



Caracterización Geoquímica y Petrografía de los Cuerpos Intrusivos Básicos, aflorantes en la región de Cáceres y Puerto Romero, Departamentos de Cundinamarca y Boyacá, Colombia

MONICA VASQUEZ PARRA

ANA ELENA CONCHA PERDOMO

aconcha@ciencias.ciencias.unal.edu.co

JUAN MANUEL MORENO MURILLO

mamoreno@ciencias.ciencias.unal.edu.co

PEDRO PATARROYO GAMA

pepatar@ciencias.ciencias.unal.edu.co

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

VASQUEZ P., M.; CONCHA P., A.E. & MORENO M., J.M.. (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.- GEOLOGIA COLOMBIANA, 25, pgs. 185 - 198, 14 Figs., 3 Tablas, 2 Láminas, Bogotá.

RESUMEN

En la región de Cáceres y Puerto Romero se han encontrado cuerpos intrusivos básicos en forma de silos y diques intruyendo con bajos ángulos las sedimentitas cretáceas de las formaciones La Paja y Simití. Dichos cuerpos presentan, entre otras características "pseudoestratificación" y una dirección regional general de N10-20°E.

La caracterización geoquímica llevada a cabo para las muestras analizadas, indica que éstas poseen una concentración entre 50 y 57% de SiO₂, pertenecen a la serie subalcalina con tendencia sódica y carácter toleítico; geoquímicamente se clasifican como gabros, gabrodioritas y dioritas. Petrográficamente, están compuestas en su mayoría por plagioclasa intermedia a cálcica, piroxenos (augita, diópsido e hiperstena) y cuarzo; predominantemente presentan texturas ofíticas, subofíticas y granulares. Para la caracterización geoquímica, así como para la discriminación geotectónica, se utilizaron los diagramas desarrollados originalmente por varios autores para rocas efusivas.

De acuerdo con los resultados expuestos en el presente trabajo, se puede afirmar que la generación de los cuerpos intrusivos básicos tuvo lugar en un dominio distensivo de ambiente geotectónico intraplacas, como resultado de la formación de un rift intracontinental en el periodo Berriasiano - Cenomaniano. En dicho periodo la corteza continental sufrió un adelgazamiento considerable produciendo fallas muy profundas a lo largo de las cuales se inició el ascenso del magma, como consecuencia de la fusión parcial del manto.

Palabras clave: Gabros, intrusivos básicos, geoquímica, petrografía, Puerto Romero, Cáceres

ABSTRACT

In the Cáceres-Puerto Romero area, crop out some basic intrusive bodies shaped like sills and dikes, which are intruding the cretaceous sedimentary rocks of La Paja and Simití formations. In a broad outline, they show "pseudostratification" and a regional trench of N 10-20°E, as remarkable features.

The geochemical characterisation carrying through for the analysed samples, shows SiO₂ concentrations between 50 and 57 %, belonging to the subalkaline series with sodic tendency and tholeiitic character; geochemically they are gabbros, granodiorites and diorites. Regarding to the petrography, they are composed mostly of intermediate to calcic plagioclase, piroxenes (augite, diopside and hypersthene) and quartz. Amongst the prevailing textures found in these rocks are ophitic, subophitic and granular. For geochemical characterization and for tectonic environment discrimination were used diagrams developed originally for effusive rocks by different authors.

In accordance with the results obtained in this work, it is possible to state that the origin of the basic intrusive bodies took place at the distensive within plate setting, as a consequence of the formation of

an intracontinental rift at the Berriasian –Coniacian ages. In this period the sizeable thinning of the continental crust gave rise to a set of very deep faults along which began the rising of the magma as a result of partial melt of the mantle.

Key words: **Gabbros, Basic Intrusives, Geochemistry, Petrography, Puerto Romero, Cáceres**

INTRODUCCIÓN

En este trabajo se muestran los principales resultados obtenidos en el Proyecto de Investigación «Petrografía y Geología de las rocas ígneas aflorantes en el área del Río Cáceres», financiado por la División de Investigaciones de la Universidad Nacional de Colombia, Sede Bogotá y dirigido por el profesor Juan Manuel Moreno.

La región de Cáceres y Puerto Romero en los departamentos de Cundinamarca y Boyacá, ha sido objeto de estudios con fines petrolíferos y mineros principalmente. Algunos estudios como los de GANSSER (1956 y 1963); OLSSON (1956) y PRATT (1961), reportaron por primera vez la presencia de cuerpos intrusivos básicos en esta zona. Sin embargo, FABRE & DELALOYE (1983) realizaron un estudio más concreto sobre las intrusiones de este tipo en la Cordillera Oriental, tanto en el flanco occidental como en el oriental. En él se llevaron a cabo análisis químicos de cada uno de los cuerpos encontrados: Cáceres, La Corona, Pajarito y Rodrigoqué, y se llevaron a cabo dataciones radiométricas encontrando que todos ellos pertenecen al sistema Cretáceo inferior y posiblemente hasta el Cenomaniano (FABRE & DELALOYE 1983, Fig. 3, p. 23). La ubicación y descripción de los cuerpos intrusivos básicos así como las relaciones estratigráficas fueron descritas por MORENO & CONCHA (1993).

En el presente estudio se incluye una caracterización geoquímica y evaluación petrográfica de los cuerpos intrusivos básicos aflorantes en la región de Cáceres y Puerto Romero con el fin de hacer una aproximación a su petrogénesis y a la historia geológica de su emplazamiento. Los resultados obtenidos llevan a afirmar que los cuerpos intrusivos se emplazaron durante el Cretáceo inferior y hasta el Cenomaniano como consecuencia de un evento distensivo que produjo fracturas profundas a través de las cuales ascendieron los magmas acomodándose principalmente en forma de silos y diques pseudoestratificados.

El área de estudio se encuentra ubicada en las estribaciones occidentales de la Cordillera Oriental hacia el Valle Medio del Magdalena, entre los departamentos de Cundinamarca y Boyacá, en la jurisdicción de los municipios de Yacopí y Puerto Boyacá, área que corresponde a la Plancha 169 del IGAC. Los territorios municipales están drenados por las aguas de los ríos Guaguaquí, Cáceres, y Chirche, además de numerosas fuentes menores como las quebradas La Cristalina, Las Palomas, La Fiebre y Altamira, entre otras (Fig. 1). El área de interés donde se encuentran localizados los cuerpos intrusivos abarca 275

km².

GEOLOGÍA GENERAL Y EVOLUCIÓN TECTÓNICA

El área estudiada, con excepción de los cuerpos ígneos intrusivos de composición básica, está cubierta por rocas sedimentarias de origen marino y continental, depositadas durante el Cretáceo y Terciario, las cuales conforman las unidades litoestratigráficas características del Valle Medio del Magdalena y la parte occidental de la Cordillera Oriental, y comprenden un periodo de tiempo desde el Valanginiano hasta el Plioceno (RODRÍGUEZ & ULLOA 1994, MORENO & CONCHA 1993).

En cuanto a la evolución tectónica, los eventos distensivos sufridos en el Valle Medio del Magdalena comprenden un periodo de tiempo entre el Triásico tardío (?) y el Cretáceo superior. En primer lugar se forma un graben intracontinental, limitado por paleofallas normales, con subsidencia por causa de una tectónica de bloques, permitiendo la acumulación de los sedimentos continentales de las formaciones Bocas, Jordán, Girón y Los Santos (FABRE 1983a). Desde el Berriasiano, una fase de distensión afecta la zona comprendida entre la paleocordillera central y la paleofalla de Guaicáramo. Esta extensión este-oeste causa un adelgazamiento de la corteza y de toda la litosfera en las zonas Tablazo - Magdalena medio y El Cocuy en donde se forman dos grabenes subsidentes de dirección aproximada N - S. La fase de extensión se prolonga hasta el Aptiano y la subsidencia continúa hasta el final del Oligoceno (FABRE 1983b).

