gravimetría, espectrofotometría de absorción atómica, colorimetría, y espectrografía de emisión, con el objeto de obtener las concentraciones de los elementos mayores, menores y traza. Se incluyeron además, dos muestras del mismo cuerpo (PA1 y PA3), analizadas anteriormente por el método de fluorescencia de rayos X (XRF), en la Universidad Johannes Gutenberg de Mainz, Alemania, para obtener un total de once muestras.

Para la caracterización y clasificación geoquímica y la discriminación tectónica, se utilizaron diagramas originalmente desarrollados por varios autores para rocas efusivas. En los diagramas presentados, los valores de hierro total fueron recalculados utilizando la fórmula $(\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{FeO}) = 0.2$ (WILKINSON 1986). Posteriormente los datos de los óxidos fueron normalizados al 100% libres de H₂O-, H₂O+ y volátiles. En la Tabla 2 se muestran los datos de los óxidos normalizados y los minerales normativos calculados con la norma CIPW. Las pérdidas por calcinación son altas debido al gran contenido de minerales hidratados, carbonatos y sulfuros presentes por la alteración hidrotermal de las rocas.

En el diagrama de álcalis total (Na₂O + K₂O) vs. sílica (SiO₂), se obtuvo una primera división entre rocas alcalinas y subalcalinas (Fig. 4). Se puede observar que las muestras

del Gabro de Tragarepas están ubicadas preferencialmente en el campo subalcalino y algunas hacia el límite alcalino - subalcalino. Para reconocer mejor a qué serie pertenecen las muestras que caen en el límite, se utilizó el diagrama Ol' - Ne' - Q' (olivino - nefelina - cuarzo normativos) (Fig. 5), donde se observa que todas las muestras están ubicadas en el campo subalcalino, a excepción de la muestra AN 3 que aún está situada en el límite.

Adicionalmente se utilizó el diagrama de K₂O vs. SiO₂, en el que se puede apreciar que las muestras pertenecen a la serie subalcalina, principalmente en la zona baja en potasio (Fig. 6).

Para comprobar la tendencia sódica de las muestras como consecuencia de una baja concentración de potasio, se utilizó el diagrama ab' - an' - or' (albita - anortita - ortoclasa normativas) para rocas subalcalinas (Fig. 7), en donde se observa que las muestras están ubicadas principalmente hacia el extremo del campo sódico. Esto debido a un enriquecimiento secundario en sodio controlado por la introducción de este elemento en el proceso de alteración hidrotermal, lo cual se verifica con las observaciones petrográficas.

A su vez, las rocas subalcalinas del Gabro de Tragarepas fueron graficadas en el diagrama Al₂O₃ vs. AN (plagioclasa normativa) donde AN = $(100 \text{ an})/(\text{an} + \text{ab} + 5/3 \text{ ne})$ (Fig. 8), en el cual se puede observar que la mayoría de las rocas están ubicadas en el campo toleítico; sin embargo, las muestras AN10, AN23 y AN23C, están situadas en el campo calcoalcalino. Por esta razón, se utilizó adicionalmente el diagrama de diferenciación de Índice de Alcalinidad I.A. = $(\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O})/((\text{SiO}_2 - 43) \cdot (0.17))$

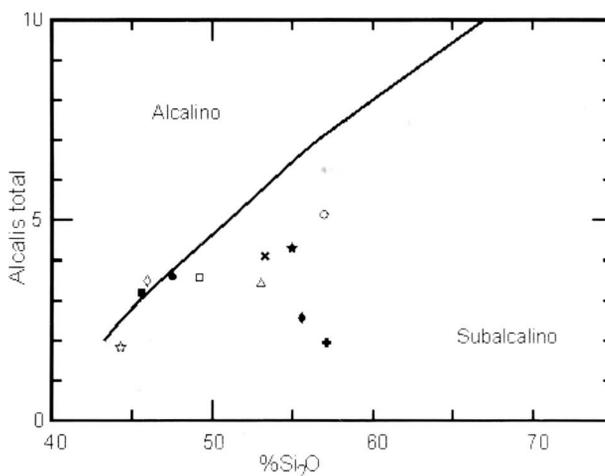


Fig. 4. Diagrama Álcalis Total vs. SiO₂ (IRVINE & BARAGAR 1971). Símbolos como en la Tabla 2.

