
BASALTO DE EL BOTÓN, ARCO VOLCÁNICO MIOCENO DE AFINIDAD SHOSHONÍTICA AL NORTE DE LA CORDILLERA OCCIDENTAL DE COLOMBIA

BASALTO DE EL BOTÓN, MIOCENE VOLCANIC ARC OF SHOSHONITIC AFFINITY TO THE NORTH OF CORDILLERA OCCIDENTAL OF COLOMBIA

Gilberto Zapata G. & Gabriel Rodríguez G.

Ingeominas Medellín

gzapata@ingeominas.gov.co, grodriguez@ingeominas.gov.co

Recibido para evaluación: 13 de Septiembre de 2011 / Aceptación: 30 de Octubre de 2011 / Recibida versión final: 18 de Noviembre de 2011

RESUMEN

El Basalto de El Botón aflora en el flanco occidental de la Cordillera Occidental como un bloque en dirección norte-sur que se extiende desde el noroccidente de Dabeiba y continua al suroccidente de Frontino, es una unidad litoestratigráfica constituido por basaltos y andesitas porfídicas, y en menor cantidad rocas piroclásticas y limitada tectónicamente por las fallas Dabeiba-Pueblo Rico y La Cerrazón – Murri.

El Basalto de El Botón se formó en un ambiente de arco volcánico; están instruidos por stocks como la monzonita de Nudillales, monzodiorita de Carauta, andesita de Jengamecodá y cuarzodiorita del Valle de Pérdidas que son la parte plutónica del arco magmático del cual hace parte el basalto.

Las rocas del Basalto de El Botón y los plutones asociados están enriquecidas en tierras raras livianas y empobrecidas en tierras raras pesadas, son de carácter shoshonítico y de afinidad con ambientes de arco volcánico. Las edades obtenidas en rocas basálticas de El Botón y en los cuerpos intrusivos asociados indican que el arco se formó entre 9 Ma y 12 Ma, Mioceno Superior (Tortoniano)

PALABRAS CLAVE: Basalto de El Botón, Cordillera Occidental de Colombia, shoshonitas, Dabeiba, Antioquia, Colombia

ABSTRACT

Basalto de El Botón outcrops on the western flank of the mountainous chain ‘Cordillera Occidental’ as a block in north-south direction extending from Dabeiba’s northwest and continuing until Frontino’s southwest. It is a lithostratigraphic unit composed by porphyritic basalts and andesites, and a small amount of pyroclastic rocks and tectonic limited by the faults: Dabeiba -Pueblo Rico and La Cerrazón - Murri..

Basalto de El Botón is formed in a volcanic arc environment. It is composed by stocks such as Nudillales Monzonite, Carauta Monzodiorite, Jengamecodá Andesite and Cuarzodiorite from El Valle de Pérdida. All of them are the plutonic part of the magmatic arc which forms part of the basalt.

Basalto de El Botón’s rocks and its associated plutons are enriched in light rare earth elements and depleted in heavy rare earth. Its elements are from shoshonitic character and have a kinship with volcanic arc environments. The ages obtained from basaltic rocks of El Botón and associated intrusive bodies indicate that the arc was formed between 9 Million of years and 12 million of years ago, in the Late Miocene (Tortonian) age.

KEY WORDS: Basalto de El Botón, Cordillera Occidental of Colombia, shoshonite, Dabeiba, Antioquia, Colombia

1. INTRODUCCIÓN

Estudios adelantados por INGEOMINAS en los años 2007 y 2008 en las planchas 114 y 129 han permitido establecer la existencia de un arco volcánico de edad miocena de afinidad shoshonítica, constituido por lavas basálticas y andesíticas con plutones asociados de composición monzonítica y monzodiorítica. En este trabajo se describen las rocas volcánicas y plutónicas que conforman el arco, la afinidad química y edad de las lavas y plutones.

El Basalto de El Botón (Zuluaga y Hoyos, 1978), está compuesto por rocas basálticas que afloran en cercanías al sitio El Botón, sobre la vía a Urabá entre Dabeiba y Uramita. Estas rocas forman un bloque tectónico que aflora al occidente del Complejo Cañasgordas y al oriente del Complejo Santa Cecilia – La Equis y el Batolito de Mandé, está limitado al occidente por la falla La Cerrazón-Murri y al oriente por la Falla Dabeiba-Pueblo Rico (Figura 1).