Desde el Mioceno medio y superior, comienza una fase de compresión que interrumpe la subsidencia de las dos cuencas, cuyos sedimentos son plegados y fallados. Es así como se levanta la cordillera y las zonas más subsidentes de ambas cuencas, forman actualmente los dos flancos cabalgantes de la cadena (FABRE 1983a, Fig. 4). Se puede decir entonces, que las cuencas del Cocuy y del Tablazo - Magdalena, muestran una evolución típica de una cuenca formada durante una fase de extensión. Se forma un graben entre el Berriasiano y el Aptiano inferior, con el desarrollo de cuerpos intrusivos básicos hasta el Cenomaniano y una cuenca ancha hasta el Oligoceno.

CARACTERIZACIÓN Y CLASIFICACIÓN GEOQUÍMICA

Las rocas analizadas en este trabajo fueron estudiadas por primera vez desde el punto de vista petrológico por VÁSQUEZ (1999) y por lo tanto en éste se presenta la

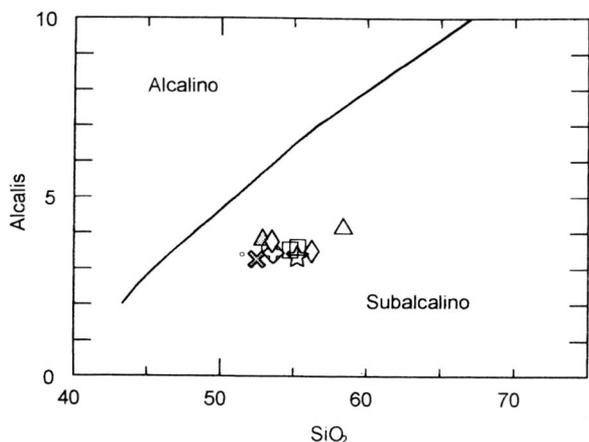


Fig. 2. Diagrama Álcalis total vs. SiO₂ (IRVINE & BARRAGAR 1971). Se observa claramente que las rocas analizadas pertenecen a la serie subalcalina. Símbolos como en Tabla 1.

primera clasificación geoquímica de las cuales son objeto. Lo anterior es muy importante, ya que con los resultados obtenidos se podrá hacer una aproximación a su petrogénesis y a la historia geológica de su emplazamiento. Los resultados de los análisis geoquímicos se presentan en la Tabla 1; así mismo, el porcentaje de los minerales normativos se encuentra en la Tabla 2.

Siete muestras seleccionadas de rocas gabroideas de la región de Cáceres y Puerto Romero fueron analizadas geoquímicamente por VÁSQUEZ (1999), utilizando los mé-

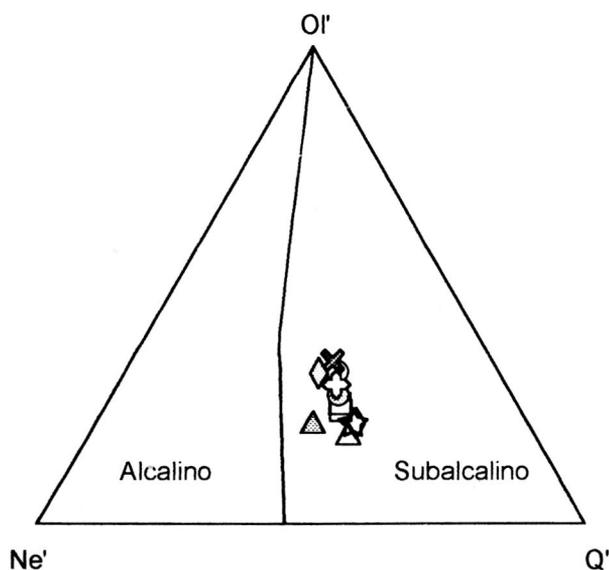


Fig. 3. Diagrama ne' - ol' - Q' (IRVINE & BARRAGAR 1971). Se confirma el comportamiento subalcalino. Símbolos como en Tabla 1.

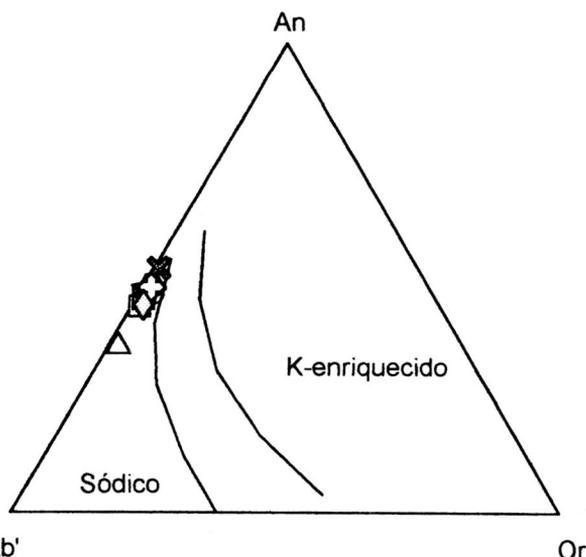


Fig. 4. Diagrama ab' - or' - an' para rocas subalcalinas (IRVINE & BARRAGAR 1971). Se observa el carácter sódico de las rocas. Símbolos como en Tabla 1.

todos de gravimetría, absorción atómica, colorimetría y volumetría con el fin de determinar su concentración de elementos mayores, menores y traza. Dichos análisis fueron realizados en el Área de Química del INGEOMINAS. Adicionalmente se incluyeron cinco muestras de la zona analizadas anteriormente, para obtener un mayor cubrimiento de la composición química de dichas rocas; dos de ellas fueron analizadas en el Servicio de Análisis de Rocas del Centre de Recherches Pétrographiques et Géochimiques Spectrochimie, CNRS en Francia, otras dos en la Universidad Johannes Gutenberg de Mainz (Institut für Geowissenschaften), en Alemania (estas últimas se hicieron por el método de fluorescencia de rayos X, XRF) y otra correspondiente a los análisis presentados por FABRE & DELALOYE (1983) del intrusivo de Cáceres, para un total de 12 muestras.

Para todos los diagramas que se presentan a continuación, los valores obtenidos en los análisis químicos se normalizaron al 100% libres de agua y se recalcularon los valores de Fe total, utilizando la fórmula $Fe_2O_3 = 1,5 + TiO_2$ (IRVINE & BARRAGAR 1971).

