

PETROGRÁFIA, GEOQUÍMICA Y EDAD DE LA GRANODIORITA DE FARALLONES Y LAS ROCAS VOLCÁNICAS ASOCIADAS.

Gilberto Zapata García¹; Gabriel Rodríguez García¹

RESUMEN

La Granodiorita de Farallones se localiza en el flanco occidental de la Cordillera Occidental de Colombia, está conformada por tonalitas, granodioritas, cuarzdioritas, monzodioritas, cuarzomonzodioritas, dioritas, gabros y cuarzomonzonitas. El contenido de sílice en las rocas varía entre 67,76 y 52,07%, el cuerpo no es homogéneo y se encuentran rocas alcalinas en el sur del cuerpo y subalcalinas en el sector norte del plutón, son rocas ricas en K₂O que van desde series calcoalcalinas de medio K hasta la serie shoshonítica, metaluminosas, pero en los bordes del cuerpo son peraluminosas por la contaminación de sedimentos.

La Granodiorita de Farallones corresponde a magmas medianamente evolucionados con empobrecimiento de tierras raras pesadas con respecto a las livianas, que corresponde a un plutón formado en un ambiente de arco. La edad de la Granodiorita de Farallones en hornblenda por método K/Ar de 11± 2 Ma (Calle *et al.*, 1980a) y dos en Arboleda *et al.* (2009) por el método Ar/Ar de 11.9 y 9.8± 0.2, corresponden al Mioceno Tardío. Esta unidad intruye las Areniscas, limolitas y lodolitas de Urrao, y a su vez son intruidas por las Brecha diatrémica de Farallones.

Palabras clave: Granodiorita de Farallones, Cordillera Occidental, Brecha diatrémica de Farallones

PETROGRAPHY, GEOCHEMISTRY AND AGE OF THE FARALLONES GRANODIORITE AND ASSOCIATED VOLCANIC ROCKS

ABSTRACT

The Farallones Granodiorite is located on the western flank of the Cordillera Occidental of Colombia, is formed by tonalite, granodiorite, quartz diorite, monzodiorite, quartz monzodiorite, diorite, gabbro and quartz monzonite. The content of silica in the rocks varies between 67.76 and 52.07%, the body is not homogeneous and there are alkaline rocks in the southern part of the body and subalkalines in the northern sector of the pluton. There are rich rocks K₂O ranging from medium K to shoshonitic series, they are metaluminous but near the edges of the pluton they are peraluminous due to contamination by sediments.

The Farallones Granodiorite correspond to midly evolved magmas with impoverishment of HREE8 respect to LREE, that correspond to a pluton formed in an arc environment. The age of the Farallones Granodiorite in hornblende for the method K/Ar 11± 2 Ma (Calle *et al.*, 1980a) and two in Arboleda *et al.* (2009) by the method Ar/Ar 11.9 and 9.8± 0.2, which correspond to the Late Miocene. This geological unit intrudes the Sandstones, siltstones and mudstones of Penderisco, and in turn, it is intruded by the diatremic breccias of Farallones.

Keywords: Farallones Granodiorite, Cordillera Occidental of Colombia, Farallones diatremic breccia

¹ Servicio Geológico Colombiano GTR Medellín, Calle 75 N° 79A-51, Medellín, teléfono 2644949 ext 8119, 8107 e-mail: gzapata@sgc.gov.co, grodriguez@sgc.gov.co.

INTRODUCCIÓN

La Granodiorita de Farallones se ubica en el grupo de plutones con dirección norte-sur que intruyen el borde occidental del Complejo Cañasgordas entre los municipios de Pueblo Rico (Risaralda) y Frontino (Rodríguez y Zapata, 2012). Inicialmente Calle y Salinas (1986) le asignaron el nombre de Batolito de Farallones, posteriormente González y Londoño (2002) lo describen como Monzodiorita de Farallones, en este trabajo se le asigna el nombre de Granodiorita de Farallones que está acorde con la litología predominante. Es un cuerpo de forma alargada e irregular que aflora al Oeste de la población de Farallones (Municipio de Ciudad Bolívar, Antioquia) en el eje de la Cordillera Occidental y tiene un área aproximada de 670 km². Intrusiva en las rocas plutónicas aflora una chimenea de brecha diatrémica.

En este artículo se presenta nueva información petrográfica, geoquímica y geocronológica y se pretende aportar datos para la comprensión de la evolución geológica de la Cordillera Occidental colombiana.

MARCO GEOLÓGICO REGIONAL

La Granodiorita de Farallones se localiza en el sur del *Segmento Norte de la Cordillera Occidental* (Rodríguez y Zapata, 2012) en el eje de la Cordillera Occidental de Colombia, en el límite de los departamentos de Antioquia, Risaralda y Chocó; intruye las Arenitas, limolitas y lodolitas de Urao, con el desarrollo de aureola de contacto en facies piroxeno cornubianita hasta albíta-epidota cornubianita (González y Londoño, 2002), FIGURA 1.

La Granodiorita de Farallones hace parte de una serie de plutones dispuestos en dirección Norte – Sur de edad Mioceno medio-tardío que intruyen el Complejo Cañasgordas constituido por basamento basáltico oceánico de afinidad T-MORB y edad Cretácica Inferior – Jurásica Superior (Rodríguez y Arango, 2012) con una cubierta de sedimentitas del Cretácico Superior (Formación Penderisco), se presentan asociados a los Basaltos de El Botón (Arco de El Botón) de edad Mioceno Superior e intruyen el arco constituido por el Complejo Santa Cecilia – La Equis - Batolito de Mande (Arco de Chocó-Panamá) de edad Eoceno Inferior (Rodríguez y Zapata, 2012).

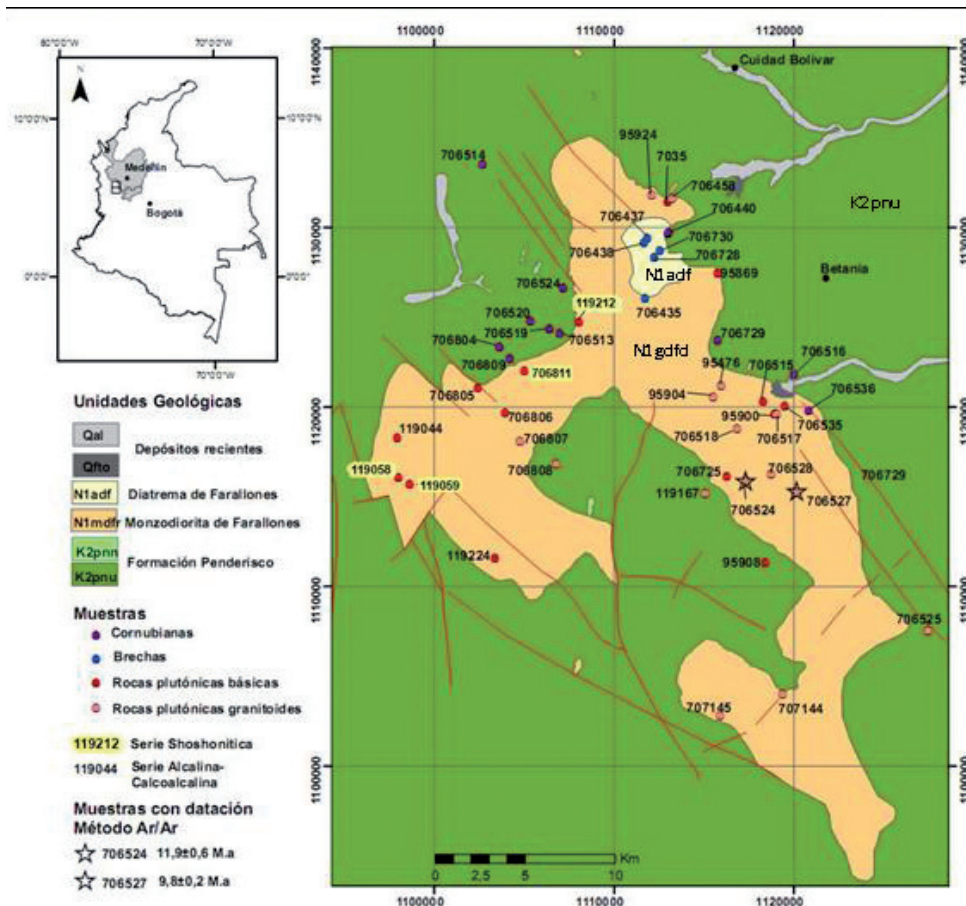


FIGURA 1. Mapa de localización de la Granodiorita de Farallones y distribución de muestras con sección delgada.

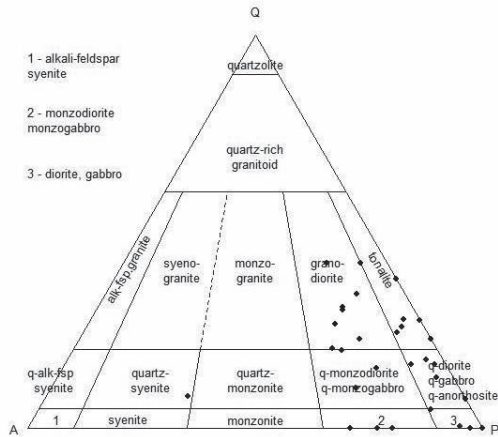
Petrografía de la Granodiorita de Farallones.