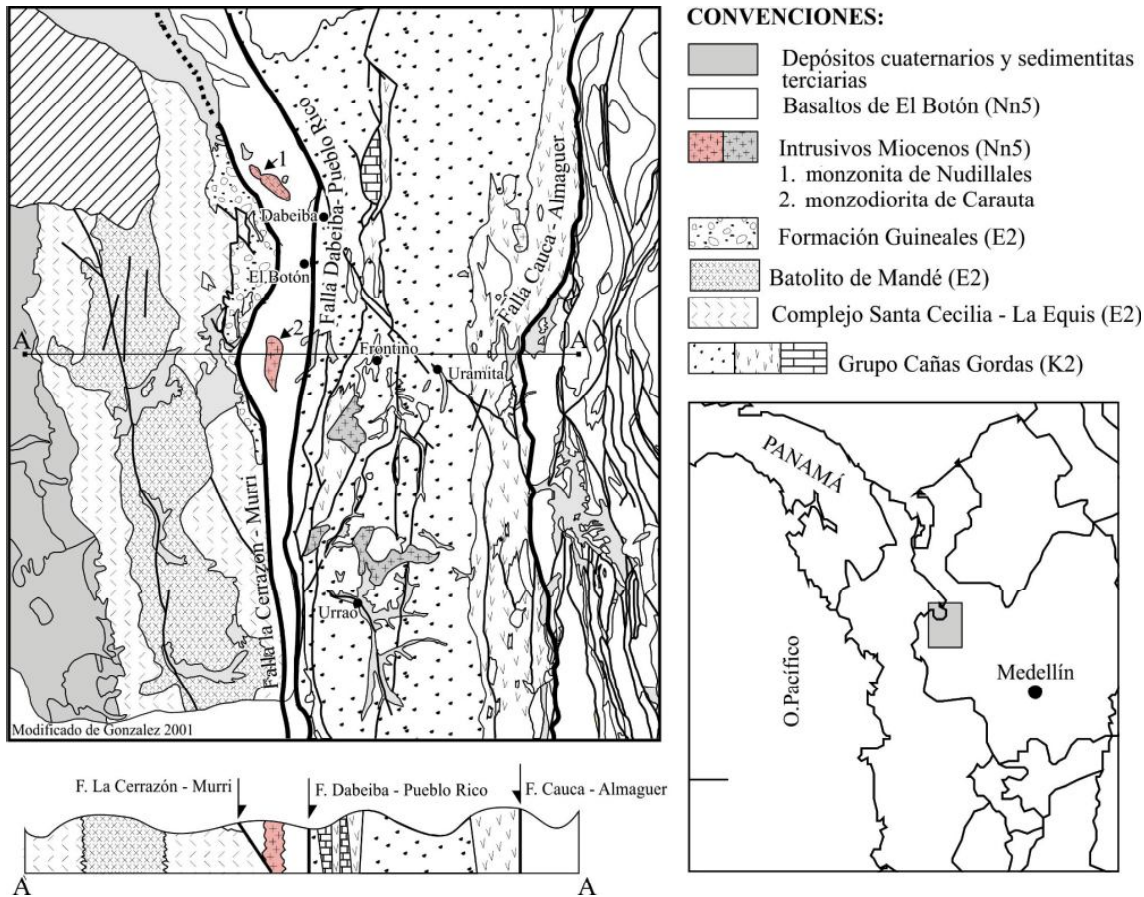


Figura 1. Localización y marco geológico del Basalto de El Botón.

Los análisis litogeoquímicos y las edades radiométricas permiten mostrar que el Basalto de El Botón junto con la monzonita de Nudillales (Rodríguez et al., 2010a), la monzodiorita de Carauta (Buchely et al., 2009) y la cuarzodiorita del Valle de Pérdidas, conforman un arco volcánico plutónico diferente en origen y edad al Complejo Santa Cecilia-La Equis y al Batolito de Mandé.

2. MATERIAL Y MÉTODOS

Se revisaron 72 secciones delgadas del Basalto de El Botón, 4 de la monzonita de Nudillales y 7 de la monzodiorita de Carauta, se clasificaron siguiendo las recomendaciones de la Subcommission on the Systematics of igneous Rocks.

Se hizo litogeoquímica en el laboratorio ActLabs de Canadá a 14 rocas de basaltos y andesitas del Basalto de El Botón, a cuatro (4) de la monzodiorita de Carauta y a cuatro (4) de la monzonita de Nudillales. La determinación cuantitativa de los óxidos mayores, de elementos traza y de las tierras raras se obtuvo por el método de ataque Fus-ICP (Lithium Metaborate/Tetraborate Fusion ICP) y para el resto de elementos analizados por espectrometría de emisión con plasma (ICP-MS). Para las muestras de la monzodiorita de Carauta se retoman los datos reportados por Buchely et al. (2009).

Para la clasificación geoquímica de las rocas se utilizó el software Petrograph versión 1.0-5 de libre acceso con el cual se elaboraron los diagramas para óxidos de elementos mayores.

Se reportan las edades Ar-Ar paso a paso realizadas por el método Ar/Ar step heating dating, preparadas en molino no contaminante en malla -200 en el laboratorio de ActLabs de Canadá.

3. MARCO GEOLÓGICO REGIONAL

El segmento norte de la Cordillera Occidental está conformado por tres bloques limitados por grandes fallas regionales los cuales son de oriente a occidente: el Complejo Cañasgordas (rocas de plateau oceánicas) limitado al oriente por la falla Cauca–Almaguer en el sentido de Maya y González (1995) y al occidente por la Falla Dabeiba-Pueblo Rico (Rodríguez et al., 2010a) que lo separa del arco magmático - plutónico del Basalto de El Botón y plutones asociados (arco volcánico plutónico) de edad Mioceno limitado a su vez al occidente por La falla La Cerrazón - Murrí que lo limita con el Arco volcánico – plutónico de Santa Cecilia-La Equis-Batolito de Mandé de edad Eoceno inferior – Paleoceno y de afinidad calcoalcalina.

En el presente estudio se compara el Basalto de El Botón y los cuerpos intrusivos asociados (monzonita de Nudillales, monzodiorita de Carauta) con las rocas que conforman el Complejo Santa Cecilia–La Equis y el Batolito de Mandé, unidad con la cual ha habido problemas de separación cartográfica por las similitud textural y composicional de las rocas. La comparación se hace a partir de los datos petrográficos, litogeoquímicos y las edades radiométricas.