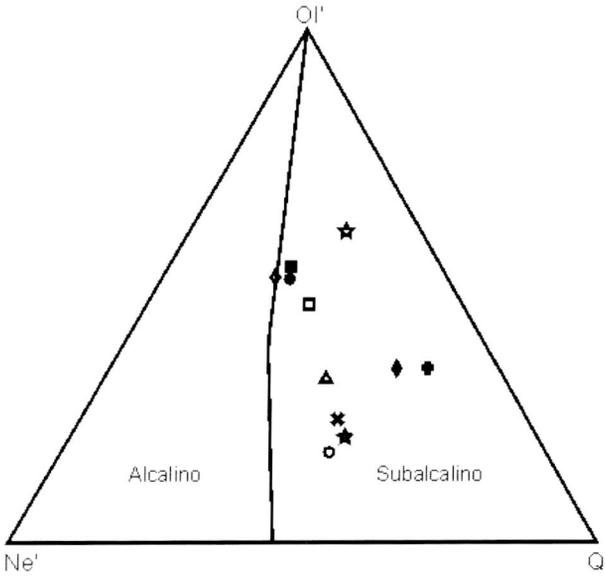


Fig. 5. Diagrama Ne'- Ol'- Q' (IRVINE & BARAGAR 1971). Símbolos como en la Tabla

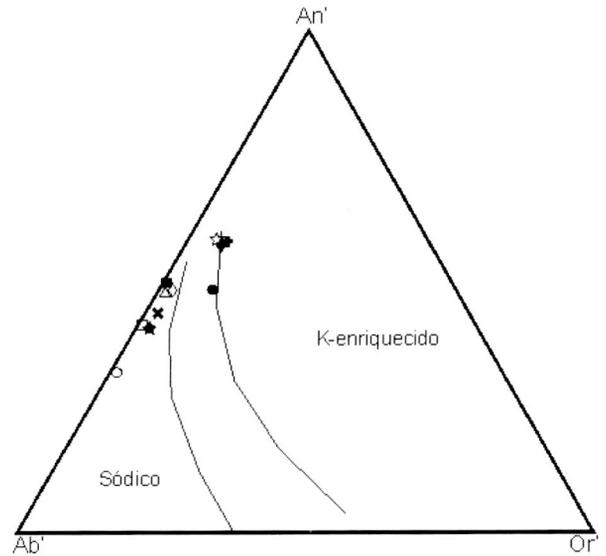


Fig. 7. Diagrama Ab' - An' - Or' para rocas subalcalinas. (IRVINE & BARAGAR 1971). Símbolos como en la Tabla 2.

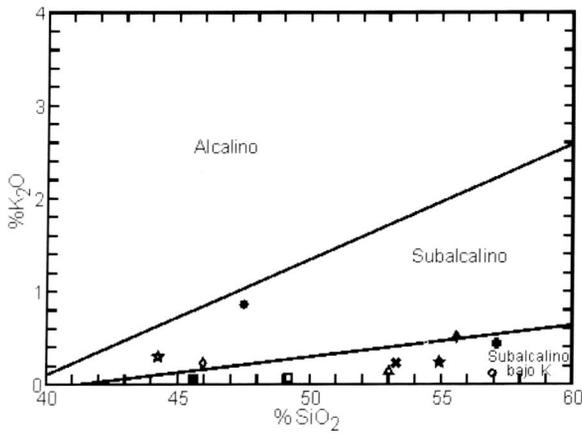


Fig. 6. Diagrama K₂O vs. SiO₂ (Middlemost, 1975, en WILSON 1989). Símbolos como en la Tabla 2.

carácter toleítico. Esta condición presenta una estrecha relación con los resultados obtenidos en estudios anteriores de rocas de similares características, desde el punto de vista geológico y geoquímico (VÁSQUEZ 1999; VÁSQUEZ *et al.* 2000).

Clasificación geoquímica

Para realizar la clasificación geoquímica de las rocas del Gabro de Tragarepas, se utilizaron diferentes diagramas de varios autores. En primer lugar las muestras fueron clasificadas según el diagrama K₂O vs. SiO₂ (PECERILLO & TAYLOR 1976) (Fig. 11), donde se observa que composicionalmente varían entre gabrodioritas bajas en potasio y dioritas bajas en potasio.

Adicionalmente se realizó la clasificación por el método TAS (LE BAS *et al.* 1986) de álcalis total (Na₂O + K₂O) vs. SiO₂ (Fig. 12), donde se obtiene que las muestras corresponden a gabros y gabrodioritas.

Según el diagrama de álcalis total (Na₂O + K₂O) vs. SiO₂ (COX *et al.* 1979) (Fig. 13), las muestras se clasifican como gabros, gabrodioritas y dioritas.

También se realizó el diagrama que tiene en cuenta los valores normativos CIPW de Índice de Color CI vs. Plagioclasa normativa AN (IRVINE & BARAGAR 1971) (Fig. 14). Con éste, se obtiene que la mayoría de las muestras corresponden a gabros y las muestras AN10 y AN23 se clasifican como dioritas.

vs. Al₂O₃ (Fig. 9) donde se obtiene que a excepción de la muestra AN10 todas las muestras caen en el campo toleítico.