Macroscópicamente son rocas macizas de color blanco con moteado de negro, faneríticas de grano medio, con textura granular. Se analizaron y/o revisaron 30 secciones delgadas de la Granodiorita de Farallones (TABLA 1). Las rocas se encuentran distribuidas en todo el intrusivo y fueron colectadas en diferentes proyectos de cartografía adelantados por INGEOMINAS correspondientes a las planchas 165, 185, 186 (Calle *et al.*, 1980b; Calle y Salinas, 1986, Parra y Salazar, 1999) y del Contrato 392/2007 (Arboleda *et al.*, 2009).

Las rocas con sección delgada se clasificaron como granodioritas (8), tonalitas (7), cuarzdioritas-cuarzogabros (5), dioritas (3) y monzdioritas-monzogabros (3), subordinadas se presentan cuarzomonzdioritas (2), gabros (1) y cuarzosienita (1), (TABLA 1), lo que refleja que se trata de un cuerpo heterogéneo con diversas litologías: félsicas, intermedias, máficas. La totalidad de las muestras presentan texturas hipidiomórfica granular o inequigranular, y texturas particulares coronítica y mirmequítica. La clasificación petrográfica se hizo según Streckeisen (1976) y los datos se graficaron en el diagrama QAP - FIGURA 2.

TABLA 1. Composición modal de la Granodiorita de Farallones.

IGM	ESTE	NORTE	Qz	Pl	Fk	Ol	Cpx	Opx	Hbl	Bt	Cl	Op	Ap	Zr	Ef	Ep	Clasificación Petrográfica
7035	1112975	1131400	9	58	2,5		4		16	8	1	0,6	0,5			0,5	Cuarzdiorita
95869	1115757	1127453	11	49,2	4,8		2,4		12,1	21		TR	TR	TR			Cuarzdiorita
95908	1118400	1111300	4,1	49,5			3,5		19,1	23,8	X	Tr	Tr	Tr			Cuarzdiorita
95900	1118950	1119600	14	64,3	2,9				11,3	5,3	0,8	0,7	0,2	TR	0,2		Cuarzdiorita
706535	1119512	1120067	14	72,1	2,1				6,4	4,1	0,4	0,5	TR		Tr		Cuarzdiorita leucocrática
706515	1118304	1120308	8,7	50,7	19,1				13,9	4,4		3,1	0,1	Tr	Tr		Cuarzomonzdiorita
706725	1116248	1116121	14	57,4	13,9				9,7	4,8		0,5	TR		Tr		Cuarzomonzdiorita
119059	1098671	1115692	7,1	26,7	51,8		0,87		5,5	5,66		1,5	0,9	Tr	Tr		Cuarzosienita
119044	1097950	1118253		72,5	3,6	5,1	12			2,5	X	1,1	x	x	x		Diorita
119212	1108025	1124729		59,5			17,64			14,8	3,6	2,25	Tr			2,25	Diorita
119224	1103350	1111600	3,7	65,1	6,7		13			10,2	X	1,2	Tr		0,1	X	Diorita
95924	1112110	1131790	31	50,4	9,6				2,4	5,6		Tr	Tr	Tr	0,8		Granodiorita
706517	1119030	1119589	25	44,3	12,7				12	4,4		1,3	Tr	Tr	Tr		Granodiorita
706807	1104769	1118066	40	43,2	12,8				0,7	2,1		0,8	Tr	Tr			Granodiorita
706808	1106810	1116787	18	50	20				5	7,2		Tr	Tr	Tr			Granodiorita
706724	1117336	1115835	24,6	44,1	12,7				14,4	3,4		0,8	Tr	Tr	Tr		Granodiorita
706727	1120120	1115262	23,2	47,7	16,8				5,8	4,5		1,9	0,1	Tr	Tr		Granodiorita
95476	1115960	1121200	19	50,9	12,9				10,3	5,3	0,9	0,6	0,3	TR	0,2	TR	Granodiorita
95904	1115480	1120540	17	49,4	17,5				9,7	4,9	1,3	0,4	0,2	TR	0,1		Granodiorita
706805	1102436	1121068		60,6	1,7	1,9	23,6			12,8		TR	1,3				Leucogabro
706806	1103942	1119672	Tr	55,8	16,7		13,4	4,1	2,5	4,2		1,7	1,6		Tr		Monzdiorita
706811	1105002	1122015		60,5	14,9				14,9	9,7		TR	Tr		Tr		Monzdiorita
119058	1097974	1116035		56,6	23,1	4,4	10,56		TR	2,5	X	2,1	0,7	Tr	Tr		Monzogabro
119167	1115050	1115200	35	43,2	4,9		Tr		18,1	6,8	1,4	0,5	Tr	Tr	Tr	0,3	Tonalita
706458	1113200	1131575	29,1	47,7					12,9	10,3		Tr	Tr	Tr	Tr		Tonalita
706518	1116802	1118757	21	60,4	6,2				4,9	6,5		0,9	0,1	Tr	Tr		Tonalita
706528	1118741	1116223	20,7	59,8	5,2				7,2	4,8	0,6	2	0,3		Tr		Tonalita
707144	1119354	1103968	20	52,7	3,6				19,5	3,9		0,8	TR				Tonalita
707145	1115893	1102759	21	51,1	2,6				19,3	6,2		0,3	TR				Tonalita
706525	1127420	1107530	11,3	67,1						20		2	TR				Tonalita



En general las rocas de la Granodiorita de Farallones están constituidas por cuarzo, plagioclasa, feldespato alcalino de tipo ortosa, el cual puede o no estar presente dependiendo del tipo litológico y como minerales caracterizantes se presenta hornblenda, biotita, clinopiroxeno que ocurre en gabros, dioritas y monzodioritas - monzogabros y ocasionalmente algunas rocas presentan olivino (muestras 119044, 119058, 706805) y ortopiroxeno (muestra 706806). Como minerales accesorios se pueden presentar opacos, apatito, esfena y circón, y como xenocristales granate en la muestra 706525 (FIGURAS 3 y 4).

FIGURA 2. Diagrama QAP, Composición modal de la Granodiorita de Farallones, Streckeisen (1976).

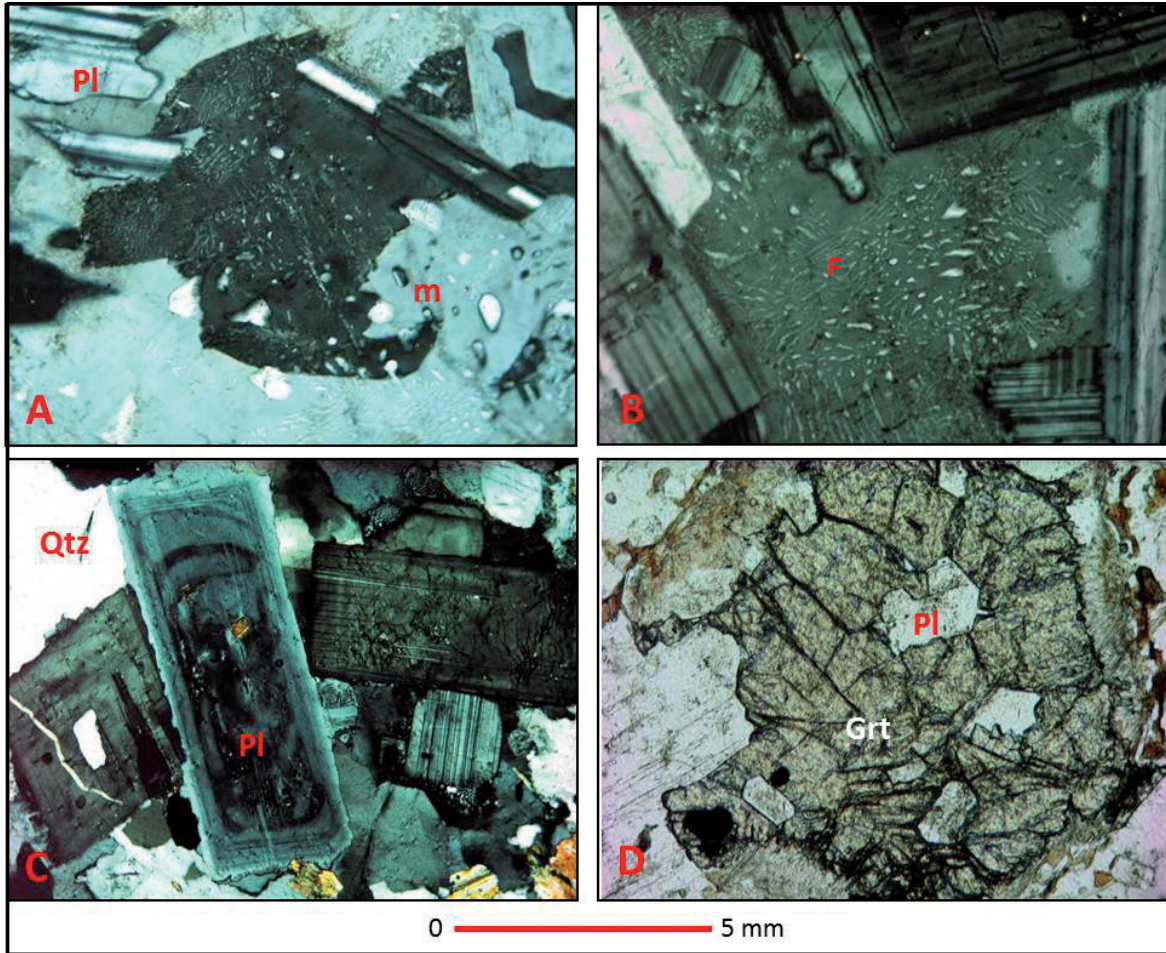


FIGURA 3. A) y B) Muestra 119058 10x- Textura mirmequítica (m) en rocas ricas en feldespato alcalino (F). C) Muestra 706806 cristales euhedrales de plagioclasa (PI) con zonación oscilatoria. D) Muestra 706525 10x- Xenocristal de granate (Grt) con inclusiones de plagioclasa (PI).