El Basalto de El Botón aflora en el flanco occidental de la Cordillera Occidental como un bloque en dirección nortesur con una amplitud entre 3 y 13 km, se extiende desde el noroccidente de Dabeiba y continua al suroccidente de Frontino, es una unidad litoestratigráfica constituida por basaltos porfídicos, andesitas porfídicas y rocas piroclásticas; la unidad está delimitada tectónicamente por las fallas Dabeiba-Pueblo Rico y La Cerrazón–Murrí (Figura 1), presenta contactos fallados: en el borde nororiental con la unidad areniscas y limolitas de Urao (Plancha 114) y al suroriente con los chert y calizas de Nutibara (Rodríguez et al., 2010a), siendo el límite la Falla Dabeiba-Pueblo Rico. En el borde occidental el contacto es fallado con sedimentitas de la Formación Guineales y el Complejo Santa Cecilia - La Equis, delimitado por la Falla La Cerrazón-Murrí. El Basalto de El Botón está intruido por la Monzonita de Nudillales, monzodiorita de Carauta, andesita de Jengamecodá, cuarzodiorita del Valle de Pérdidas y otros intrusivos menores de composición monzonita-monzodiorita-cuarzodiorita.

4. BASALTO DE EL BOTÓN

El Basalto de El Botón está constituido por flujos de basaltos, andesitas y rocas piroclásticas subordinadas. Los flujos son macizos, con texturas porfídica, amígdalar, traquílica y seriada (Figura 2); la matriz es microcristalina, hialocristalina a hialina de color gris verdoso por alteración a palagonita y clorita; algunos basaltos tienen textura fluidal. Las rocas macroscópicamente se caracterizan por la presencia de fenocristales tabulares de plagioclasa (hasta de 4 cm), de augita y ocasionalmente olivino serpentizado (menos del 1%), las amígdalas están rellenas por ceolitas, clorita, calcita, calcedonia y epidota.

En las lavas basálticas la plagioclasa varía entre 2-86%, es de composición labradorita, se presenta como fenocristales y microcristales en la matriz. Los fenocristales son euhedrales inequigranulares con maclas de Carlsbad, albita y albita-Carlsbad, con relieve mayor al del bálsamo, presentan inclusiones de opacos y pasta con los bordes y contornos corroídos por la matriz, se altera a saussurita que empolva los bordes de los cristales. Los microcristales son anhedrales y mal desarrollados, localmente forman aglomeraciones radiales y tienen orientación fluidal. En las andesitas el porcentaje de plagioclasa varía entre 11 y 91%, con inclusiones de biotita y opacos, la composición es andesina.

El clinopiroxeno (5-35%) es augita, se encuentra en fenocristales euhedrales a subhedrales y en microcristales en la matriz. Los fenocristales son de color verde pálido a pardo amarillento con pleocroísmo a verde oliva, tienen los bordes corroídos por la matriz, el ángulo de extinción varía entre 36 - 42°, Biaxial (+) con 2V moderado, con inclusiones de opacos, apatito y bordes de reacción con la matriz. También como microlitos tabulares en la matriz. En las andesitas el contenido de clinopiroxeno varía entre 1-14% repartido entre matriz y fenocristales, su composición es augita-augita diopsídica(?), parte de los cristales presentan anfíbol asociado como agregados de hábito fibroso producto de la uralitización.

La hornblenda puede o no encontrarse en las rocas, ocasionalmente se presenta en las andesitas porfídicas, en cristales anhedrales con bordes irregulares de color verde pálido a amarillo pálido con pleocroísmo débil, colores de birrefringencia entre amarillo del primer orden y azul del segundo orden, el ángulo de extinción es de 15° a 25°.

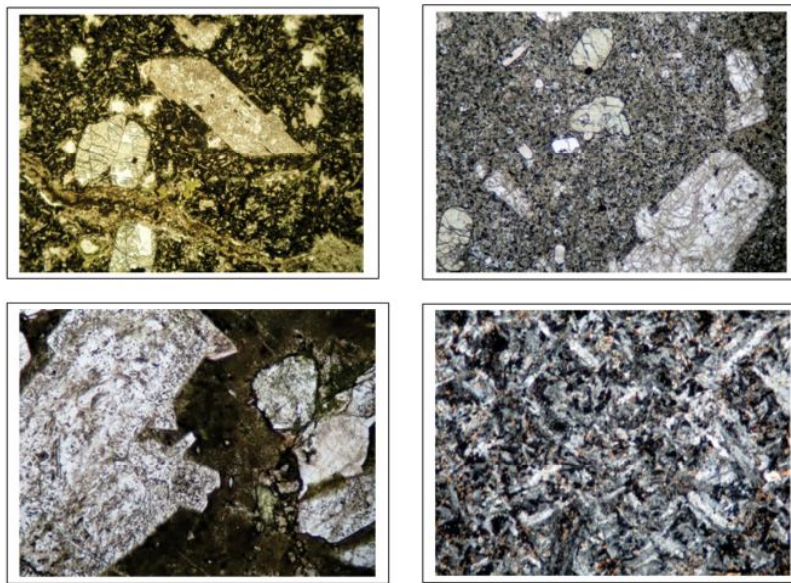


Figura 2. Microfotografías del aspecto composicional y textural del Basalto de El Botón, fenocristales de plagioclasa y augita en una matriz vítrea a hialocristalina microlítica.

La biotita es un mineral ocasional, secundario, se presenta en las andesitas en cantidades menores al 8%, se observa en láminas finas anhedrales asociadas a la matriz o en agregados relacionados a minerales opacos, formada por alteración hidrotermal o efectos de metamorfismo de contacto, de color pardo oscuro a pardo amarillo.