Finalmente se empleó el diagrama AFM (Fig. 10), donde, A = Na₂O + K₂O; F = FeO + 0,9 Fe₂O₃ y M = MgO; se observa claramente que todas las muestras pertenecen a la serie toleítica.

Del análisis de todos los diagramas utilizados anteriormente y debido a la consistencia en sus resultados se concluye que las rocas del Gabro de Tragarepas pertenecen a la serie subalcalina con tendencia sódica por su baja concentración en potasio, y se comprueba su

TABLA 2
Elementos mayores normalizados en % en peso, menores y trazas en ppm. Porcentaje de minerales normativos. nd.: No determinado.

MUESTRA	PA1	PA3	PACHO1	AN3	AN8	AN10	AN21	AN 21A	AN23	AN 23A	AN 23C
SÍMBOLO											
SiO ₂	53	49.2	45.6	46	55.6	57	47.5	44.27	54.94	57.12	53.29
TiO ₂	1.74	2.08	1.84	1.72	1.95	1.85	1.7	1.69	2.82	2.43	2.91
Al ₂ O ₃	15	15.2	15	15.5	13.9	17.6	15.2	13.75	16.22	10.81	16.32
Fe ₂ O ₃	2.09	2.32	2.65	2.23	2.35	1.86	2.09	2.63	2.24	2.88	2.53
FeO	10.5	11.6	13.23	11.1	11.7	9.31	10.5	13.13	11.2	14.4	12.65
MnO	0.18	0.13	0.14	0.17	0.11	0.09	0.09	0.21	0.13	0.2	0.13
MgO	5.71	10.7	10.94	11	4.36	1.43	10.4	11.95	1.18	3.66	1.32
CaO	8.26	4.83	6.67	8.09	6.63	5.04	8.39	7.79	6.09	5.64	6.21
Na ₂ O	3.27	3.51	3.14	3.26	2.05	5.02	2.74	1.53	4.06	1.52	3.87
K ₂ O	0.14	0.07	0.06	0.23	0.51	0.12	0.86	0.3	0.24	0.44	0.23
P ₂ O ₅	0.13	0.42	0.72	0.69	0.82	0.73	0.65	2.75	0.88	0.9	0.55
TOTAL	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
H ₂ O	nd.	nd.	0.26	0.3	0.08	0.16	0.18	0	0.6	0.6	0.82
LOI	2.8	5.2	4.43	3.91	6.36	5.50	4.94	4.60	4.08	4.90	4.75
Ba	124	23	385	45	470	180	60	35	45	40	45
Sr	185	68	95	175	14	115	135	115	285	115	255
Rb	2	2	3	6	5	2	5	3	4	3	4
V	166	238	180	195	174	183	158	184	246	202	247
Cr	225	412	589	567	352	236	483	652	50	587	52
Ni	39	96	107	111	97	44	107	152	57	106	51
Co	35	59	66	60	52	63	55	67	50	58	47
Cu	33	3	10	14	15	45	9	6	17	15	24
Zn	127	112	nd.	nd.	nd.						
Ga	21.3	17.7	nd.	nd.	nd.						
Zr	75	119	200	150	100	150	200	200	300	100	200
Y	24	30	30	50	50	70	70	70	70	50	50
Nb	5	8	10	0	10	10	10	0	10	10	10
%AN	48	42	50	50	61	32	53	61	42	62	45
Q	4	0	0	0	16	11	0	0	12	22	9
or	1	0	0	2	3	1	5	2	2	3	1
ab	28	30	27	27	17	42	23	13	34	13	33
an	26	21	27	27	27	20	27	21	25	21	26
C	0	2	0	0	0	2	0	3	0	0	0
di	12	0	1	7	0	0	9	0	0	1	1
hy	23	28	9	0	27	16	8	44	17	29	19
ol	0	11	27	29	0	0	20	4	0	0	0
mt	3	3	4	3	4	3	3	4	3	4	4
il	3	4	3	3	4	3	3	3	5	5	6
ap	0	1	2	2	2	2	2	6	2	2	1
TOTAL	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

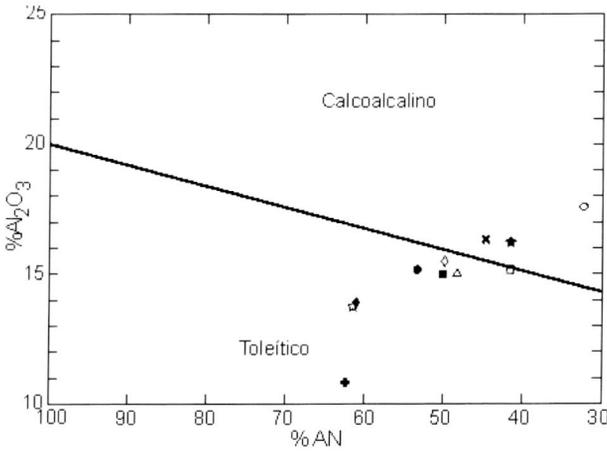


Fig. 8. Diagrama Al₂O₃ vs. Plagioclasa normativa AN. (IRVINE & BARAGAR 1971). Símbolos como en la Tabla 2.