Las muestras analizadas son de composición básica y poseen entre 50 – 57 % de SiO₂. En el diagrama de álcalis total (Na₂O + K₂O) vs. SiO₂ se obtuvo la primera división entre rocas alcalinas y subalcalinas (Fig. 2). Se puede observar que la totalidad de las muestras se encuentran en la zona de la serie subalcalina. Para reafirmar dicho carácter se utilizó el diagrama normativo ne'-ol'-Q' (nefelina - olivino - cuarzo) (Fig.3), en donde se observa claramente que las muestras analizadas pertenecen a la

TABLA 1
Elementos mayores, menores y traza de las rocas intrusivas básicas de la región de Cáceres y Puerto Romero

MUESTRAS	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
	LFG3*	LAG1*	LEG1***	LEG2***	Fabre & Delaloye 1983	LEG3*	LEG8**	CUG3**	MV2*	MV4*	MV5*	PAG3*
SÍMBOLO	△	□	●	⊕	◆	○	✕	☆	◇	▲	□	○
SiO ₂	54,82	54,33	52,47	52,24	51,10	50,24	50,21	52,79	57,76	52,16	53,58	52,50
TiO ₂	1,50	1,37	1,72	1,71	1,57	1,80	1,41	1,81	1,40	1,35	1,72	1,57
Al ₂ O ₃	14,50	14,70	14,84	14,85	14,46	16,06	15,41	14,03	13,40	17,00	13,80	15,00
Fe ₂ O ₃	3,00	2,87	2,49	2,48	0,75	2,54	2,91	3,31	2,90	2,85	3,22	3,07
FeO	7,72	7,06	8,16	8,94	10,20	9,15	8,16	7,19	6,52	7,08	7,52	10,10
MnO	0,20	0,02	0,18	0,18	0,14	0,15	0,14	0,11	0,04	0,07	0,04	0,09
MgO	4,50	6,30	5,65	5,65	5,33	5,87	6,79	5,08	5,50	4,58	6,10	5,65
CaO	7,98	8,24	8,17	8,13	8,28	8,50	7,66	8,28	7,49	9,86	8,54	7,00
Na ₂ O	3,31	3,41	3,23	3,22	3,42	3,19	3,04	3,12	3,92	3,61	3,32	3,30
K ₂ O	0,10	0,13	0,14	0,14	0,18	0,12	0,08	0,07	0,17	0,14	0,13	0,23
P ₂ O ₅	0,14	0,10	0,13	0,13	0,11	0,15	0,14	0,08	0,12	0,16	0,15	0,13
LOI	0,47	0,06	2,80	---	4,02	2,72	2,99	3,10	0,06	0,15	0,07	0,09
Total	98,24	98,59	99,98	97,67	99,56	100,49	98,94	98,97	99,28	99,01	98,18	98,73
V	---	196	167	234	---	150	10,1	205	190	184	210	---
Sc	---	---	---	---	---	15	20,7	25,29	---	---	---	---
Cu	---	---	35	5	---	20	31,4	53,6	---	---	---	---
Sr	264	281	185	69	---	100	318	210	235	344	220	184
Rb	3	3	2	2	---	---	6,01	5,5	3	2	3	4
Ba	368	634	120	36	---	50	211	111	664	2555	128	320
Zr	---	42	75	121	---	50	117	69,2	106	57	45	---
Nb	---	---	6	10	---	---	5,12	4,73	---	---	---	---
Y	47	24	25	31	---	15	5,88	29,6	33	31	11	40

LOI: Pérdidas por calcinación. *INGEOMINAS (Bogotá); **CNRS (Francia); ***Universidad Johannes Gutenberg (Mainz, Alemania)

TABLA 2
Porcentaje de minerales normativos de las rocas intrusivas básicas de la región de Cáceres y Puerto Romero, calculados con la norma CIPW

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
MUESTRA	LFG3*	LAG1*	LEG1***	LEG2***	Fabre & Delaloye, 1983	LEG3*	LEG8**	CUG3**	MV2*	MV4*	MV5*	PAG3*
Mineral normativo												
Q	10,10	6,46	5,66	4,87	1,55	2,59	3,13	9,17	10,27	2,96	6,76	4,77
or	0,61	0,78	0,87	0,86	1,12	0,74	0,50	0,44	1,02	0,84	0,79	1,40
ab	30,90	31,23	29,97	29,96	32,41	29,56	28,61	29,67	35,71	33,00	30,69	30,49
an	25,39	24,91	26,57	26,59	24,88	30,11	29,53	25,50	18,74	30,31	23,00	26,18
di	11,87	12,90	11,48	11,47	14,17	9,94	7,48	13,97	14,54	14,75	15,67	6,95
hy	15,40	18,49	19,19	20,82	22,49	20,57	25,21	14,74	14,42	12,84	16,79	24,37
mt	3,26	3,06	3,50	2,69	0,83	3,58	3,19	3,67	3,08	3,03	3,47	3,30
il	2,17	1,95	2,47	2,47	2,31	2,59	2,06	2,67	1,98	1,91	2,47	2,25
ap	0,30	0,21	0,29	0,28	0,24	0,33	0,31	0,18	0,25	0,34	0,32	0,28
Total	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
AN	45,10	44,37	47,00	47,02	43,43	50,46	50,79	46,22	34,41	47,88	42,87	46,20

serie subalcalina.

Una vez hecha esta diferenciación se tomó el diagrama $ab'-or'-an'$ (albita - ortoclasa - anortita) normativas para rocas subalcalinas, en donde se muestra la tendencia sódica debido a la baja concentración de potasio que presentan estas rocas (Fig.4)

A su vez las rocas subalcalinas fueron divididas entre toleíticas y calcoalcalinas. Para esto, se utilizó el diagrama de diferenciación que involucra el índice de alcalinidad A.I., el cual se obtiene de la relación $(Na_2O + K_2O) / [(SiO_2 - 43) * (0.17)]$, y el porcentaje de Al_2O_3 (Fig. 5). En el se observa que todas las muestras están en la zona de la

serie toleítica, incluyendo la muestra MV4 que cae cerca al límite. De otro lado, el diagrama AFM es uno de los más utilizados para diferenciar las series toleíticas de las calcoalcalinas; en donde $A = Na_2O + K_2O$, $F = FeO + 0,9 Fe_2O_3$ y $M = MgO$ (Fig. 6). En él se observa que aunque las muestras están en la zona de toleitas, todas se sitúan muy cerca al límite. En adición, se utiliza el diagrama Al_2O_3 vs. Plagioclasa normativa AN, esta última dada por la relación $[(100 an) / (an + ab + 5/3 ne)]$, en donde an, ab y ne son minerales normativos (Fig.7). En este diagrama, al igual

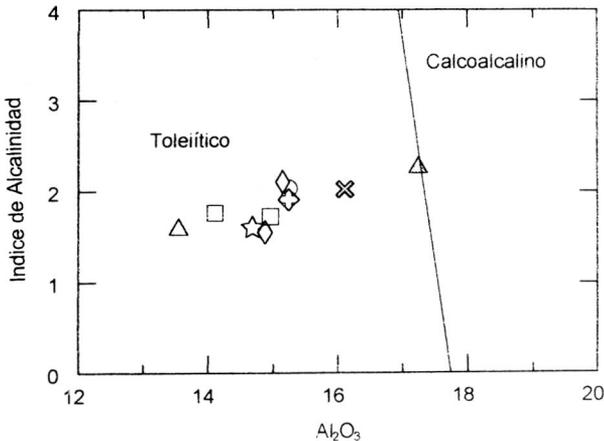


Fig. 5. Diagrama Índice de Alcalinidad vs. Al_2O_3 (MIDDLEMOST 1975). Comportamiento toleítico de las muestras. Símbolos como en Tabla 1.

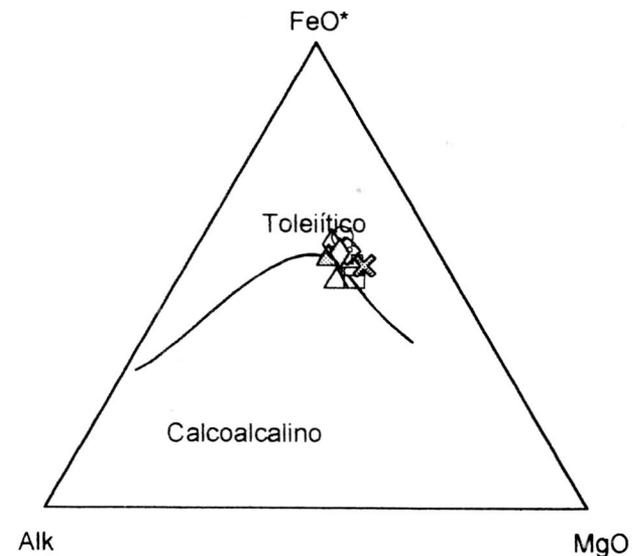


Fig. 6. Diagrama AFM (álcalis total -FeO* - MgO) (IRVING & BARRAGAR 1971). Símbolos como en Tabla 1.