La matriz de los basaltos (hasta 95%), está formada por vidrio y microcristales puede ser microcristalina, hialocristalina o vítrea, de color pardo rojiza a gris oscura en la cual flotan los fenocristales. El vidrio volcánico es de relieve moderado, se altera a palagonita; engloba microcristales de plagioclasa, piroxeno y opacos. El porcentaje de matriz en las andesitas varía entre 6-70%, y está constituida por microlitos de plagioclasa, con abundante biotita parda, con textura traquítica, con opacos finos diseminados que a veces forman coronas en el contacto de fenocristales máficos con la matriz.

Algunos basaltos tienen hasta 30% de vesículas dispersas de forma ovoide a irregular, están rellenas por agregados de clorita que ocupan la parte central de la cavidad y el borde relleno de agregados de sílice microcristalina, mientras en otras el relleno es sílice empolvada y ocasionalmente cristales anhedrales de cuarzo y opacos, agregados de calcedonia esferulítica y/o vidrio alterado.

Asociados a los basaltos se encuentran tobas básicas líticas, de cristales y cristalo-líticas de espesor variable, con fragmentos líticos de basaltos y basaltos porfídicos de tamaño ceniza. Las tobas de cristales presentan hasta 30% de cristales rotos de plagioclasa y hasta 45% de clinopiroxenos, trazas de calcita y opacos, pasta vítrea devitrificada y vidrio en forma de esferulitas.

5. LITOGEOQUÍMICA DE LOS BASALTOS DE EL BOTÓN

Los resultados de litogeoquímica de rocas del Basalto de El Botón corresponden a 13 muestras de roca colectadas en la plancha 114 y analizadas en el laboratorio ActLabs de Canadá. Se grafica dos resultados tomados de Buchely et al. (2009), analizadas en el laboratorio GMAS de Bogotá. Se comparan estos resultados con datos del Complejo Santa Cecilia-La Equis tomados de Rodríguez et al. (2010b) para el área de Acandí analizados en ActLabs.

En la Tabla 2 se presentan los resultados de análisis para óxidos mayores del Basalto de El Botón, se observa que con el incremento de SiO₂ hay una disminución de Al₂O₃, FeO, MnO, MgO, CaO, TiO₂ y aumento de K₂O en la mayoría de las muestras.

Tabla 2. Composición química, óxidos mayores del Basalto de El Botón.

IGM	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃ (T)	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	TiO ₂	P ₂ O ₅	TOTAL
7103	51,5	15,9	9,97	0,15	5,12	10,6	2,49	1,03	0,67	0,25	100,2
7106	55,6	18,2	7,29	0,1	2,8	6,71	3,56	1,75	0,65	0,25	100,6
700001	47,1	11,8	11,4	0,18	10,2	11,5	1,59	1,85	0,62	0,42	98,76
706401	50	16,8	8,89	0,18	4,13	7,01	3,34	4,48	0,62	0,68	100,2
706402	53	18,3	6,25	0,13	2,43	3,98	4,44	5,66	0,53	0,64	99,62
706403	48,7	20	6,85	0,18	2,24	7,13	4,25	2,8	0,48	0,56	99,99
706404	48,5	17,2	9,26	0,24	4,75	7,9	4,31	2,2	1,09	1,04	99,98
706405	50,2	16,3	10,9	0,23	4,63	9,04	3,26	2,82	0,86	0,5	99,7
706406	51	16	9,18	0,2	3,09	8,93	2,48	3,09	0,85	0,46	98,4
706407	50	14	11,7	0,17	5,42	9,31	3,79	1,74	0,98	0,57	100,6
706408	51,9	16,2	10,1	0,15	3,69	7,79	2,9	4,3	0,92	0,66	99,88
706413	46,9	16,1	12,2	0,18	6,76	9,46	1,91	1,3	1,06	0,22	
706466	48,3	14,7	10,5	0,19	5,44	9,66	5,38	0,78	0,88	0,81	
706486	49,9	15,2	11,5	0,15	5,38	9,36	3,33	1,77	0,68	0,36	
706781*	60	15,3	6,16	0,08	2,97	5,54	5,29	2,06	0,9	0,47	99,75
706917*	48,9	16,9	9,85	0,18	5,27	9,79	2,98	0,51	0,67	0,2	100,1

* Muestras del contrato 390 de 2007

En el Diagrama TAS (Le Bas et al., 1986) las muestras del Basalto de El Botón se localizan dentro del campo de los basaltos, traquibasaltos y traquiandesitas basálticas, la mayoría están en el campo de las series alcalinas básicas, algunas rocas caen en las series subalcalinas, con contenido mayor de álcalis (Na₂O+K₂O) que las rocas del Complejo Santa Cecilia-La Equis y los intrusivos porfídicos subvolcánicos asociados, que corresponden a la serie subalcalina y se reparten en los campos de los basaltos, andesitas basálticas, andesitas y dacitas.

En el diagrama TAS se localizan en la serie de rocas alcalinas las muestras 706401, 706402, 706403, 706406, 706408, 706436, en el límite entre alcalinas y subalcalinas la muestra 706407 y como rocas subalcalinas 7103, 7106, 700001 y 706413 localizadas en los bordes del cuerpo y cercanas a zonas de falla (Figura 3).