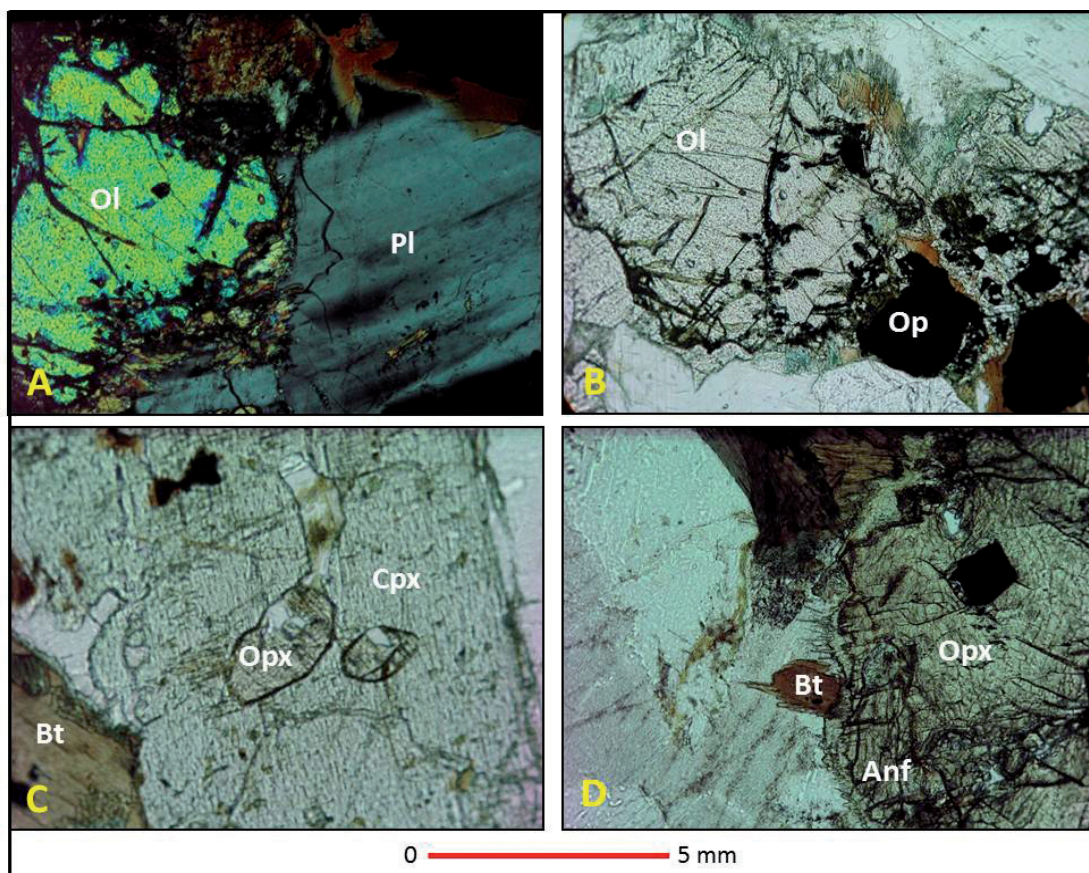


FIGURA 4. A) y B) Muestra 119058 10x cristales de olivino con fractura concoidea y acumulación de magnetita a lo largo de las fracturas, con corona de clinopiroxeno (Cpx) alterado a anfíbol urálfítico. C) y D) Muestra 706806 10x, cristales de ortopiroxeno (Opx) incluidos en clinopiroxeno (augita) (Cpx).

La plagioclasa es de composición oligoclasa – andesina; en las rocas gabroicas es labradorita. Se presenta como cristales euhedrales a subhedrales de hábito tabular, incoloros con diminutas inclusiones de opaco, biotita y apatito, es corriente que presenten extinción zonada oscilatoria con bordes más sódicos que el núcleo. Los cristales están maclados según albíta, albíta-Carlsbad y periclina, con relieve mayor al del bálsamo y tamaño máximo 2,4 mm, en algunas rocas se presentan alterados parcialmente a sericita y saussurita.

La ortosa se encuentra como cristales anhedrales con bordes irregulares, pueden tener desmezclas perfiticas en filoncillos irregulares y desarrollo de mirmequitas en bordes de reacción con plagioclasa, presenta microgotas de cuarzo (FIGURA 3), se observan inclusiones de opacos, apatito, hornblenda y biotita, en algunas rocas está levemente alterada a minerales de arcilla.

El cuarzo es incoloro, en cristales anhedrales, inequigranulares, intersticiales entre los feldespatos, generalmente limpio, con inclusiones de polvo formando

caminillos, con extinción normal a ondulatoria, color de birrefringencia gris a blanco del primer orden y tamaño menor a 0,2 mm.

La biotita se presenta en laminas subhedrales a anhedrales de color pardo, puede aparecer en los bordes de hornblenda y de opacos, con clivaje en una dirección, pleocroísmo X= pardo amarillento, Y= Z= pardo oscuro a pardo rojizo. Contiene inclusiones poiquilíticas de plagioclasa y piroxeno, micro inclusiones de circón con halo pleocroico, cloritización incipiente a lo largo de los planos de clivaje y bordes de los cristales con segregación de magnetita y esfena residual.

La hornblenda se encuentra como cristales anhedrales a subhedrales de color verde, con pleocroísmo X= amarillo pálido, Y= verde y Z= verde oliva, presenta inclusiones de apatito y bordes de biotita, tiene inclusiones de circón, apatito, opacos, plagioclasa, biotita y esfena. Se encuentra como producto de alteración de clinopiroxeno, generalmente con hábito fibroso.

El clinopiroxeno es augita en cristales incoloros subhedrales, tamaño menor a 0,5 mm, con clivaje bien desarrollado en una dirección, color de interferencia azul del segundo orden. Parcialmente uralitizado, aparece como núcleos en hornblenda. En algunas rocas se encuentra con inclusiones de ortopiroxeno o en los bordes del olivino.

El ortopiroxeno es un mineral ocasional (muestra 706806) se encuentra en cristales anhedral a subhedrales de relieve alto generalmente incluido dentro de cristales de clinopiroxeno, con color de birrefringencia gris del primer orden en los cortes basales, extinción paralela al clivaje y pleocroísmo X= rosado pálido, Y= amarillo pálido y Z= verde pálido, localmente los cristales son poiquilíticos con inclusiones de opacos, ligeramente alterado en los bordes a anfíbol uralítico y esmectita.

Olivino, en cristales de hábito prismático, subhedral a anhedral, fracturado con alteración a talco, antigorita, magnetita e iddingsita a lo largo de las fracturas y bordes con islotes de mineral fresco. Incoloro de relieve alto y birrefringencia con colores de segundo orden, extinción paralela. Tamaño <1 mm.

Granate se encontró únicamente en la muestra 706525 (FIGURA 3D), aparecen dos cristales en la sección delgada, anhedral, inequigranulares, con inclusiones de plagioclasa, fracturados, isotrópicos de tonalidad rosada pálida. El granate también se encuentra en las lavas de los Basaltos de El Botón y en lavas y cuerpos porfídicos andesíticos de la Formación Combia, donde se han interpretado como xenocristales provenientes del manto.

Los minerales accesorios se presentan como trazas y cantidades menores a 1,5%; el apatito en cristales finos incoloros, euhedrales hexagonales, de relieve alto, incluidos en los minerales máficos y plagioclasa. Opacos en cristales anhedral, algunos con coronas de biotita, las inclusiones en el interior de los cristales de ferromagnesianos ocasionalmente presenta texturas simplectíticas a manera de gotas.

En la aureola de contacto con las Arenitas, limolitas y lodolitas de Urrao se desarrollaron cornubianitas en diferentes facies, las cuales se muestran en la TABLA 2.

TABLA 2. Composición modal de las rocas de contacto con la Granodiorita de Farallones.

IGM	Qz	Pl	Fk	And	Ser	Act	Bt	Op	Graf	Zr	Ef	Ep	Mat org	Otros	Clasificación Petrográfica
706513	28,5			28,8			32,7	2,2	7,8						Cornubianita de andalucita, biotita, cuarzo y grafito
706514	12	35				49		0,9			1,1	2			Cornubianita de actinolita, plagioclasa, cuarzo (milonítica)
706516	37,9			31,1			24,1	Tr		6,9					Cornubianita de cuarzo, andalucita, biotita y grafito
706519	34,5	1,1		37,6	4,2		10,9		Tr				7,4	4,3	Cornubianita de andalucita, biotita, cuarzo y sericita
706520	3,2	Tr		19,7	40,2		24,1	1,6	11,2						Cornubianita de sericita, biotita, andalucita
706524	27,4			23,6	4,6		40,8	3,3							Cornubianita de biotita, cuarzo, andalucita, moscovita
706536	56,8		2,9		22,1		13,8	4,1						Turmalina 0,3	Cornubianita de cuarzo, mica moscovita, biotita, con turmalina
706723	46,4	1,3					50,7	1,7							Cornubianita de biotita, cuarzo
706729	34			13,7	29,7		19,2	3,4		Tr					Cornubianita de cuarzo sericita biotita andalucita
706804	10	Tr				8	5	Tr				71	6		Cornubianita de epidota actinolita, cuarzo, biotita bandeada
706809	20,1	25		8,1		0,8	43,6	2,1					Tr		Cornubianita de biotita, plagioclasa, cuarzo
707143	86,8	3,5					7,3	2,4							Cornubianita de cuarzo biotita
707146	50,6	40					8,3	1,6							Cornubianita de cuarzo-sericita-biotita

Clasificación litogeoquímica de la Granodiorita de Farallones

Para la clasificación litogeoquímica de la Granodiorita de Farallones se estudiaron en total 10 muestras: 4 del proyecto Cordillera Occidental adelantado por INGEOMINAS Medellín, examinadas en el laboratorio ActLabs de Canadá y 6 correspondientes al contrato 392/2007 (Arboleda *et al.*, 2009), analizadas en el laboratorio GMAS de Bogotá.