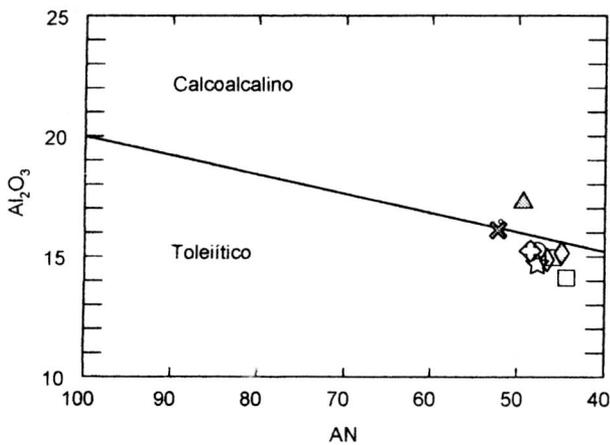


Fig. 7. Diagrama Al₂O₃ vs. Plagioclasa normativa AN (IRVING & BARRAGAR 1971). En general el comportamiento es toleítico. Símbolos como en Tabla 1.

que en el anterior las muestras caen en el campo de las toleitas, cerca al límite y la muestra MV4 está totalmente en el campo de la serie calcoalcálica.

Teniendo en cuenta las anteriores observaciones se puede concluir que las rocas analizadas pertenecen a la serie subalcalina con tendencia sódica debido a la baja concentración en K y muestran carácter toleítico, lo cual se evidencia en su contenido de Al₂O₃, TiO₂, P₂O₅ y Zr corroborándose además, con los diagramas presentados que confirman dicho carácter.

Clasificación geoquímica

La clasificación geoquímica de las muestras analizadas se llevó a cabo con base en diferentes diagramas con el fin de verificar su tendencia.

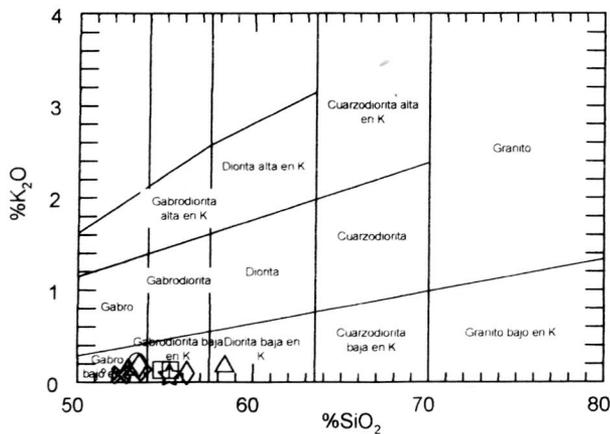


Fig. 8. Diagrama K₂O vs. SiO₂ (PECCERILLO & TAYLOR 1976). Símbolos como en Tabla 1.

En el diagrama K₂O vs. SiO₂ (PECCERILLO & TAYLOR 1976), se observa que varían entre gabro y diorita con muy bajo contenido de K₂O sugiriendo que son bastante primitivas y que han sufrido muy poca contaminación cortical (Fig. 8). Para corroborar la anterior clasificación, se utilizó el diagrama Na₂O + K₂O (álcalis total) vs. SiO₂ de Cox *et al.* (1979) y el método TAS de LE BAS *et al.* (1986) (Figs. 9 y 10). Al comparar estos dos diagramas se puede observar que no existen diferencias sustanciales entre ellos, y por lo tanto las muestras pertenecen a la serie toleítica pobre en potasio (PECCERILLO & TAYLOR 1976) y se clasifican como gabros y dioritas.

Además de las anteriores clasificaciones, se utilizó la de IRVINE & BARRAGAR (1971), que involucra los valores normativos de índice de color CI y la composición de la plagioclasa normativa AN (Fig.11). En este diagrama se

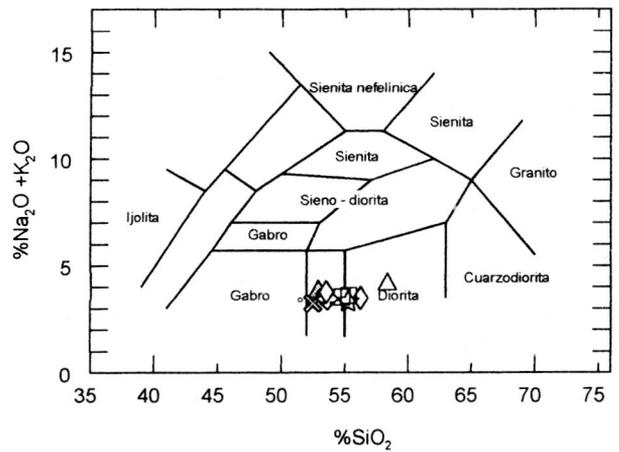


Fig. 9. Diagrama Álcalis total vs. SiO₂, método TAS (Cox *et al.* 1979). Símbolos como en Tabla 1.

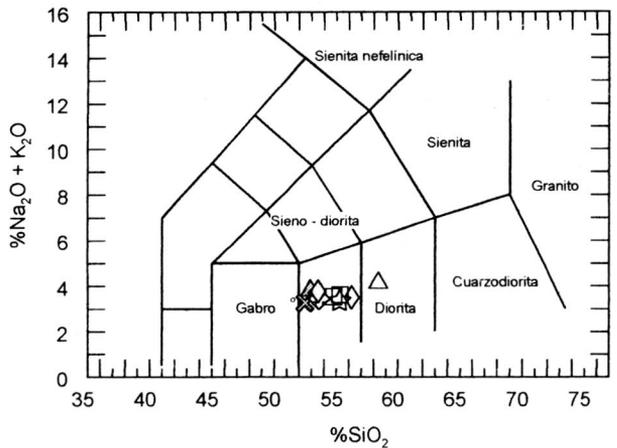


Fig. 10. Diagrama Álcalis total vs. SiO₂, método TAS (LE BAS *et al.* 1986). Símbolos como en Tabla 1.

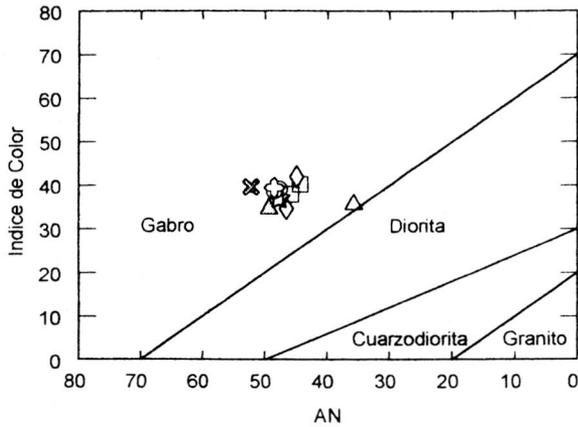


Fig. 11. Diagrama Índice de Color vs. Plagioclasa normativa AN (IRVINE & BARRAGAR 1971). Las rocas son predominantemente gabros. Símbolos como en Tabla 1.

puede observar que todas las rocas estudiadas son clasificadas como gabros.