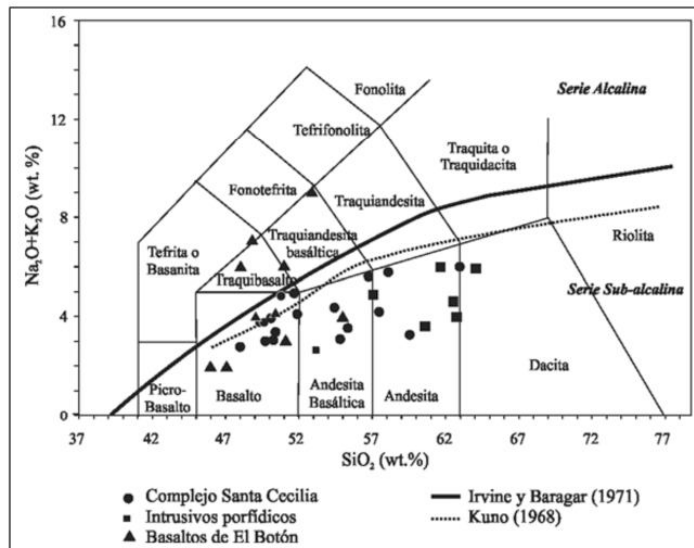


Figura 3. Diagrama TAS- concentración de álcalis total Vs SiO₂ (Le Bas et al., 1986) para las rocas del Basalto de el Botón.

Según el contenido de MgO, FeO_(t) y álcalis (Diagrama AFM de Irvine & Baragar, 1971), el Basalto de El Botón y las rocas del Complejo Santa Cecilia–La Equis y los intrusivos porfídicos subvolcánicos asociados presentan carácter calcoalcalino, exceptuando las muestras 7106 y 706413 de El Botón que se ubican en el campo de las toleítas, estas dos muestras tienen la plagioclasa alterada a sericita y calcita por procesos hidrotermales, lo que altera la composición de la roca; son altas en FeO y MgO, y bajas en sodio y potasio; en general muestran una evolución normal calcoalcalina (Figura 4).

En el diagrama de Peccerillo & Taylor, 1976 (Figura 5) se grafican las muestras del Complejo Santa Cecilia–La Equis, los intrusivos porfídicos subvolcánicos asociados a éste y las rocas del Basalto de El Botón, se presentan importantes diferencias entre ambos arcos volcánicos: el Basalto de El Botón es ligeramente más básico, se reparte en la serie de las shoshonitas con alto contenido de K₂O, y las rocas más básicas son afines con la series shoshoníticas y las series con contenidos medios en potasio, mientras las rocas del Complejo Santa Cecilia–Equis y los cuerpos hipoabisales asociados corresponden a series bajas a medias en potasio.

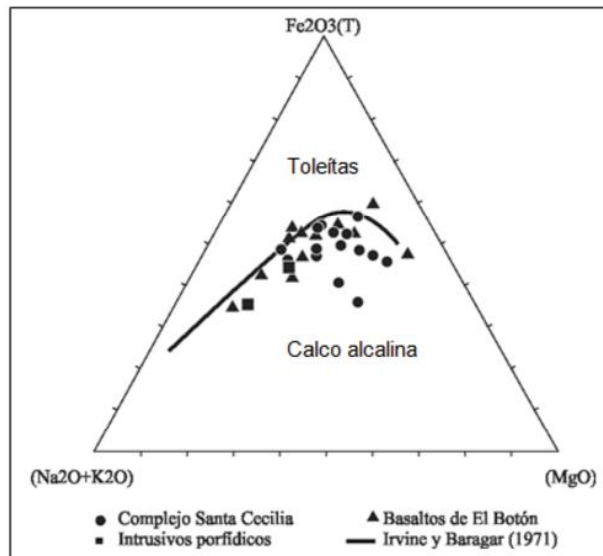


Figura 4. Diagrama AFM según Irvine y Baragar (1971) para rocas del Basalto de El Botón y el Complejo Santa Cecilia – La Equis.

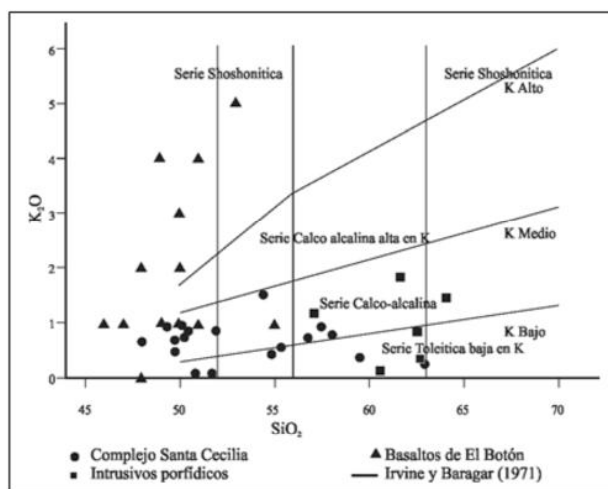


Figura 5. Diagrama K₂O Vs SiO₂ (Peccerillo & Taylor, 1976) para Basaltos del Botón.

Según Restrepo et al. (1979) el alto contenido de K en algunas muestras del Basalto de El Botón indicaría que la matriz está constituida parcialmente por feldespato potásico o vidrio rico en potasio y en conjunto corresponden a rocas básicas alcalinas, ellos destacan la similitud en el contenido muy alto de K₂O para las muestras del Basalto de El Botón con rocas colectadas en la carretera Ciudad Bolívar–Quibdó a 130 km al sur de Dabeiba y una latita olivínica reportada por Pichler et al. (1974) en San José del Palmar, localizado 200 km al sur de Dabeiba; plantean la posibilidad de que pertenezcan a un volcanismo Cenozoico tardío e insinúan una faja de rocas básicas alcalinas de edades recientes en el flanco oriental de la Cordillera Occidental.