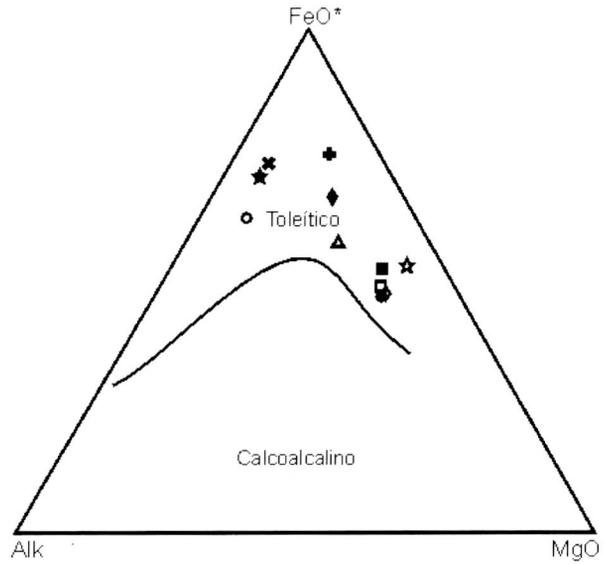


Fig. 10. Diagrama AFM. (IRVINE & BARAGAR 1971). Símbolos como en la Tabla 2.

Oceánico (B), Calcoalcálico (B, C) e Intraplaca (D). Este diagrama fue empleado para las muestras del Gabro de Tragarepas (Fig. 15) donde se presenta una dispersión en los valores posiblemente debida a la utilización del método semicuantitativo para la medición de los valores de Zr e Y. Sin embargo, las lecturas para estos elementos de las muestras PA1 y PA3, se realizaron por el método cuantitativo de Fluorescencia de Rayos X, el cual permite una mayor seguridad en los resultados. Para estas muestras se obtiene indicaciones de una tendencia entre los límites de ambiente de suelo oceánico y ambiente intraplaca (ambientes distensivos).

En el diagrama de discriminación tectono – magmática Ti – Zr – Sr (PEARCE & CANN 1973) (Fig. 16) se definen tres ambientes geotectónicos: Arcos de Islas (A), Calcoalcálico (B) e Intraplaca (C). Aunque las muestras indican un bajo contenido de estroncio, el cual probablemente está empobrecido por la alteración hidrotermal sufrida por las rocas, es posible deducir que están ubicadas en el campo C que corresponde a un ambiente distensivo o extensional (dorsales oceánicas).

Finalmente se utilizó el diagrama AFM (Petro *et al.* 1979 en FUJIMORI 1990), el cual discrimina dominios compresionales y extensionales para rocas plutónicas (Fig. 17), en el que se puede apreciar que las muestras del Gabro de Tragarepas están ubicadas principalmente en el dominio extensional.

Con base en los diagramas de discriminación

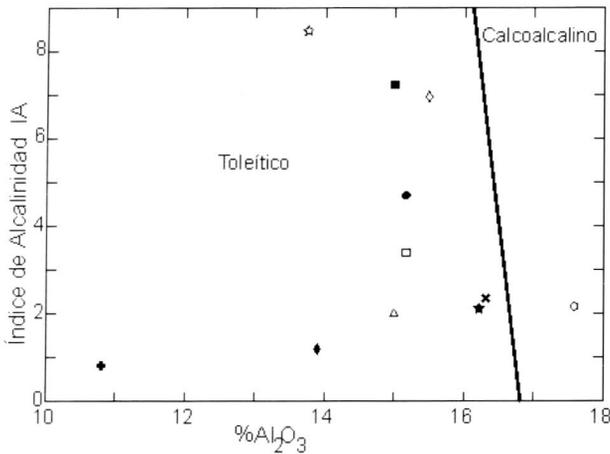


Fig. 9. Diagrama Índice de alcalinidad I.A. vs. Al₂O₃ (Middlemost 1975, en WILSON 1989). Símbolos como en la Tabla 2.

En general, y basándose en los diagramas utilizados, se puede concluir que las rocas del Gabro de Tragarepas se clasifican geoquímicamente como gabros, gabrodioritas y dioritas bajas en potasio.