Gracias a los resultados obtenidos por medio de los diagramas anteriores se puede concluir que las rocas intrusivas básicas de la región de Cáceres y Puerto Romero se clasifican geoquímicamente como gabros, gabrodioritas y dioritas (PECCERILLO & TAYLOR 1976; LE BAS *et al.* 1986; COX *et al.* 1979); y únicamente como gabros según IRVINE & BARRAGAR (1971).

PETROGÉNESIS

Para hacer el estudio petrogenético de las muestras, se tomaron los valores obtenidos en los análisis geoquímicos para aplicarlos en diagramas de discriminación geotectónica, con el fin de obtener y explicar el modelo de ambiente geotectónico particular para las rocas básicas de la región de Cáceres y Puerto Romero, con la ayuda de las concentraciones de los elementos.

Diagramas de Discriminación Geotectónica

En este trabajo se utilizaron los diagramas de discriminación de diferentes autores, tales como PEARCE *et al.* (1975 y 1977) y PEARCE & CANN (1973). El método desarrollado por PEARCE *et al.* (1975), en el que sugiriendo una distribución bimodal de K_2O , podrían separar en un dominio distensivo ambientes intraplaca oceánicos y continentales, con la ayuda de un diagrama ternario que involucra TiO_2 , K_2O y P_2O_5 (Fig.12), óxidos estos que se encuentran en el rango de los porcentajes, involucrando así un menor error analítico. Para las muestras analizadas en este trabajo se obtuvo que todas ellas caen en el campo del ambiente intraplacas oceánico.

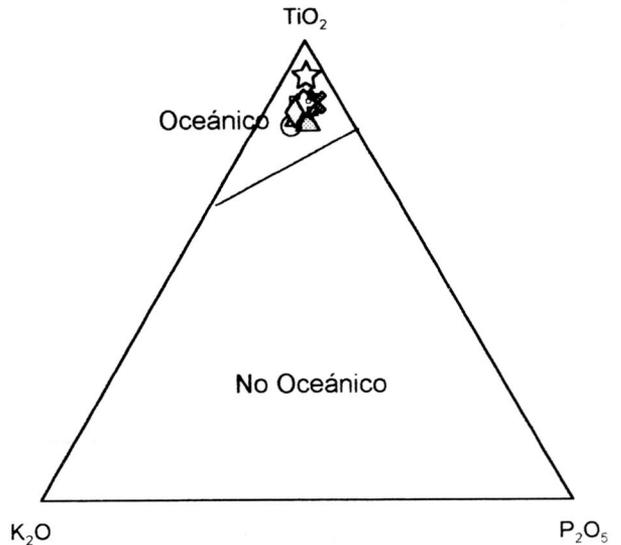


Fig. 12. Diagrama $K_2O - TiO_2 - P_2O_5$ (PEARCE *et al.* 1975). Símbolos como en Tabla 1.

En el diagrama desarrollado por PEARCE *et al.* (1977), se tomaron los elementos mayores Mg, Fe y Al y fueron ordenados en un diagrama ternario $MgO - FeO_{total} - Al_2O_3$, para distinguir cinco ambientes geotectónicos diferentes: dorsales y piso oceánico, islas oceánicas, orogénico (arcos de islas y zonas de subducción), continental y centros de islas de expansión. Se observa que en general las muestras analizadas fueron generadas en un ambiente intraplacas continental (Fig. 13).

PEARCE & CANN (1973), analizaron cerca de 200 muestras de rocas basálticas de diferentes ambientes geotectónicos y encontraron que es imposible distinguir

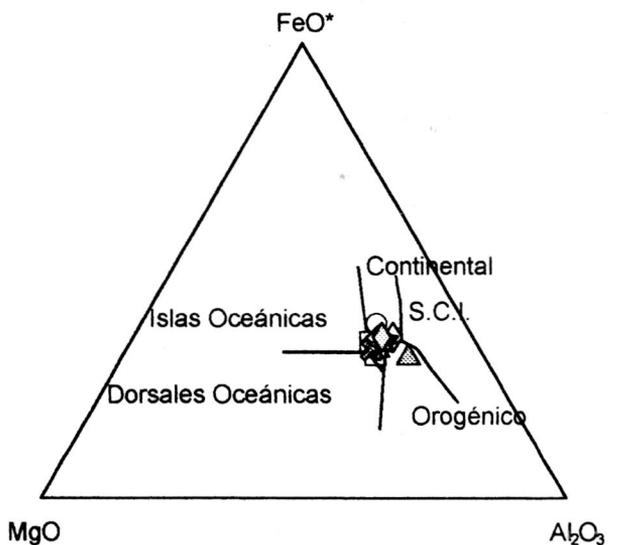


Fig. 13. Diagrama $MgO - FeO^* - Al_2O_3$ (PEARCE *et al.* 1977). Símbolos como en Tabla 1.

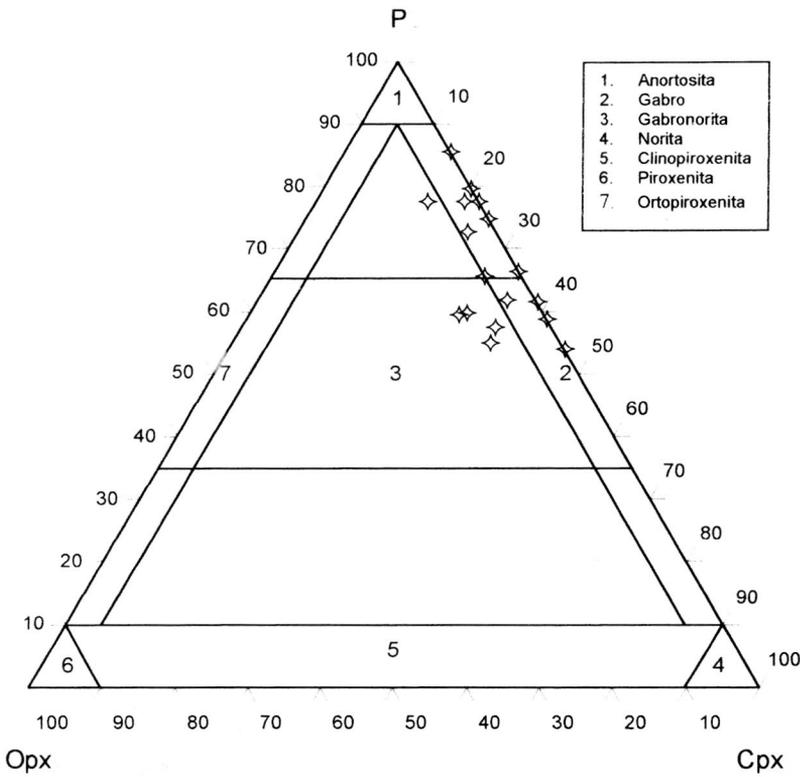


Fig. 14. Clasificación petrográfica de acuerdo a STRECKEISEN (1976)

químicamente entre ambientes intraplaca oceánico y continental, con base en los datos que presentan en dicho análisis. Por ello, estos ambientes son tratados como un solo grupo denominado intraplacas.

Teniendo en cuenta la anterior afirmación así como los resultados de las Figs. 12 y 13, en las cuales los datos caen en ambientes intraplacas oceánico y continental respectivamente, se puede concluir que las rocas de la región de Cáceres y Puerto Romero no se pueden diferenciar químicamente entre ambientes continental u oceánico, pero indiscutiblemente representan un dominio distensivo de ambiente geotectónico intraplacas.