En la Tabla 3 se presentan los valores de las tierras raras para las rocas del Basalto de El Botón. Los diagramas multielementales de tierras raras normalizadas a condritos se hicieron según Nakamura (1974) estableciendo los elementos en orden de incompatibilidad decreciente (Figura 6) y muestran un empobrecimiento de las REE pesadas con relación a las REE livianas y pendiente negativa.

Tabla 3. Elementos de las tierras raras y elementos traza de los Basaltos de El Botón

IGM	Sc	Be	V	Cr	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Ag	In	Sn	Sb	Cs
706404	16	2	402	< 20	26	< 20	240	130	19	1,4	< 5	21	1572	24,4	98	6,4	< 2	< 0,5	< 0,1	< 1	< 0,2	7,5
706405	29	2	296	40	30	< 20	140	110	17	1,6	< 5	75	904	23	70	3,5	< 2	< 0,5	< 0,1	< 1	< 0,2	0,9
706406	27	2	250	< 20	23	< 20	70	90	16	1,9	< 5	74	843	21,8	72	4,1	< 2	< 0,5	< 0,1	< 1	0,9	0,6
706407	36	2	361	50	33	< 20	50	100	15	1,2	< 5	33	914	21,9	69	3,1	< 2	< 0,5	< 0,1	< 1	< 0,2	0,2
706408	23	2	288	< 20	26	< 20	40	120	19	1,3	< 5	92	1153	24,9	81	4,6	2	< 0,5	< 0,1	< 1	< 0,2	0,4
706466	29	2	419	20	34	< 20	40	120	17	1,5	< 5	29	1422	18,1	76	4,9	< 2	< 0,5	< 0,1	1	1,1	1,1
706401	19	2	236	40	22	< 20	230	110	15	1,4	< 5	84	1116	15,8	70	2,8	2	< 0,5	< 0,1	< 1	2,4	1,6
706402	8	3	173	< 20	13	< 20	250	90	15	1,2	< 5	98	1415	12,8	90	5,2	< 2	< 0,5	< 0,1	< 1	2,8	1,9
706403	8	2	141	< 20	15	< 20	120	90	18	1,1	< 5	56	1361	16,2	58	2,6	2	< 0,5	< 0,1	< 1	0,7	1,4
700001	45	2	296	280	37	50	140	80	12	1,5	< 5	32	531	12,1	37	1,3	< 2	< 0,5	< 0,1	< 1	< 0,2	0,3
706413	39	1	395	110	35	< 20	130	100	16	1,5	< 5	27	455	19,5	37	1,9	< 2	< 0,5	< 0,1	< 1	< 0,2	0,3
706486	31	1	320		31,7	21	82,9	48	15,4		0,7	22,8	639	14,6	39,3	1,7	0,8	< 0,1		< 1	< 0,1	0,2
706781	11	1	164	0,021	17,7	< 20	76,5	76	25,4		0,6	24	1227	8,2	109	8,2	3,3	0,2		< 1	0,2	0,3
706917	34	1	305	0,006	29,2	23	159,6	18	17,6		< 0,5	5,9	456	21	81,5	1,2	1,0	< 0,1		< 1	< 0,1	< 0,1
7103	33	1	268	60	26	< 20	120	80	17	1,1	< 5	16	433	15,4	40	1,3	35	< 0,5	< 0,1	< 1	< 0,2	0,1
7106	22	1	251	30	17	< 20	250	290	21	0,7	265	31	519	24,6	121	2,1	> 100	0,7	< 0,1	1	< 0,2	0,3

IGM	Ba	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	Hf	Ta	W	Tl	Pb	Bi	Th	U
706404	1431	33,2	65,2	8,8	33,4	7,23	2,27	7,03	1	5,06	0,84	2,27	0,32	1,87	0,28	2,9	0,4	< 0,5	< 0,05	7	< 0,1	3,53	1,37
706405	427	13	26,2	3,51	14,5	3,75	1,34	4,51	0,76	4,29	0,81	2,36	0,34	2,16	0,34	2,1	0,21	< 0,5	0,14	< 5	< 0,1	1,33	0,77
706406	692	12,1	24,6	3,31	13,5	3,43	1,19	4,1	0,72	4	0,77	2,21	0,33	2,13	0,33	2,1	0,25	< 0,5	0,12	< 5	< 0,1	1,41	0,65
706407	494	12,2	25,2	3,53	14,8	3,88	1,3	4,27	0,73	4,13	0,76	2,18	0,31	1,97	0,31	2	0,23	< 0,5	< 0,05	< 5	< 0,1	1,22	0,49
706408	1303	15,7	30,6	4,32	17,7	4,28	1,46	5,21	0,85	4,58	0,84	2,46	0,36	2,25	0,34	2,4	0,32	< 0,5	0,15	5	< 0,1	1,38	0,78
706466	823	20,6	39,2	5,11	19,2	4,37	1,38	4,04	0,64	3,35	0,59	1,65	0,24	1,49	0,22	2,1	0,3	0,5	< 0,05	7	< 0,1	3,24	1,5
706401	1105	17,6	29,5	3,6	14,7	3,41	1,21	2,97	0,48	2,67	0,53	1,52	0,23	1,52	0,22	1,8	0,18	< 0,5	0,06	6	< 0,1	2,08	1,23
706402	1824	24,6	36,8	4,1	14,9	2,91	1	2,27	0,37	2,17	0,42	1,25	0,19	1,24	0,19	2	0,33	< 0,5	0,08	9	< 0,1	3,69	1,69
706403	686	15,4	29,1	3,88	14,5	3,21	1,18	3,65	0,54	2,99	0,56	1,62	0,25	1,56	0,24	1,7	0,14	< 0,5	0,07	5	< 0,1	1,85	0,93
700001	506	8,11	14,5	1,84	8,18	2,13	0,83	2,14	0,36	2,13	0,42	1,2	0,18	1,11	0,17	1,1	0,08	< 0,5	< 0,05	< 5	< 0,1	0,84	0,4
706413	1177	7,86	16,3	2,27	10,7	2,75	0,97	3,45	0,61	3,62	0,7	2,03	0,3	1,86	0,29	1,3	0,1	< 0,5	0,11	< 5	< 0,1	1,1	0,61
706486	595	7,4	14,6	2,27	11,2	2,46	0,82	2,77	0,46	2,51	0,5	1,49	0,23	1,38	0,21	1,4	0,1	< 0,5	< 0,1	1,6	< 0,1	0,9	0,4