Los resultados de los óxidos mayores se recalcularon al 100% teniendo en cuenta el LOI, además se obtuvieron los valores de FeO y Fe₂O₃ a partir de hierro total (FeO*) y la norma CIPW. Los resultados se presentan en diferentes diagramas para elementos mayores y trazas, de los cuales se deduce la clasificación química y el ambiente tectónico. En la TABLA 3 se presentan los resultados de análisis para óxidos mayores.

TABLA 3. Composición química, óxidos mayores de la Granodiorita de Farallones.

Muestra	706515	706525	706724	706725	706727	706811	706458	119058	119059	119212
SiO ₂	61,36	64,95	61,94	59,44	64,39	56,25	67,76	52,07	62,78	52,14
Al ₂ O ₃	16,84	16,19	16,56	17,66	16,19	18,00	14,3	18,32	17,44	17,18
MnO	0,2	16,56	0,2	0,2	0,1	0,1	0,101	0,217	0,162	0,199
MgO	1,8	1,8	1,7	1,9	1,4	2,3	1,92	3,11	0,69	3,83
CaO	5,9	4,6	5,4	4,9	4,8	6,0	1,89	8,10	2,38	7,96
Na ₂ O	3,5	2,7	3,2	3,0	3,6	3,5	1,46	3,58	4,88	3,52
K ₂ O	2,4	1,3	3,0	2,6	2,7	4,6	3,84	2,94	5,65	3,0
TiO ₂	0,5	0,5	0,5	0,5	0,4	0,7	0,403	0,854	0,421	0,764
P ₂ O ₅	0,3	0,2	0,3	0,3	0,2	0,4	0,14	0,750	0,19	0,57
Fe ₂ O _{3t}	6,47	6,15	5,73	6,47	4,82	7,95	5,72	9,74	4,69	9,99
LOI	0,3	1,8	1,0	3,2	0,5	0,2	3,22	0,17	0,57	0,53
A/CNK	0,88	1,15	0,91	1,06	0,94	0,84	1,43	0,78	0,94	0,74
Fe ₂ O ₃	3,24	3,08	2,87	3,24	2,41	3,98	2,86	4,87	2,35	5,00
FeO	2,91	2,77	2,58	2,91	2,17	3,58	2,57	4,38	2,11	4,50
Na ₂ O+K ₂ O	5,9	4	6,1	5,6	6,2	8,1	5,3	6,5	10,5	6,5
#Mg	43,38	44,35	45,12	44,95	43,27	43,74	47,76	46,51	28,60	51,08
A.I	1,90	1,07	1,91	2,02	1,71	3,60	1,26	4,23	3,13	4,20
A/NK	1,99	2,75	1,94	2,24	1,84	1,66	2,17	2,00	1,22	1,88
NK/A	0,50	0,36	0,51	0,45	0,545	0,605	0,465	0,50	0,82	0,532

El #Mg varía entre 28 y 51 en las rocas de la Granodiorita de Farallones, que corresponde a magmas medianamente evolucionados.

El contenido de sílice en las rocas varía entre 52,07 y 67,76%, el álcalis total varía entre 4 y 10,5%; en el diagrama TAS, de Álcalis versus SiO₂ de Cox *et al.* (1979) (FIGURA 5), el cual discrimina la serie alcalina y la serie subalcalina, se observa que la composición del plutón es dual, presentando 4 muestras en el campo de las rocas alcalinas (IGM 119059, 706811, 119212 y 119058) y seis muestras en el campo de las rocas subalcalinas. En este mismo diagrama cuatro muestras se ubican en el campo de las dioritas, tres en el campo de las granodioritas, dos en el gabro y una en el de la sienita (IGM 119059) que petrográficamente se clasificó como cuarzomonzonita, campo que no está representada en el diagrama de Cox *et al.* (1979), siendo la roca más alcalina de las analizadas, se encuentra espacialmente entre las rocas máficas.

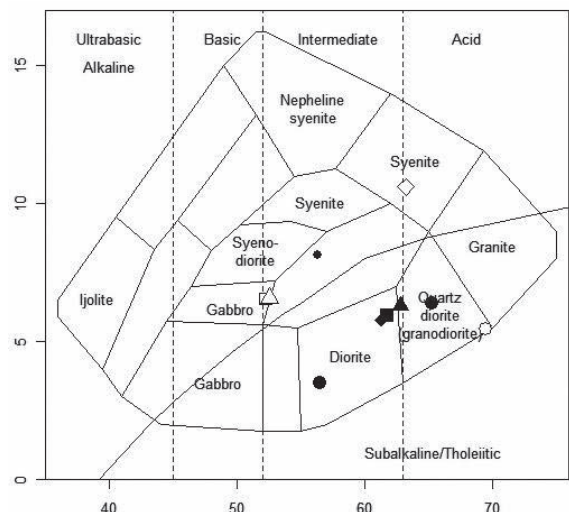


FIGURA 5. Diagrama TAS para la Granodiorita de Farallones (Cox *et al.*, 1979) álcalis total vs SiO₂.

En el Diagrama K_2O Vs SiO_2 de Peccerillo and Taylor (1976) (FIGURA 6), se observa dispersión de las rocas: una muestra cae en el campo de rocas calcoalcalinas con medio K (706526) y cinco (5) muestras en el campo de las series calcoalcalinas con alto K (706458, 706724, 706725, 706727, 706515, cuatro en el campo de las shoshonitas (119058, 119212, 706811 y 119059), con contenido de álcalis $>6.5\%$.

En el diagrama de alcalinidad aluminosidad tres muestras (706725, 706458 y 706525) presentan una tendencia peraluminica, las otras siete muestras se disponen con tendencia metaluminosa (FIGURA 7). Estas tres muestras se localizan en los bordes del cuerpo plutónico en el contacto con las litarenitas y limolitas de Urrao, la saturación de aluminio sugiere contaminación por asimilación de las sedimentitas de la roca encajante, con contenidos importantes de alúmina como lo muestra el desarrollo de andalucita de metamorfismo térmico en la aureola de contacto del plutón.

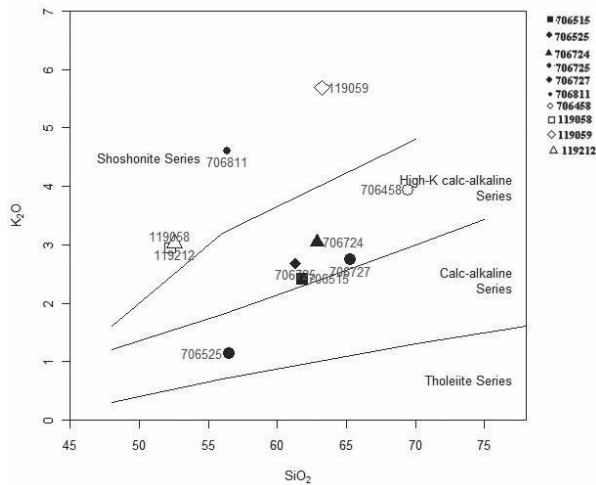


FIGURA 6. Diagrama K_2O Vs SiO_2 (Peccerillo and Taylor, 1976) para las rocas de la Granodiorita de Farallones.

Diagramas de variación de elementos mayores.

Las rocas más bajas en SiO_2 están más cerca de la composición del magma original, en los diagramas de Harker (1909) la Granodiorita de Farallones presenta dispersión de valores en algunos óxidos, pero en los gráficos de MgO , TiO_2 , FeO_1 , Al_2O_3 y P_2O_5 , se observa una disminución de estos óxidos a medida que aumenta el contenido de SiO_2 (FIGURA 8), con una pendiente negativa y tendencia lineal en algunos de los óxidos, que sugiere que la secuencia de rocas desde máficas a félsicas y de alcalinas a subalcalinas se debe al fraccionamiento de un magma originalmente máfico-alcalino localmente contaminado por las rocas sedimentarias encajantes. La

muestra 706525 presenta un comportamiento anómalo en todos los diagramas, corresponde a una tonalita leucocrática con xenocristales de granate.