Con base en la distribución geográfica y la posición estratigráfica de los cuerpos, además de la información que se encuentra en la literatura existente (FABRE & DELALOYE 1983; FABRE 1983a y 1983b; HEBARD 1985; UJUETA 1991; MARQUÍNEZ & MORENO 1993; MO-

RENO & CONCHA 1993; LONDOÑO & MENDOZA 1994), se puede afirmar que la generación de los cuerpos intrusivos básicos se debió a la formación de un rift intracontinental a cuyo surgimiento habitualmente le antecede la formación de un pandeo suave que se empieza a llenar de sedimentos. Posteriormente se originó el rift propiamente dicho o graben, en el que sucedió un hundimiento simultáneo a la elevación de los brazos del rift y estuvo acompañado de la acumulación de sedimentos de origen marino. De este modo, la corteza continental se adelgazó produciendo fallas muy profundas, a lo largo de las cuales se inició el ascenso del magma hacia la superficie en las partes más subsidentes de la cuenca, debido a la posición elevada del límite astenósfera / litósfera, produciendo fusión parcial del manto.

El adelgazamiento de la litósfera tuvo que ser por lo menos, hasta la

mitad de su espesor original (125 Km) durante la fase de extensión; así mismo, la corteza original de un espesor de 30 km tuvo que ser adelgazada por lo menos hasta 15 Km. Esta situación puede explicar el origen de las intrusiones básicas según FABRE (1983a).

Según UJUETA (1991), a pesar de que los diques y silos de carácter intrusivo básico son cuerpos pequeños, constituyen evidencia de la existencia de masas intrusivas de mayor tamaño en profundidad. Las fallas de gran profundidad sirvieron aparentemente como conductos alimentadores para la generación de los cuerpos

PETROGRAFÍA

Junto con el trabajo de caracterización geoquímica y petrogénesis, se desarrolló paralelamente la observación y descripción petrográfica de las rocas intrusivas básicas de la región de Cáceres y Puerto Romero; y para tal fin, se analizaron 17 secciones delgadas. Por la composición mineralógica observada, estas rocas se clasifican como gabros y gabronoritas (Fig. 14).

A continuación se presenta un resumen de las características petrográficas generales de las rocas estudiadas, teniendo en cuenta que las variaciones composicionales no son muy marcadas.

Como minerales esenciales están presentes: Plagioclasa intermedia a cálcica (An 30 – 70) andesina – labradorita 40 – 64%; clinopiroxenos (augita – diópsido) 18 – 40%; ortopiroxenos (hiperstena) 0 – 10 % y cuarzo 3 - 14%, excepcionalmente. Como minerales accesorios se observan: Opacos (espinela – ilmenita) 4 – 25 % y biotita 1 – 3%. Los minerales secundarios son: cuarzo 3%; clorita 1 – 15%; clorita y serpentina 6 – 18%; opacos (por segregación) y calcita (de introducción).

Plagioclasa

La composición de la plagioclasa es intermedia a cálcica (andesina – labradorita). Los cristales de plagioclasa se presentan en hábito tabular con formas euhedrales a subhedrales. Generalmente presentan maclas de Albita y Carlsbad o compuesta. La alteración de éstas no es muy frecuente; sin embargo, en algunas secciones se observa saurización. La plagioclasa es el mineral más abundante en estas rocas.

Piroxenos

En este grupo los más frecuentes son los clinopiroxenos. El clinopiroxeno más común es la augita seguido por el diópsido. Por otro lado, los ortopiroxenos están representados por hiperstena, que además no se presenta en todas las muestras analizadas. Los cristales de piroxeno se encuentran asociados a las texturas ofíticas y subofíticas, con formas subhedrales a anhedrales y en algunos casos se encuentran maclados. Este grupo se presenta generalmente alterado a clorita o serpentina y al parecer por su alta concentración de hierro producen segregación de óxidos de Fe, quedando plasmados como opacos.

Opacos

Los opacos están representados por minerales del grupo de la espinela (magnetita y cromita) e ilmenita. Las espinelas se caracterizan por presentarse en cristales triangulares e isométricos; y la ilmenita se encuentra en formas aciculares, generalmente como inclusión en los piroxenos. Los opacos se observan en formas euhedrales a subhedrales. Es común encontrar texturas simplectíticas que obedecen al intercrecimiento de opacos y piroxenos. Además de estos, existen también opacos que aparecen como manchas (anhedrales) correspondientes a los ya mencionados óxidos de hierro que están íntimamente ligados con la descomposición de los piroxenos. Ocasionalmente se encuentran en textura intersticial. En los resultados obtenidos en el cálculo de la norma CIPW, se observa que como minerales normativos opacos aparecen magnetita e ilmenita, por lo que teóricamente ambos deberían estar presentes en la composición mineralógica de las rocas analizadas.

Biotita

La biotita en los cuerpos básicos analizados es muy poco frecuente. Se presenta como pequeños fragmentos de mineral con forma subhedral a anhedral, de color café claro a oscuro, asociada a los opacos y a los piroxenos.

Cuarzo

El cuarzo esencial se presenta en cristales subhedrales principalmente, y es abundante en aquellas capas en donde el tamaño de los cristales es menor. El cuarzo secundario se presenta en texturas simplectíticas y micrográficas, generalmente en cristales con hábito vermicular subhedrales a anhedrales. Las texturas relacionadas con el cuarzo se discutirán más adelante.

Productos de alteración

En estas rocas los minerales que han sufrido mayor alteración son los piroxenos, los cuales se encuentran reemplazados por clorita y serpentina por alteración hidrotermal. Así mismo, las plagioclasas, en menor grado, se encuentran saurizadas como consecuencia del mismo proceso. La calcita que se observa en algunas muestras es resultado de fenómenos posteriores que la introdujeron en la roca en forma de venillas.

ANÁLISIS TEXTURAL

Las rocas analizadas presentan macroscópicamente colores verde y gris claro a oscuro. Su textura es fanerítica holocristalina con tamaño de grano fino a grueso. Microscópicamente, en general presentan texturas ofíticas a subofíticas y en algunos casos intersertal o granular. Localmente presentan texturas simplectíticas, esqueléticas e intersticiales en opacos; y simplectíticas y micrográficas relacionadas con las plagioclasas.

Pseudoestratificación

El tamaño de los cristales varía dependiendo de la composición relativa de las diferentes capas que producen el efecto de “pseudoestratificación”. Actualmente se sabe que la mayoría de las plagioclasas que se encuentran en las intrusiones, y que presentan “pseudoestratificación”, de hecho, debieron haber flotado en su líquido magmático parental. La influencia de la gravedad en la acomodación de cristales es evidente, pero se requiere un proceso adicional para explicar la formación de unidades cíclicas dentro de las mismas capas; este proceso incluye la influencia de celdas de convección en la cámara magmática y la intrusión intermitente de nuevo magma hacia esta (WYLLIE 1967).

En general el tamaño de los cristales en las muestras analizadas es fino en las capas que contienen mayor cantidad de cuarzo, y fino a medio en aquellas en que plagioclasa y piroxenos son más abundantes. Igualmente, el tamaño de grano decrece hacia los límites de los cuerpos con la roca encajante, debido a que el enfriamiento en estas zonas es más rápido que hacia el centro. Una cantidad de magma introducido en una cámara es objeto de

TABLA 3
Fósiles determinados para la datación relativa de los cuerpos intrusivos básicos

TIPO DE FÓSIL	DATACIÓN
Oxytropidoceras (Venezoliceras) aff. Robustum	Albiano superior o tardío
Oxytropidoceras (Venezoliceras) aff. Multicostatum	Albiano superior o tardío
Douvilleiceras sp.	Albiano
Inoceramus sp.	Albiano

La Fiebre, La Culebra superior, La Esperanza y Las Palomas superior; y posterior al Turoniano para los cuerpos de La Culebra inferior y Las Palomas inferior.