IGM	Ba	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	Hf	Ta	W	Tl	Pb	Bi	Th	U
706781	1002	19	38,4	5,38	23	4,02	1,1	2,88	0,38	1,8	0,29	0,7	0,12	0,64	0,09	3,7	0,4	<0,5	<0,1	0,4	<0,1	2,5	1,5
706917	322	12,1	26,7	4,27	20,2	4,19	1,14	4,1	0,64	3,23	0,72	2,06	0,34	1,96	0,31	2,7	<0,1	1,2	<0,1	1,8	<0,1	2,5	0,5
7103	339	6,79	14	2,1	8,92	2,39	0,87	2,65	0,43	2,42	0,49	1,48	0,22	1,43	0,22	1,1	0,02	<0,5	<0,05	<5	<0,1	0,75	0,3
7106	534	16,9	36,5	5,34	22,2	5,13	1,43	4,8	0,77	4	0,8	2,37	0,37	2,37	0,36	3,3	0,04	<0,5	0,22	114	0,3	3,17	1,3

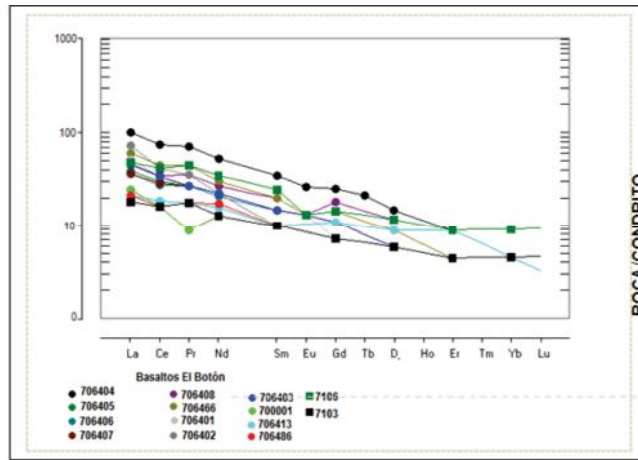


Figura 6. Diagrama de tierras raras (REE), normalizado respecto al condrito (Nakamura 1974) para las rocas del Basalto de El Botón. El diagrama de discriminación geoquímica y ambiente tectónico (Wood, 1980) se basa en la relación de Th, Hf, Ta, las rocas del Basalto de El Botón están en el campo de basaltos de arco volcánico y muestran un mayor contenido de Ta que las muestras del Complejo Santa Cecilia–La Equis (Figura 7).

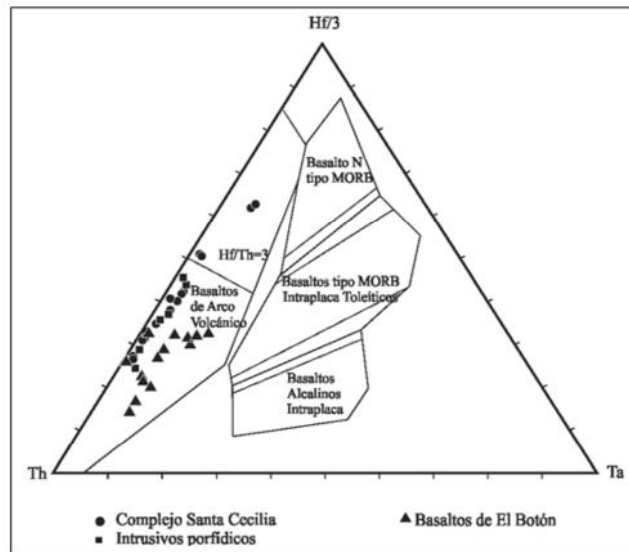


Figura 7. Diagrama de discriminación geoquímica y ambiente tectónico (Wood, 1980) para los Basaltos de El Botón y el Complejo Santa Cecilia – La Equis

6. CUERPOS INTRUSIVOS ASOCIADOS AL ARCO DE EL BOTÓN

Los cuerpos intrusivos que se asocian al arco de El Botón concuerdan con los basaltos y andesitas en el marco tectónico, afinidad geoquímica y edad, corresponden a la monzonita de Nudillales, monzodiorita de Carauta y cuarzodiorita del Valle de Pérdidas (Figura 8).