PETROGÉNESIS

Se tomaron los datos de concentración de los elementos obtenidos en los análisis químicos, para realizar los diagramas de discriminación tectono - magmática con el fin de establecer el modelo geotectónico de emplazamiento para el Gabro de Tragarepas.

En el diagrama de discriminación tectono - magmática Ti – Zr – Y (PEARCE & CANN 1973), se definen cuatro ambientes geotectónicos: Arcos de Islas (A, B), Suelo

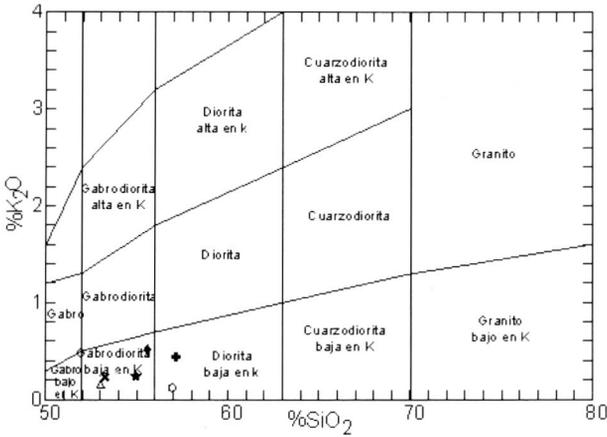


Fig. 11. Diagrama K₂O vs. SiO₂ (PECERILLO & TAYLOR 1976). Símbolos como en la Tabla 2.

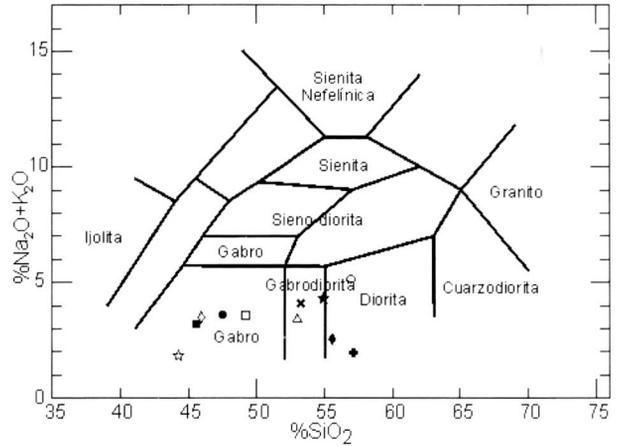


Fig. 13. Diagrama de Álcalis Total vs. SiO₂ (Cox *et al.* 1979). Símbolos como en la Tabla 2.

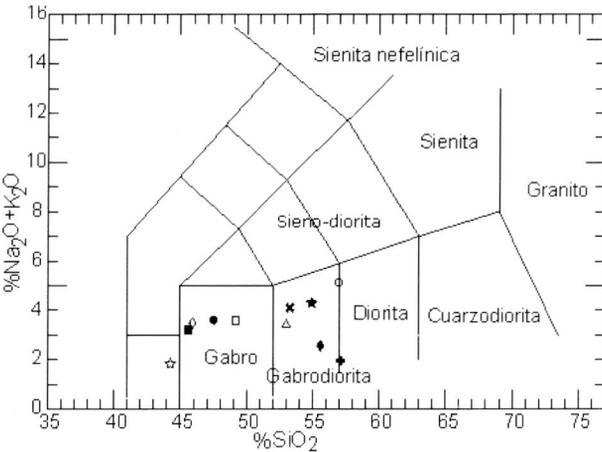


Fig. 12. Diagrama Álcalis Total vs. SiO₂, método TAS (LE BAS *et al.* 1986). Símbolos como en la Tabla

geotectónica presentados, se puede concluir que las rocas del Gabro de Tragarepas fueron generadas en un dominio distensivo intraplaca.

JARAMILLO (1980) realiza un análisis estadístico para elementos mayores en 38 conjuntos de rocas volcánicas, de diferentes ambientes tectónicos alrededor del mundo. Con este estudio demuestra que entre las rocas volcánicas que tienen contenidos de SiO₂ entre 47.5% y 52.5% en peso, las generadas en arcos de islas y márgenes continentales de zonas de subducción tienen el contenido de TiO₂ menor de 1.35% en peso; mientras que el contenido de TiO₂ es mayor de 1.35% en rocas volcánicas de zonas de extensión como las de dorsales oceánicas y rifts continentales y aquellas generadas en respuesta a plumas del manto como islas oceánicas.