En el Centre de Recherches Pétrographiques et Géochimiques Spectrochimie, CNRS en Francia, se llevó a cabo una datación radiométrica por el método $^{40}\text{K}/^{40}\text{Ar}$ en roca total de la muestra LEG - 8. Los resultados dan una edad de $65,56 \text{ Ma} \pm 1,26 \text{ Ma}$, ubicando la muestra en el Paleoceno inferior o temprano lo cual no es concordante con las observaciones de campo.

Es notable entonces, que existen dificultades con la datación $^{40}\text{K}/^{40}\text{Ar}$ en estos cuerpos por ser muy pobres en K, lo que incide en que la relación ^{40}Ar radiogénico/ ^{40}Ar total sea muy baja, introduciendo errores en las mediciones. A esto se suma que la determinación haya sido hecha sobre roca total, ya que involucra todos los minerales presentes, aun los secundarios. Por lo tanto, la edad asumida en este trabajo para los intrusivos, se basa en la datación paleontológica realizada con base en macrofósiles.

CONCLUSIONES

- Las rocas analizadas de la región de Cáceres y Puerto Romero son de composición básica con una concentración entre 50 y 57% de SiO_2 . Estas rocas pertenecen a la serie subcalcina con tendencia sódica debido a la baja concentración en K. En adición, presentan un carácter toleítico, lo cual se evidencia en su contenido de Al_2O_3 , TiO_2 , P_2O_5 y Zr corroborándose además, con los diagramas de Índice de alcalinidad A. I. vs. $\% \text{Al}_2\text{O}_3$ (MIDDLEMOST 1975); AFM y $\% \text{Al}_2\text{O}_3$ vs. Plagioclasa normativa AN (IRVINE & BARRAGAR 1971) que confirman dicho carácter.
- Las rocas intrusivas básicas de la región de Cáceres y Puerto Romero se clasifican geoquímicamente como gabros, gabrodioritas y dioritas, según PECCERILLO & TAYLOR (1976); LEBAS *et al.* (1986) y COX *et al.* (1979); y únicamente como gabros según IRVINE & BARRAGAR (1971). Por la composición mineralógica observada estas rocas se clasifican como gabros y gabronoritas según STRECKEISEN (1976).
- Las rocas de la región de Cáceres y Puerto Romero representan un dominio distensivo de ambiente geotectónico intraplacas, confirmado por los diagramas $\text{K}_2\text{O} - \text{TiO}_2 - \text{P}_2\text{O}_5$ (PEARCE *et al.* 1975) y $\text{MgO} - \text{FeO}_{\text{total}} - \text{Al}_2\text{O}_3$ (PEARCE *et al.* 1977).
- La generación de los cuerpos intrusivos básicos se debió a la formación de un rift intracontinental en el periodo Berriasiano - Cenomaniano. La corteza continental se adelgazó considerablemente, produciendo fallas muy profundas a lo largo de las cuales se inició el ascenso del magma hacia la superficie en las partes más subsidentes de la cuenca, debido a la posición elevada del límite astenósfera / litosfera, produciendo fusión parcial del manto.
- Las rocas analizadas presentan macroscópicamente colores verde y gris claro a oscuro. Su textura es fanerítica holocristalina con tamaño de grano fino a grueso. Además, presentan pseudoestratificación, lo cual se debe a la variación en la proporción relativa de los minerales constituyentes. Microscópicamente, en general presentan textura ofítica a subofítica y granular; y localmente simplectítica, esquelética e intersticiales en opacos; y simplectíticas y micrográficas relacionadas con cuarzo y plagioclasa.
- En general, la composición mineralógica para estas rocas es: 1) minerales esenciales: plagioclasa intermedia a cálcica (An 30 – 70) andesina – labradorita 40 – 64%, clinopiroxenos (augita – diópsido) 18 – 40%, ortopiroxenos (hiperstena) 0 – 10 % y cuarzo 3 - 14%, excepcionalmente; 2) minerales accesorios: opacos (espinela – ilmenita) 4 – 25 % y biotita 1 – 3%; y 3) minerales secundarios: cuarzo 3%, clorita 1 – 15%, serpentina 6 – 18%, opacos (por segregación) y calcita (de introducción).
- Los cuerpos ígneos básicos intruyen sedimentitas del sistema Cretáceo de las formaciones La Paja y Simití y nunca se encuentran intruyendo rocas del Terciario.
- La datación paleontológica hace pensar que las intrusiones básicas son posteriores al Albiano superior, pero no más jóvenes que el Cenomaniano por el hecho de que estratigráficamente se encuentran solamente hasta la Formación Simití.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a la División de Investigaciones de la Universidad Nacional de Colombia, Sede Santafé de Bogotá, por la financiación de este proyecto y al Químico Carlos Julio Cedeño, del INGEOMINAS por su colaboración.