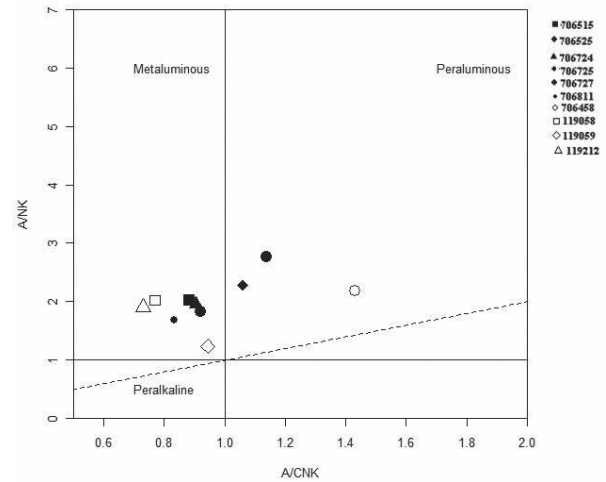


FIGURA 7. Diagrama de alcalinidad aluminosidad para la Granodiorita de Farallones.

En la TABLA 3 se presentan los contenidos de elementos traza y tierras raras; para la discriminación de ambientes tectónicos se emplearon los diagramas multielementales tipo *spider* de REE usando elementos relativamente inmóviles, como el Nb, Zr e Y (FIGURA 9).

En general se observa un empobrecimiento de las HREE con relación a las LREE, con un declive o pendiente negativa típico de rocas de arco ricas en K, las curvas relativamente planas correspondientes a HREE implican que el granate no estaba en equilibrio con la fusión en el momento de la segregación (Winter, 2001). En la FIGURA 8A, una de las muestras, IGM 706811, presenta un patrón diferente, está menos diferenciada. La relación $LREE > HREE$ refleja la relativa abundancia de feldespatos y biotita + apatito con respecto a piroxeno y anfíbol.

En la FIGURA 9B, las tierras raras (REE) normalizados con respecto al NMORB (Sun and McDonough, 1989), tienen enriquecimiento general en Cs, Rb, K, Ba, Sr, elementos incompatibles móviles (LILE), y Th, Pr y P. Las anomalías negativas en Nb, Ti e Y son afines a un patrón asociado a rocas de arco formado por subducción (Best, 2003); son rocas contaminadas o menos primitivas. La anomalía negativa en Y sugiere una fuente de magma profundo con presencia de granate (Winter, 2001), las anomalías negativas de Ti y Nb están relacionadas al fraccionamiento de óxidos de Fe-Ti (esfena, ilmenita).

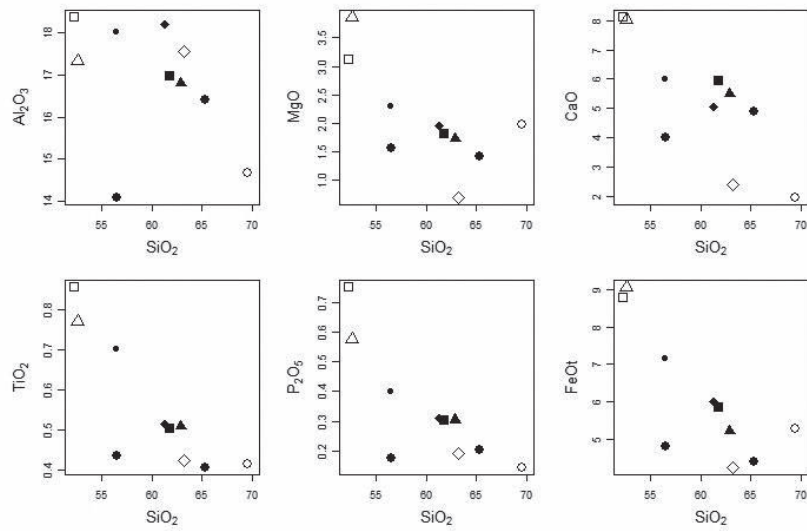


FIGURA 8. Diagramas binarios de Harker para la Granodiorita de Farallones.

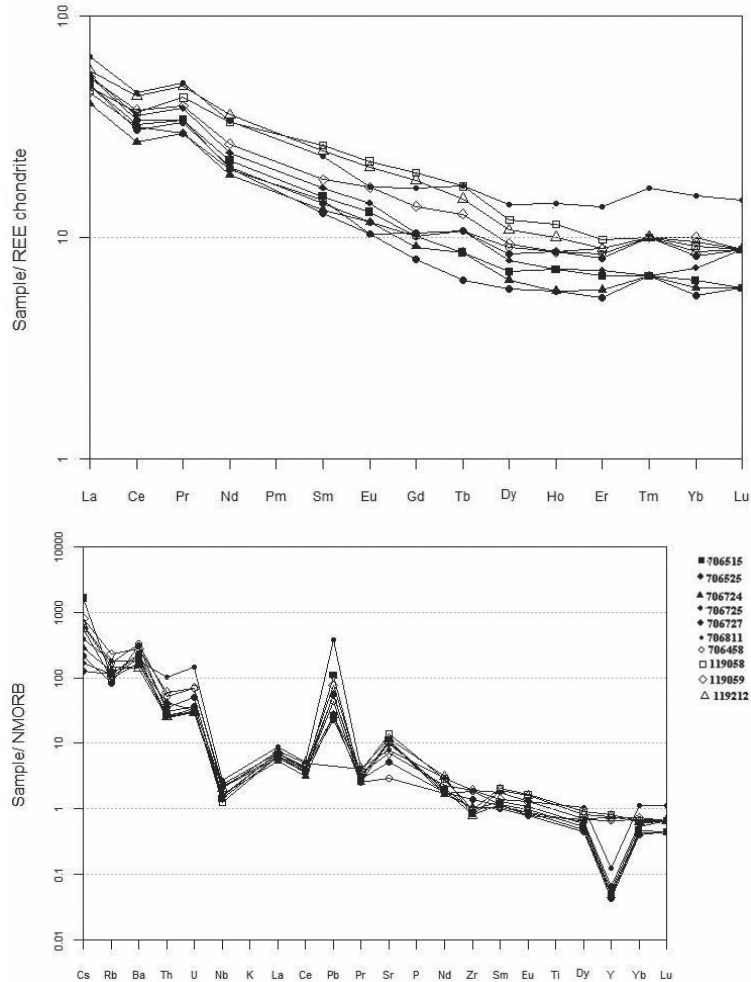


FIGURA 9. Diagramas multielemental de tierras raras y elementos traza para la Granodiorita de Farallones. A) Diagrama de REE normalizado respecto al condrito (Nakamura 1974). B) Diagrama de elementos traza normalizado respecto a N- MORB (Sun and McDonough (1989).

En las FIGURAS 9 y 10, esta última modificada de Arboleda *et al.* (2009), se observan valores bajos de Th, Nb y Ta, relativos a los elementos del grupo LFSE y picos altos de Ba, U, K y Sr. Los valores menores de Nb

respecto a Th y Ce es una característica de rocas que han sido generadas en ambientes de subducción relacionadas a arcos magmáticos (Pearce, 1996). En el gráfico se destaca la muestra 706811 por sus mayores valores en U y K.

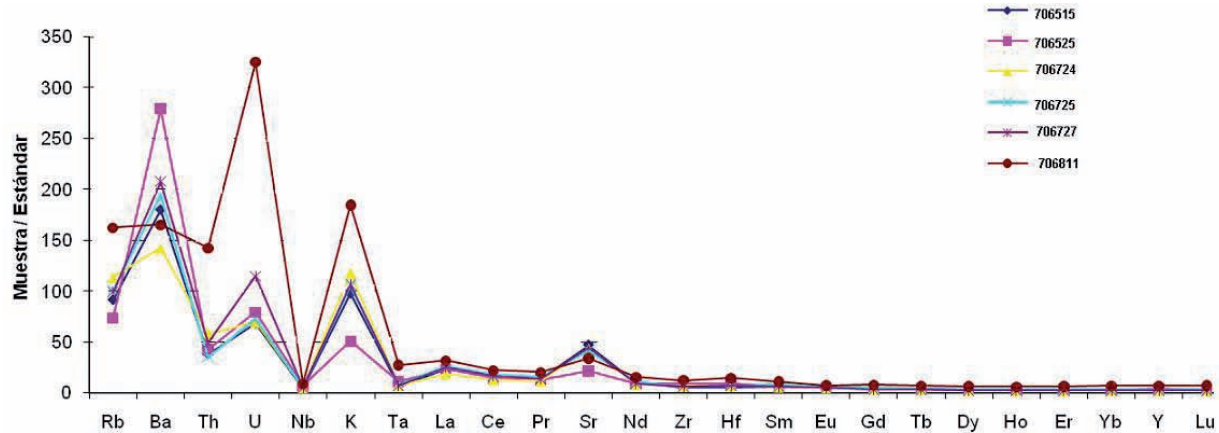


FIGURA 10. Diagrama multielemento para la Granodiorita de Farallones, normalizado respecto al manto primigenio, valores según Sun and McDonough (1989) modificado de Arboleda *et al.* (2009).

MARCO TECTÓNICO DE LA GRANODIORITA DE FARALLONES

El marco tectónico de la Granodiorita de Farallones se clasifica de acuerdo con el diagrama de Pearce *et al.* (1984), según la relación Rb - (Yb + Nb) en el cual de acuerdo a las FIGURAS 11A, 11C Rb (Ta + Yb) y 11D (Ta-Yb), se inscribe en los campos de granitos de arco volcánico, en la FIGURA 11B (Nb-Yb) en granitos de arco volcánico sincolisionales, éstos últimos posiblemente asociados a la colisión del arco de Panamá con el margen NW de Suramérica, durante el Neógeno.

En las FIGURAS 11A y 11B se observa que las rocas de la Granodiorita de Farallones se separan en dos grupos con una diferencia notoria en el contenido de Y y de Yb + Nb, indicando que posiblemente se trata de un plutón compuesto, constituido al menos por dos pulsos magmáticos.