En las rocas del Gabro de Tragarepas el contenido de TiO₂ varía entre 1.69% y 2.91%. Si se tiene en cuenta la

anterior afirmación, se generaron en un dominio distensivo. De acuerdo con los diagramas de discriminación geotectónica realizados, y trabajos previos (FABRE & DELALOYE 1983, MARQUÍNEZ & MORENO 1983, UJUETA 1991, MORENO & CONCHA 1993, VÁSQUEZ 1999, VÁSQUEZ *et al.* 2000, NAVARRETE 2002) se concluye que, debido a la tectónica distensiva en la cuenca, se produjo adelgazamiento de la corteza y por consiguiente fallas muy profundas que posiblemente alcanzaron el manto superior, las cuales permitieron el ascenso del magma hacia la superficie.

EDAD DEL INTRUSIVO

Con base en las observaciones de campo, se estableció que el Gabro de Tragarepas intruye rocas sedimentarias correspondientes al Albiano, por lo cual se determinó

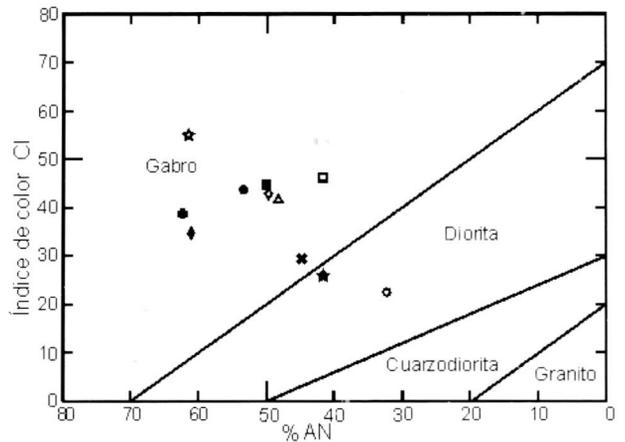


Fig. 14. Diagrama Índice de Color I.C. vs. Plagioclasa normativa %AN (IRVINE & BARAGAR 1971). Símbolos como en la Tabla 2.

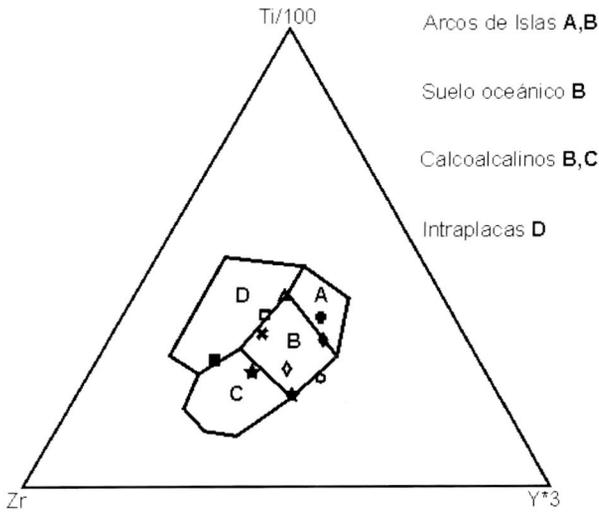


Fig. 15. Diagrama de discriminación Ti - Zr - Y. (PEARCE & CANN 1973). Símbolos como en la Tabla 2.

estratigráficamente que el cuerpo ígneo es posterior al Albiano.

Esta edad se corroboró mediante la identificación de los fósiles recolectados en sectores aledaños a las rocas intruidas por el Gabro de Tragarepas (Tabla 3).

Otros cuerpos básicos similares de la Cordillera Oriental, muestran que estos no intruyen rocas más jóvenes al Albiano, como ocurre con los intrusivos de Rodrigoque y

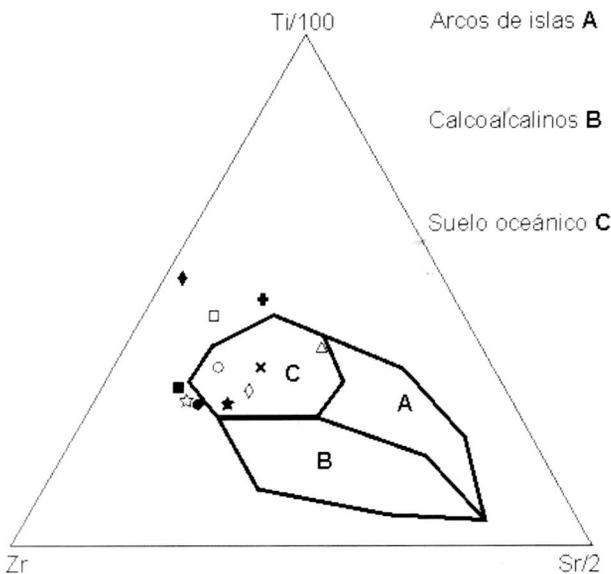


Fig. 16. Diagrama de discriminación Ti - Zr - Sr. (PEARCE & CANN 1973). Símbolos como en la Tabla 2.