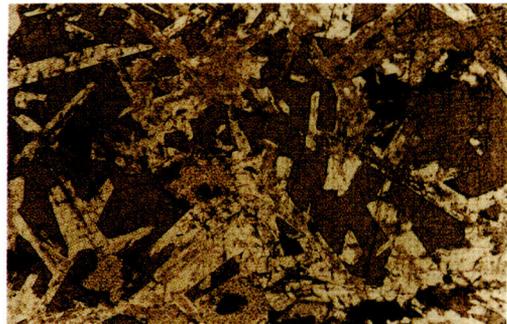
REFERENCIAS

- COX, K. G.; BELL, J. D. & PANKHURST, R. J. (1979): The interpretation of igneous rocks.- Allen and Unwin. 450 p. London.
- FABRE, A. (1983a): La subsidencia de la Cuenca del Cocuy (Cordillera Oriental de Colombia) durante el Cretáceo y el 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 el Terciario. 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.
- GANSSEER, A. (1956): Ein Beitrag zur Geologie und Petrographie der Sierra Nevada de Santa Marta (Kolumbien, Sudamerika).- *Min. Petr. Mitt*, v. 32, n. 2, p. 209 – 279.
- _____ (1963): Quartzkristalle aus den kolumbianischen Anden (Sudamerika).- *Schweiz. Miner. Petro. Mitt*, v. 43, p. 91 – 103.
- HEBRARD, F. (1985): Les foot-hills de la Cordillère Orientale de Colombie entre les rios Casanare et Cusiana. Evolution géodynamique depuis l'Eo Crétacé.- *Diplôme de Docteur de 3ème cycle du L'Université Piere et Marie Curie*. Paris.
- HIBBARD, M. G. (1995): *Petrography to petrogenesis*.- Prentice Hall. 587 p. New Jersey.
- IRVINE, T. N. & BARRAGAR, W. R. A. (1971): A guide to the chemical classification of the common volcanic rocks.- *Canadian Journal of Earth Sciences*, n. 8, p. 523 – 548.
- LE BAS, M. J.; LE MAITRE, R. W.; STRECKEISEN, A. & ZANETTIN, B. (1986): A chemical classification of volcanic rocks based on total alkali silica diagram.- *Journal of Petrology*, v. 27, part 3, p. 745 – 750.
- LONDOÑO, J. & MENDOZA, R. (1994): Evaluación geológica de un área en los alrededores del municipio de Puerto Romero (Boyacá).- (Trabajo de grado) Universidad Nacional de Colombia, Departamento de Geociencias, Bogotá.
- MARQUINEZ, G. & MORENO, L. (1993): Cartografía geológica y análisis petrográfico de las rocas ígneas básicas aflorantes en el extremo sur-este de la plancha 169 Puerto Boyacá (Departamentos de Cundinamarca y Boyacá) (Trabajo de grado) Universidad Nacional de Colombia, Departamento de Geociencias, Bogotá.
- MIDDLEMOST, E. A. K. (1975): The basalt clan.- *Earth Sciences Review* vol. 11, n. 4, p. 337 – 364. Amsterdam.
- MORENO, J. M. & CONCHA A. E. (1993): Nuevas manifestaciones ígneas básicas en el flanco occidental de la Cordillera Oriental, Colombia.- *Geología Colombiana*, n. 18, p. 143 – 150, Bogotá.
- OLSSON, A. (1956): Colombia.- En: *Handbook of South America Geology*. Geological Society of America *Memories*, v. 65, p. 297 – 315.
- PAVLOV, N. V. & KARSKIY, B. E. (1949): On the myrmekites in certain basic rocks.- *Izvest. AN SSSR ser. geol.* n. 5, p. 128 – 133.
- PEARCE, J. A. & CANN, J. R. (1973): Tectonic setting of basic volcanic rocks determined using trace element analyses.- *Earth and Planetary Science Letters*, n. 19, p. 290 – 300.
- PEARCE, T. H., GORMAN, P. E. & BIRKETT, T.C. (1975): The $TiO_2 - K_2O - P_2O_5$ diagram: a method of discriminating between oceanic and non oceanic basalts.- *Earth and Planetary Science Letters*, n. 24, p. 419 – 426.
- _____ (1977): The relationship between major element chemistry and tectonic environment of basic and intermediate volcanic rocks.- *Earth and Planetary Science Letters*, n. 36, p. 121 – 132.
- PECCERILLO, A. & TAYLOR, S. R. (1976): Geochemistry of Eocene calcalkaline volcanic rocks from the Kastamonu area, northern Turkey.- *Contributions to Mineralogy and Petrology* n. 58, p. 63 – 81.
- PHILPOTTS, A. R. (1989): *Petrography of igneous and metamorphic rocks*. Prentice Hall Inc., 178 p. New Jersey.
- PRATT, S. (1961): The Muzo emerald mine.- En: *Geological field trips Colombia, 1959 – 1978*, Colombian Society of Petroleum Geologists and Geophysicists, p. 33 – 63.
- RODRIGUEZ, E. & ULLOA, C. (1994): *Geología de la Plancha 169 – Puerto Boyacá*. Escala 1:100.000.- *Memoria resumida*, INGEOMINAS, 31 p. Bogotá.
- SHUL'DINER, V. I. (1972): The problem of myrmekites.- *International Geology Review*, v. 14, n. 4, p. 354 – 358.
- UJUETA, G. (1991): Tectónica y actividad ígnea en la Cordillera Oriental de Colombia (Sector Girardot – Cúcuta).- *Simposio sobre magmatismo andino y su marco tectónico*, Manizales. T. I. :151 – 192.
- VASQUEZ, 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.
- WAGER, L. R. & BROWN, G. M. (1967): *Layered Igneous Rocks*.- Oliver & Boyd, Edinburgh.
- WILLIAMS, H., TURNER, F. J. & GILBERT, C. M. (1968): *Petrografía - Introducción al estudio de las rocas en secciones delgadas*.- Editorial Continental, 430 p., México.
- WYLLIE, P. (1967): *Ultramafic and related rocks*.- Chapter 2:

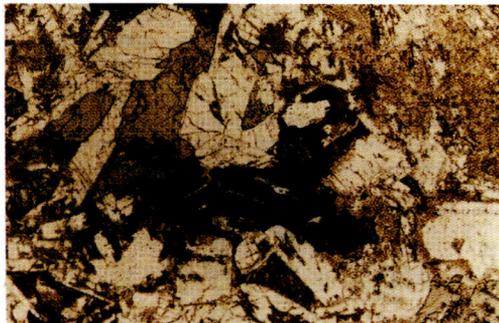
LAMINA I



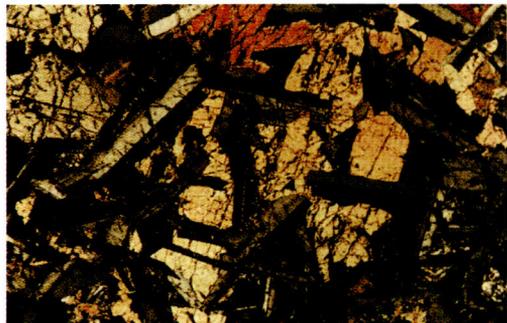
A 0.5 mm



B 0.5 mm



C 0.5 mm



D 0.5 mm



E 0.5 mm



F 0.5 mm

LAMINA 1

A.- Textura óptica muy clara entre clinopiroxenos (cpx) y plagioclasas (p). Se observa alteración de estas últimas (saussuritización). Escala = 0.5 mm.

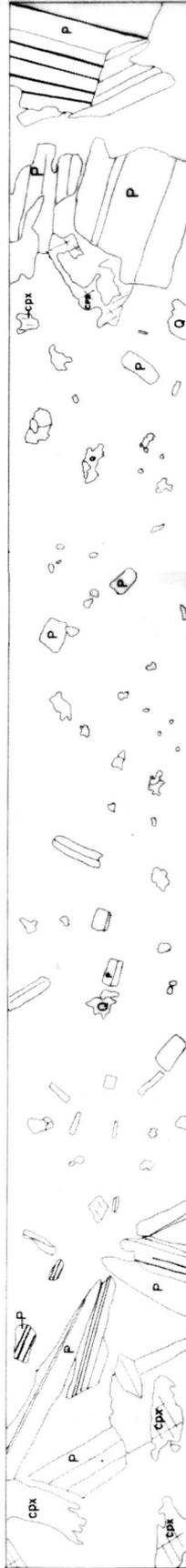
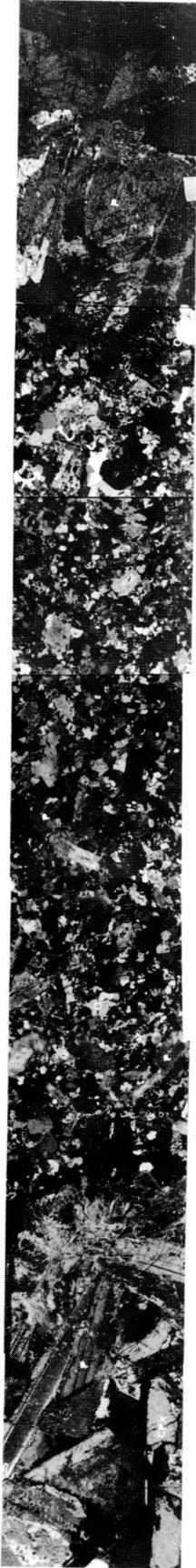
B.- Microfotografía anterior con nicoles paralelos. Escala = 0.5 mm.

C.- Textura simplectítica en minerales opacos. N II. Escala = 0.5 mm.

D.- Textura óptica característica de las rocas básicas de la región de Cáceres y Puerto Romero. N x. Escala = 0.5 mm.

E.- Textura simplectítica (s). Intercrecimiento de cuarzo y plagioclase. N x. Escala = 0.5 mm.

F.- Detalle de la microfotografía anterior E, con nicoles cruzados. Escala = 0.5 mm.



LAMINA II

A.- Mosaico microfotográfico en donde se observa la variación del tamaño de los cristales y por consiguiente la «pseudoestratificación». N x. Escala = 0.5 mm. Cpx = Clinopiroxeno. P = Plagioclasa. C = Cuarzo.

B.- Esquema en donde se muestra la disposición de los cristales y la variación de su tamaño en la foto anterior.