Contactos y edad

La Granodiorita de Farallones intrusión las Litarenitas, limolitas y lodolitas de Urrao (Rodríguez *et al.*, 2010), forma una aureola de contacto de cerca de 2 kilómetros que alcanza la facies hornblenda cornubianita con desarrollo dentro de la aureola de contacto de porfidoblastos de andalucita (quiasolita) con inclusiones de biotita y grafito y desarrollo de texturas nodulares.

De la Granodiorita de Farallones se tienen tres edades, una en hornblenda por el método K/Ar de 11 ± 2 Ma (Calle *et al.*, 1980a) y dos en Arboleda *et al.* (2009) por el método Ar/Ar de 11.9 y 9.8 ± 0.2 (TABLA 4) que corresponden al Mioceno Tardío entre el Serravalliano y Tortoniano, edad que es concordante con los datos de otros plutones que afloran al norte, sobre el eje de la Cordillera Occidental, como son la Monzonita de Cerro Frontino, la Monzonita del Páramo de Frontino y la Monzodiorita de Carauta, considerados como plutones del Arco de El Botón (Rodríguez y Zapata, 2012).

Las muestras IGM-706724 (N:1°115.835 E:1°117.336) y 706727 (N:1°115.262 E:1°120.120) corresponden a granodioritas, se analizaron en el laboratorio Actlabs por Ar/Ar en hornblenda + biotita. La muestra 706724, presentó un espectro de edad con tres puntos de alta temperatura, caracterizado por 74% de ^{39}Ar , con edad de 11.9 ± 0.6 Ma. Con una isócrona inversa con regresión lineal, caracterizada por el valor de edad de 11.0 ± 1.4 Ma, MSWD = 0.7.

La muestra 706727, mostró un espectro de edad con un plateau de cuatro pasos caracterizado por 86% de ^{39}Ar , con edad de 9.8 ± 0.2 Ma. Con una isócrona inversa con regresión lineal de plateau, caracterizada por el valor de edad de 9.6 ± 0.5 , MSWD = 1.3 (FIGURA 12).

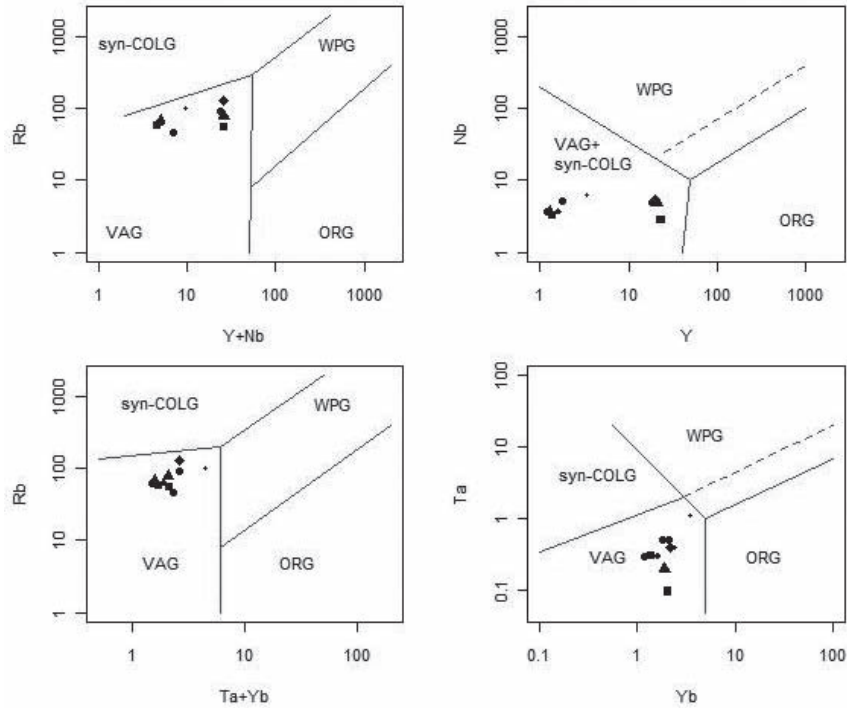


FIGURA 11. Diagramas Pearce *et al.*, (1984) de discriminación tectónica para la Granodiorita de Farallones. Syn-COLG granitos sincollisionales, WPG granitos intra placa, ORG granitos de dorsal oceánica, VAG granitos de arco volcánico. A) Diagrama Rb - (Yb + Nb), B) Diagrama Nb - Y, C) Rb (Ta + Yb) y D) Ta - Yb.

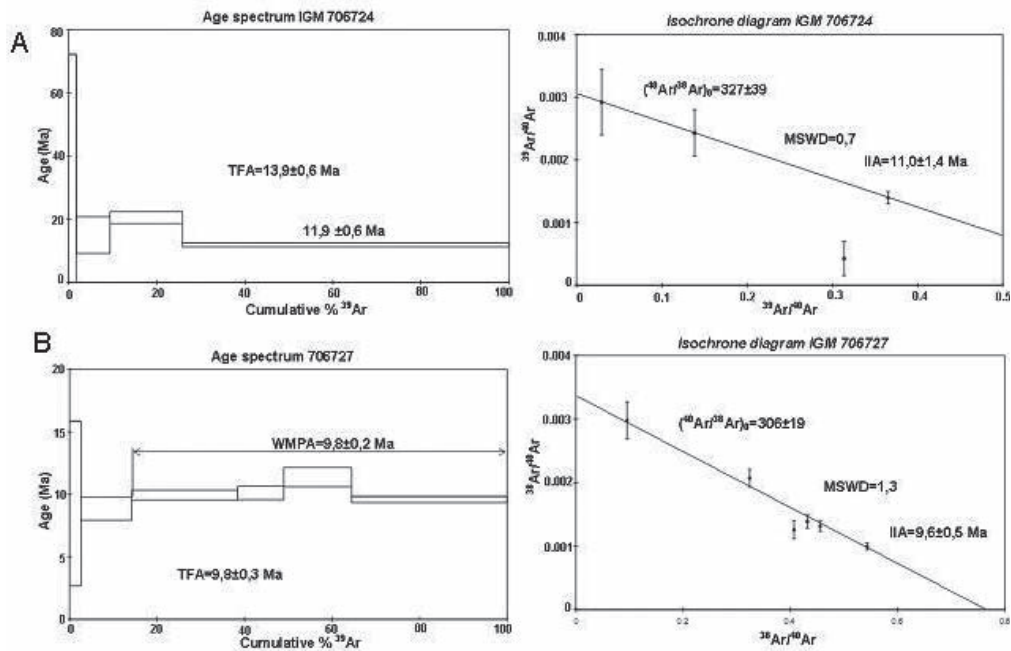


FIGURA 12. Espectro de edad de muestras de la Granodiorita de Farallones A) IGM-706724, B) IGM-706727

TABLA 4. Elementos traza y tierras raras de la Granodiorita de Farallones.

IGM	Sc	Be	V	Cr	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Rb	Sr	Y	Zr
706515	8,0	1,0	109,0	110,0	10,0	-20,0	20,0	130,0	20,0	1,5	-0,5	58,0	990,0	1,4	61,0
706525	12,0	1,0	99,0	150,0	10,0	-20,0	80,0	130,0	20,0	1,3	20,0	47,0	460,0	1,8	103,0
706724	8,0	1,0	107,0	60,0	13,0	-20,0	90,0	80,0	18,0	2,1	-0,5	72,0	930,0	1,3	78,0
706725	10,0	1,0	116,0	50,0	11,0	-20,0	10,0	100,0	21,0	1,5	-0,5	64,0	874,0	1,6	73,0
706727	6,0	1,0	78,0	80,0	8,0	-20,0	-10,0	50,0	19,0	1,5	-0,5	63,0	946,0	1,2	74,0
706811	17,0	2,0	157,0	100,0	16,0	-20,0	60,0	130,0	21,0	1,7	-0,5	103,0	719,0	3,4	139,0
706458	12,0	2,0	88,0	20,0	12,0	< 20	20,0	320,0	13,0	0,9	< 5	94,0	264,0	18,5	138,0
119058	19,0	2,0	243,0	< 20	24,0	< 20	120,0	150,0	24,0	1,5	< 5	56,0	1264,0	22,8	72,0
119059	8,0	2,0	23,0	< 20	4,0	< 20	20,0	140,0	23,0	2,0	12,0	128,0	629,0	20,2	142,0
119212	23,0	2,0	267,0	< 20	26,0	< 20	80,0	170,0	23,0	1,9	< 5	81,0	1044,0	21,4	58,0