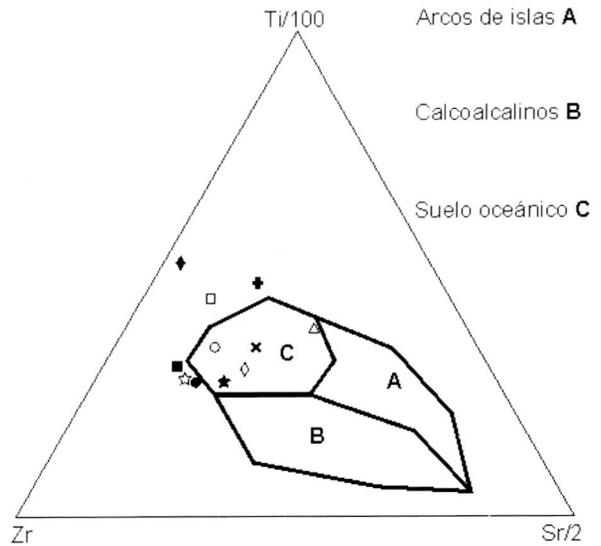


Fig. 17. Diagrama indicando los tipos comprensionales (C) y extensionales (E) de series plutónicas. (Petro *et al.* 1979 en FUJIMORI 1990). Símbolos como en la Tabla 2.

Pajarito, Boyacá (FABRE & DELALOYE 1983), en el área de Puerto Romero, Boyacá (MARQUÍNEZ & MORENO 1993) y Cáceres, Cundinamarca (VÁSQUEZ *et al.* 2000).

Debido a que los resultados de los análisis petrográficos y geoquímicos realizados a las muestras del Gabro de Tragarepas, tiene una gran similitud con los obtenidos de cuerpos ígneos básicos (VÁSQUEZ *et al.* 2000), se podría establecer una relación entre ellos, debido a que corresponderían a un mismo evento magmático de generación y concordante en edad.

CONCLUSIONES

* La clasificación de las rocas del Gabro de Tragarepas se basó en la recomendación de la Unión Internacional de Ciencias Geológicas (IUGS) según STRECKEISEN (1976), con la cual se obtiene que las rocas son gabros piroxénico hornbléndicos.

* Las rocas son holocristalinas, equigranulares con tamaño de grano fino a medio. La textura general es granular, y las texturas específicas son intergranulares, ofíticas, subofíticas y localmente poiquilíticas.

* De acuerdo con la composición química de la hornblenda café, se establece que su formación ocurrió a temperaturas cercanas a los 1000°C, temperatura de cristalización de los gabros, y las condiciones de presión para la formación del intrusivo fueron bajas, indicando que éste se emplazó superficialmente. Se comprobó que la formación de la hornblenda verde ocurrió a 500°C de

TABLA 3
Fósiles identificados para la datación relativa del Gabro de Tragarepas

TIPO DE FÓSIL	DATACIÓN
<i>Neoharpoceras</i> sp.	Albiano Superior
<i>Oxytropidoceras (Venezolicerias) cf. karsteni</i> Stielor	Albiano Superior
<i>Oxytropidoceras (Venezolicerias) cf. multicoatum</i> Renz	Albiano Superior
<i>Oxytropidoceras (Venezolicerias) robustum</i>	Albiano Superior

temperatura aproximadamente y condiciones de presión inferiores correspondientes a un estadio hidrotermal post-magmático.

* Por medio del análisis geoquímico realizado a las rocas del Gabro de Tragarepas, se establece que estas pertenecen a la serie subalcalina con tendencia sódica de carácter toleítico y se clasifican como gabros, gabrodioritas y dioritas bajas en potasio.

* Con base en los diagramas de discriminación geotectónica, se concluye que el Gabro de Tragarepas fue generado en un dominio distensivo intraplaca, y el adelgazamiento y fallamiento de la corteza permitió el ascenso del magma hacia la superficie.