IGM	Nb	Mo	Ag	In	Sn	Sb	Cs	Ba	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd
706515	3,3	5,0	-0,5	-0,1	8,0	1,0	11,5	1257,0	16,2	27,9	3,8	14,0	3,1	1,0	2,8
706525	5,2	8,0	-0,5	0,1	7,0	3,1	1,5	1950,0	16,1	26,6	3,7	13,0	2,9	0,9	2,8
706724	3,8	3,0	-0,5	-0,1	6,0	0,3	2,0	995,0	13,2	23,2	3,3	12,0	2,7	0,9	2,5
706725	3,7	-2,0	-0,5	-0,1	1,0	0,3	1,2	1356,0	17,9	30,8	4,3	15,2	3,4	1,1	2,9
706727	3,6	3,0	-0,5	-0,1	8,0	-0,2	0,9	1451,0	17,6	29,2	3,8	12,9	2,6	0,8	2,2
706811	6,3	6,0	-0,5	-0,1	7,0	0,7	2,8	1154,0	21,8	39,0	5,6	21,2	4,7	1,3	4,6
706458	5,0	3,0	< 0,5	< 0,1	21,0	< 0,2	4,5	2071,0	14,9	27,3	3,3	12,7	3,0	0,8	2,9
119058	2,9	11,0	0,6	< 0,1	< 1	< 0,2	4,0	1067,0	15,8	31,8	4,8	20,9	5,3	1,7	5,4
119059	5,5	3,0	1,0	< 0,1	2,0	< 0,2	5,7	1770,0	17,5	32,5	4,4	16,7	3,7	1,3	3,8
119212	4,8	5,0	< 0,5	< 0,1	< 1	< 0,2	4,4	890,0	18,8	37,6	5,4	22,5	5,0	1,6	5,0

IGM	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	Hf	Ta	W	Tl	Pb	Bi	Th	U
706515	0,4	2,4	0,5	1,5	0,2	1,4	0,2	1,8	0,3	0,5	0,6	32,0	0,4	3,3	1,4
706525	0,5	2,9	0,6	1,8	0,3	1,8	0,3	2,8	0,5	0,9	0,8	17,0	1,3	3,7	1,7
706724	0,4	2,2	0,4	1,3	0,2	1,3	0,2	2,3	0,3	2,5	0,8	8,0	2,1	5,0	1,5
706725	0,5	2,7	0,5	1,6	0,2	1,6	0,3	2,2	0,3		0,6	16,0	1,5	3,0	1,5
706727	0,3	2,0	0,4	1,2	0,2	1,2	0,2	2,2	0,3	-0,5	0,5	7,0	1,5	4,2	2,4
706811	0,8	4,8	1,0	3,1	0,5	3,4	0,5	4,5	1,1	-0,5b	0,6	114,0	1,7	12,1	6,8
706458	0,5	3,1	0,6	1,9	0,3	2,1	0,3	4,3	0,5	5,0	0,3	13,0	0,1	6,3	3,3
119058	0,8	4,1	0,8	2,2	0,3	2,0	0,3	1,8	0,1	< 0,5	0,2	8,0	< 0,1	3,1	1,6
119059	0,6	3,2	0,6	2,0	0,3	2,2	0,3	3,6	0,4	1,4	0,6	23,0	< 0,1	7,3	3,3
119212	0,7	3,7	0,7	2,0	0,3	1,9	0,3	1,4	0,2	< 0,5	0,4	< 5	< 0,1	3,0	1,4

Correlaciones. La Granodiorita de Farallones se correlaciona por composición mineralógica, composición química y edad con la Monzonita del Páramo de Frontino, la Monzonita de Cerro Frontino, el Stock de Cerro Plateado, la Diorita del río San Juan, la Monzodiorita de La Horqueta y Diorita de Morrogacho, todas ubicadas en el rango de edad entre 9.8 y 12 Ma y fueron agrupadas por Rodríguez y Zapata (2012) como “Plutones del Arco de El Botón”.

DIATREMA DE FARALLONES

La parte nororiental de la Granodiorita de Farallones está intruida por una diatrema con textura fragmental, las rocas macroscópicamente son de color verde claro y moteado negro, están conformados por una matriz y xenolitos de cristales y de roca tamaño ceniza a lapilli. Estas rocas inicialmente fueron reportadas en informe de

CORANTIOQUIA-UN (1997) por el geólogo Norberto Parra quien las denomina rocas volcánicas jóvenes - Volcán El Morro de Farallón, posteriormente en un informe interno (Rodríguez *et al.*, 2006) describen el cuerpo y analizan cuatro (4) secciones delgadas de éste, Arboleda *et al.* (2009) calcula el área del cono volcánico en 18 Km² y lo denominan Aglomerado de Farallones.

Topográficamente sobresalen como un cuello volcánico por encima de las Granodiorita de Farallones (FIGURA 13), los cuerpos de pórfidos andesíticos y la unidad sedimentaria de Litarenitas, limolitas y lodolitas de Urrao, genéricamente se puede clasificar como una diatrema: conducto volcánico relleno de brechas edificado a través de terrenos de rocas no volcánicas y contiene fragmentos derivados de rocas a profundidad, está asociada a pórfidos andesíticos (FIGURA 14).

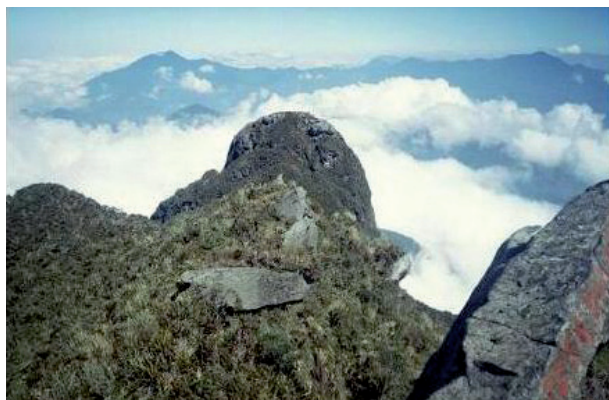


FIGURA 13. Vista panorámica de la Diatrema de Farallones.

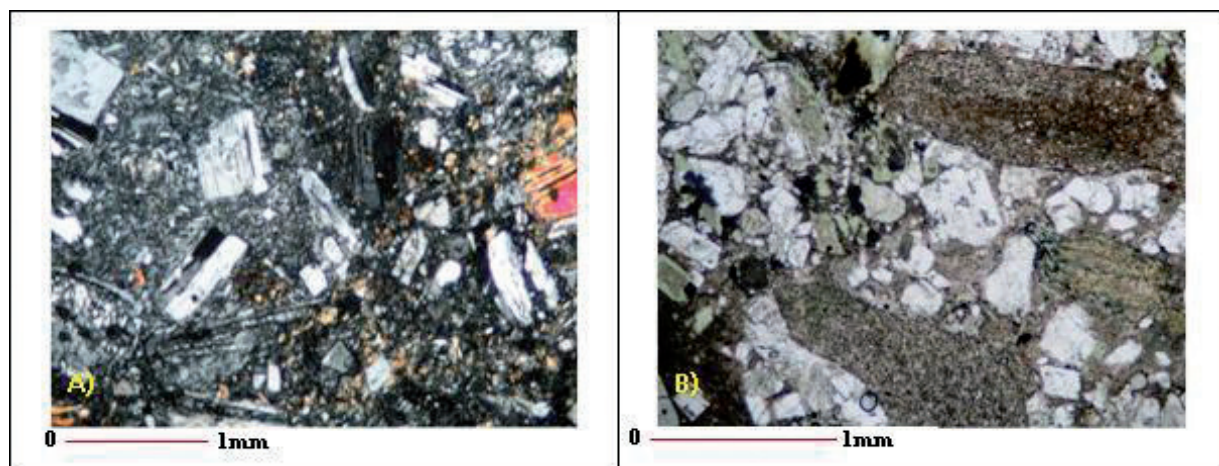


FIGURA 14. Microfotografías de las secciones delgadas de la Diatrema de Farallones, brechas intrusivas de cristales y líticos. A) IGM 706440 Nícoles Cruzados, aumento 2.5x. Cristales de plagioclasa y clinopiroxeno, fragmentos líticos de andesita porfídica. B) IGM-706435 Nícoles paralelos. Cristales de plagioclasa y clinopiroxeno con fragmentos líticos de sedimentitas.

Litología. La Diatrema de Farallones está constituida por fragmentos de cristales (38 - 83%) y líticos (4 - 35%) embebidos en una matriz afanítica (hasta 20%) de color gris a verde claro (TABLA 5). Las rocas se clasifican siguiendo a Le Maître (2002), considerando que se trata de brechas intrusivas a las cuales se les aplica la

nomenclatura de rocas fragmentales piroclásticas de acuerdo a este autor, además se aclara que la petrografía se realizó sobre la matriz de las rocas y no sobre los fragmentos líticos de otras unidades que afloran en los alrededores.

TABLA 5. Cuadro resumen de resultados de la datación $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$

IGM	Wt (mg)	Exper.	IIA (Ma) ± 1	TFA ± 1	WMPA (Ma) ± 1	Ca/K	Comments
706724	33,06	4 steps heat	11.0 \pm 1.4	13.9 \pm 0.9	11.9 \pm 0.6	1.4- 20.4	High temperature step characterized by 74% of ^{39}Ar
706727	58.34	6 steps heat	9.6 \pm 0.5	9.9 \pm 0.3	9.8 \pm 0.2	0.14 – 8.04	Four steps plateau.

Incertidumbre estimada ± 1 (1sigma), TFA=Edad de fusión total, Ca/K= Proporciones de aparentes de Ca/K, edad del Plateau IIA=Edad de Isócrona inversa, WMPA= edad media ponderada del Plateau, WMIPA= Edad ponderada intermedia.

TABLA 6. Características petrográficas de la Diatrema de Farallones.

IGM	Pg	Cpx	TR/ACT	Op	Vidrio	Matriz	FR	Clasificación Petrográfica
706435	59	18		3	8		4	Toba de cristales con líticos
706437	65	18		1,5	2		14	Toba de cristales con líticos
706438	27	11		1,5	25		10,5	Toba de cristales con líticos
706440	25	17,5	2,5			20	35	Toba de cristales con líticos

Los fragmentos líticos, corresponden a fragmentos angulosos de rocas sedimentarias y volcánicas, principalmente lodolitas, limonitas, areniscas que se consideran como fragmentos arrancados de la Formación Penderisco, rocas plutónicas granitoides posiblemente de la Granodiorita de Farallones y andesitas porfídicas, de tamaño ceniza y lapilli (FIGURA 14).