* Mediante datación relativa, tanto estratigráfica como paleontológica, se estableció que el Gabro de Tragarepas es de una edad posterior al Albiano.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a la Universidad Nacional de Colombia - División de Investigaciones sede Bogotá, por la financiación de este proyecto. Al Doctor Uwe Altenberger de la Universidad de Potsdam (Alemania), a los químicos Carlos Julio Cedeño y Sandra Córdoba del INGEOMINAS por su colaboración.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- CAMPBELL, C. J. & BÜRGL, H. (1965): Section Through the Eastern Cordillera of Colombia, South America.- Geological Society of America Bulletin, v. 76, p. 567-590.
- COX, K. G., BELL, J. D. & PANKHURST, R. J. (1979): *The Interpretation of Igneous Rocks*.- 450 p., Allen and Unwin, London.
- ERNST, W. G. & LIU, J. (1998): Experimental phase - equilibrium study of Al- and Ti-contents of calcic amphibole in MORB-A semiquantitative thermobarometer.- American Mineralogist, v. 83, p. 952-969.
- FABRE, A. (1983a): La subsidencia de la Cuenca del Cocuy (Cordillera Oriental de Colombia) durante el Cretáceo y Terciario Inferior. Primera Parte: Estudio cuantitativo de la subsidencia.- Geología Norandina, n. 8, p. 49-61, Bogotá.
- ____ (1983b): La subsidencia de la Cuenca del Cocuy (Cordillera Oriental de Colombia) durante el Cretáceo y Terciario Inferior. Segunda Parte: Esquema de la Evolución Tectónica.- Geología Norandina, n. 8, p. 21-27, Bogotá.
- FABRE, A. & DELALOYE, M. (1983): Intrusiones básicas cretácicas en las sedimentitas de la parte central de la Cordillera Oriental.- Geología Norandina, n. 6, p. 19 - 28, Bogotá.
- FUJIMORI, S. (1990): *Composição química de rochas e suas aplicações*.- 306 p., Centro Editorial e Didáctico da UFBA, Salvador.
- IRVINE, T. N. & BARAGAR, W. R. (1971): A Guide to the Chemical Classification of the Common Volcanic Rocks. - Canadian Journal of Earth Sciences, v. 8, p. 523-548.
- JARAMILLO, J. (1980): Petrology and Geochemistry of the Nevado del Ruiz Volcano, Northern Andes, Colombia (Ph. D. Thesis).- 167 p., University of Houston, Houston.
- LE BAS, M. J., LE MAITRE, R. W., STRECKEISEN, A. & ZANETTIN, B. (1986): A Chemical Classification of Volcanic Rocks Based on the Total Alkali-Silica Diagram.- Journal of Petrology, v. 27, part 3, p. 745-750.
- MARQUÍNEZ, G. & MORENO, L. (1993): Cartografía geológica y análisis petrográfico de las rocas aflorantes en el extremo Sur - Este de la plancha 169 (Puerto Boyacá). Departamentos de Cundinamarca y Boyacá (Trabajo de Grado).- 82 p., Universidad Nacional de Colombia, Departamento de Geociencias, Bogotá.
- MORENO, J. M. & CONCHA, A. E. (1993): Nuevas manifestaciones ígneas básicas en el flanco occidental de la Cordillera Oriental, Colombia.- Geología Colombiana, 18, p. 143 - 150, Bogotá.
- NAVARRETE, A. T. (2002): Evaluación geológica y petrográfica del cuerpo ígneo aflorante en el Cerro Tragarepas, al norte de la población de Pacho, Cundinamarca (Trabajo de Grado).- 122 p., Universidad Nacional de Colombia, Departamento de Geociencias, Bogotá.
- PEARCE, J. & CANN, J. (1973): Tectonic setting of basic volcanic rocks determined using trace elements analyses.- Earth and Planetary Science Letters, n. 19, p. 290-300.
- PECERILLO, A., & TAYLOR, S. (1976): Geochemistry of Eocene Calc-Alkaline Volcanic Rocks from the Kastamonu Area, Northern Turkey.- Contrib. Mineral. Petrol., n. 58, p. 63-81.
- STRECKEISEN, A. (1976): To each plutonic rock its proper name.-

- Earth - Science Reviews, v.12, p. 1-33, Amsterdam.
- UJUETA, G. (1991): Tectónica y actividad ígnea en la Cordillera Oriental de Colombia (Sector Girardot - Cúcuta).- Simposio sobre magmatismo andino y su marco tectónico, v. 1, p. 151-192, Manizales, Colombia.
- VÁSQUEZ, M. (1999): Evaluación petrográfica y caracterización geoquímica de los cuerpos intrusivos básicos aflorantes en la región de Cáceres y Puerto Romero, Departamentos de Cundinamarca y Boyacá (Trabajo de Grado).- 74 p., Universidad Nacional de Colombia, Departamento de Geociencias, Bogotá.
- VÁSQUEZ, M., CONCHA, A.E., MORENO, J.M. & PATARROYO, P. (2000): Caracterización Geoquímica y Petrografía de los Cuerpos Intrusivos Básicos, aflorantes en la región de Cáceres y Puerto Romero, Departamentos de Cundinamarca y Boyacá, Colombia.- Geología Colombiana, 25, p. 185-198, Bogotá.
- WILKINSON, J.F. (1986): Clasification and average Chemical Compositions of Common Basalts and Andesites.- Journal of Petrology, v. 27, part 1, p. 31-62.
- WILSON, M. (1989): *Igneous Petrogenesis*.- 466 p., Unwin Hyman, London.

Manuscrito recibido, Septiembre de 2002