La plagioclasa se clasifico siguiendo el método de Michel – Lévy en macla de albita como labradorita, presenta algunas inclusiones de vidrio a manera de gotas, el clinopiroxeno es augita de tamaño ceniza, de color verde pálido, poiquilítico con inclusiones de opacos, vidrio y plagioclasa, se alteran a bastita y clorita.

El vidrio es intergranular se encuentra como una pasta amorfa de color pardo y aspecto sucio alterada a clorita verde y en proceso de desvitrificación.

La matriz es de tamaño ceniza, conformada por fragmentos de cristales y subordinados los fragmentos

líticos, corresponden a tobas de cristales en la cual flotan los fragmentos angulosos de tamaño lapilli y bombas de sedimentitas, escasas plutonitas y vulcanitas.

Contactos y edad

La Diatrema de Farallones intruye las Litoarenitas, limolitas y lodolitas de Urrao y la Granodiorita de Farallones. La edad de estas rocas podría corresponder al Mioceno Tardío (Messiniano) o Plioceno o podría estar relacionado con el vulcanismo de la Formación Combia y los pórfidos asociados con edades entre 6.3 y 8 Ma (Leal, 2011).

CONCLUSIONES

La composición de la Granodiorita de Farallones es compleja presenta 4 muestras en el campo de las rocas alcalinas y seis muestras en el campo de las rocas subalcalinas, geoquímicamente cuatro muestras se ubican en el campo de las dioritas, tres en el campo de las granodioritas, dos en el gabro y una en el de la

sienita, petrográficamente predominan las granodioritas sobre las demás litologías. En el Diagrama K_2O Vs SiO_2 se observa dispersión de las rocas, con una muestra correspondiente a series calcoalcalinas de medio K, cinco muestras en el campo de rocas calcoalcalinas con alto K y cuatro en el campo de las series shoshoníticas. Por el contenido de Y se separa en dos subgrupos dentro de los granitos (VAG + syn-COLG).

La Granodiorita de Farallones presenta un incremento de MgO , TiO_2 , Fe_2O_3 , Al_2O_3 y P_2O_5 , hacia las facies más pobres en sílice.

En los diagramas multielementales se observa un empobrecimiento de las HREE con relación a las LREE, la relación $LREE > HREE$ refleja la relativa abundancia de feldespatos y biotita + apatito con respecto a al piroxeno y anfíbol.

Se aprecia un enriquecimiento general en Rb, Th, K, Pr y P y anomalías negativas en Nb, Ti e Y característico de rocas calcoalcalinas generadas en un arco magmático. En el gráfico normalizado respecto al manto primigenio se observan valores bajos de Th, Nb y Ta, y picos altos de Ba, U, K y Sr. Los valores menores de Nb respecto a Th y Ce corresponde a un patrón típico de rocas de arco formado por subducción (Pearce, 1996). En el gráfico se destaca la muestra 706811 por sus mayores valores en U y K.

Las rocas calcoalcalinas y shoshoníticas de la Granodiorita de Farallones tienen características de un Granito tipo I generado por encima de la placa subducente, con posible aporte de sedimentos marcado por el aumento de Th y alto contenido de Al_2O_3 (14-18%), la presencia de hornblenda, esfena y magnetita, alto contenido de $Na_2O > 3.2\%$ wt y de álcalis $> 5\%$.

Petrográficamente predominan las granodioritas y por lo tanto se cambia el nombre propuesto por González y Londoño (2002) para este plutón, por tal razón se propone el nombre de Granodiorita de Farallones.

No hay una separación geográfica entre tonalitas, granodioritas y monzodioritas. Las dioritas y gabros se localizan en la parte sur del plutón.

La Diatrema de Farallones está en contacto intrusivo con la Formación Penderisco y la Granodiorita de Farallones e involucra fragmentos de sedimentitas y plutonitas de estas dos unidades.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece al Servicio Geológico Colombiano, anterior INGEOMINAS, poseedor de la información utilizada en este trabajo y que suministró los datos de los análisis de petrografía, geoquímica y dataciones obtenidos en los diferentes proyectos de cartografía en la Cordillera Occidental, a la geóloga María Isabel Arango por su colaboración en la elaboración de las figuras. También a los evaluadores, cuyos comentarios contribuyeron a mejorar el artículo.

REFERENCIAS

- Arboleda, G., Celada, C., Forero, S., Montealegre, V., Carmona, J., y Medina, E. 2009. Cartografía geológica y muestreo geoquímico en la parte norte de la Cordillera Occidental, planchas 165 y 185 (396 kilómetros cuadrados). Contrato No. 392 de 2007 INGEOMINAS-UTAGS-GE. Bogotá. 178p.
- Best, M.G. 2003. Igneous and metamorphic petrology: Second edition. Oxford Blackwell Science, 729p
- Calle, B., Toussaint, J., Restrepo, J., y Linares, E. 1980a. Edades K/Ar de dos plutones de la parte septentrional de la Cordillera Occidental, Colombia. Geología Norandina, 2:17-20.
- Calle, B., González, H., De La Peña, R., Escorce, B., y Durango, J. 1980b. Mapa geológico de la Plancha 186 Riosucio. Escala 1:100.000 INGEOMINAS, Bogotá.
- Calle, B., y Salinas, R. 1986. Geología y Geoquímica de la Plancha 165 Carmen de Atrato. INGEOMINAS. Bogotá, Informe 1967, 140p.
- CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DEL CENTRO DE ANTIOQUIA-UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA. 1997. Reserva natural "Farallones del Citará" – estudios biofísicos y socioeconómicos preliminares- (Suroeste Antioqueño). Informe Técnico, Tomo II: 70-71.
- Cox, K.G., Bell, J.D., and Pankhurst, R.J. 1979. The interpretation of igneous rocks. Georgan Allen and Unwin, London.
- González, H., y Londoño, A. 2002. Catálogo de unidades litoestratigráficas de Colombia. Mioceno. Monzodiorita de Farallones (Nm_{df}), departamentos de Antioquia, Chocó y Risaralda, Cordillera Occidental. INGEOMINAS, 17p.

- Harker, A. 1909. The natural history of igneous rocks. Methuen, London.
- Le Maître, R. W. (ed.) 2002. Igneous Rocks. A Classification and Glossary of Terms. Recommendations of the International Union of Geological Sciences Subcommittee on the Systematics of Igneous Rocks, 2nd ed. xvi + 236 pp. Cambridge, New York, Melbourne: Cambridge University Press.
- Leal, H., 2011. Phanerozoic gold metallogeny in the Colombian Andes: a tectonomagmatic approach. Barcelona. 100p.
- Nakamura, N. 1974., Determination of REE, Ba, Fe, Mg, Na and K in carbonaceous and ordinary chondrites. *Geochimica and Cosmochimica Acta*, Vol. 38, 757 p.
- Parra, E., y Salazar, G. 1999. Geología de la Plancha 185, Bagadó. Informe inédito. INGEOMINAS, Medellín. 64p.
- Pearce, J.A. 1996. A user's guide to basalt discrimination diagrams. En Wyman, D.A. (ed.) Trace element geochemistry of volcanic rocks: Applications for massive sulphide exploration. Geological Association of Canada, Short Course Notes, 12: 79-114
- Pearce, J.A., Harris, N.B.W., and Tindle, A.G. 1984. Trace element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitic rocks. *Jour. Petrology*, 25: 956-983.
- Peccerillo, A., and Taylor, S.R. 1976. Geochemistry of Eocene calc-alkaline volcanic rocks from Kastamonir area, Northern Turkey. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 58: 63-81.
- Rodríguez, G., Zapata, G., y Gómez, J.F. 2006. Geología del Cerro Farallones, Plancha 165. Informe interno INGEOMINAS. Medellín. 15p
- Rodríguez, G., Zapata, G., y Gómez, J.F. 2010. Geología de la parte oriental de la Plancha 114 Dabeiba. INGEOMINAS. Medellín. 172p.
- Rodríguez, G., y Arango, M.I. 2012. Formación Barroso: arco volcánico toleítico y Diabasas de San José de Urama: un prisma acrecionario T-MORB en el segmento norte de la Cordillera Occidental de Colombia. Poster, VIII Simposio latinoamericano de Geología Isotópica, Medellín.
- Rodríguez, G., y Zapata, G. 2012. Características del plutonismo Mioceno superior en el segmento norte de la Cordillera Occidental e implicaciones tectónicas en el modelo geológico del noroccidente colombiano. *Bol. Ciencias de La Tierra*, 31: 5-22.
- Streckeisen, A. 1976. To each plutonic rock its proper name. *Earth Sci. Reviews*, 12:1-33.
- Sun, S.S., and McDonough, W.F. 1989. Chemical and Isotopic Systematics of oceanic basalts: implications for Mantle Composition and Processes. In A.D. Saunders and M.J. Norry (eds.) *Magmatism in the Ocean Basins*, *Spec. Publ. Geol. Soc. Lond.*, 42: 313-345.
- Winter, J.D. 2001. An introduction to igneous and metamorphic petrology. Prentice Hall. New Jersey, 647p.

Trabajo recibido: octubre 15 de 2012

Trabajo aceptado: abril 22 de 2013