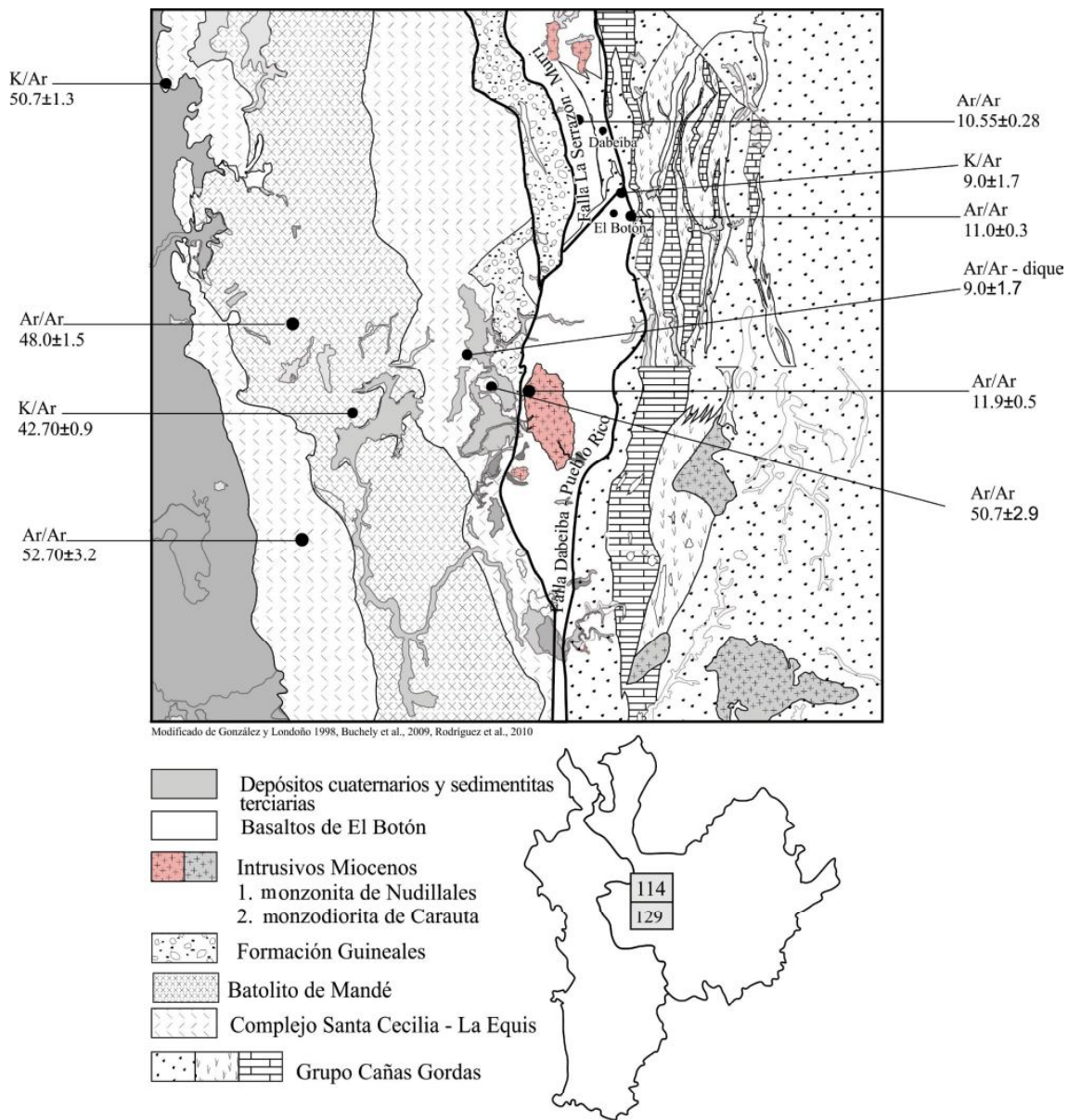


Figura 8. Plutones asociados al Arco Volcánico de El Botón: 1) monzonita de Nudillales, 2) monzodiorita de Carauta, Localización de dataciones Ar/Ar paso a paso y K/Ar relacionadas al Arco Volcánico Mioceno (Basalto de El Botón y plutones asociados) (Fuente dataciones K/Ar Restrepo et al, 1979; Sillitoe et al, 1982)

6.1. La monzonita de Nudillales (Mejía & Salazar 1989, González y Londoño 1998, Rodríguez et al., 2010a) está constituida por rocas de composición monzonítica, con dioritas subordinadas. Macroscópicamente es una roca fanerítica de grano medio y textura inequigranular constituida por ortoclasa (25% a 32%), plagioclasa de tipo andesina (35% a 42%), clinopiroxeno (hasta 22%), hornblenda y biotita (hasta un 23%), como accesorios se encuentra esfena, circón, apatito y minerales opacos, puede estar presente cuarzo (<4%). La clasificación geoquímica de las rocas de la monzonita de Nudillales en el diagrama de Cox et al. (1979) corresponden a los campos de sienodioritas y gabros.

6.2. La monzodiorita de Carauta inicialmente considerada como apófisis del Batolito de Mandé (González y Londoño, 2002), fue posteriormente descrita por Buchely et al. (2009); es un cuerpo intrusivo de composición monzodiorítica con variaciones a monzonita–cuarzomonzonita, constituido por plagioclasa, ortoclasa, clinopiroxeno, hornblenda y biotita como minerales principales. Los minerales accesorios son esfena, apatito y opacos, principalmente magnetita

y pirita. Geoquímicamente corresponden a sienita y diorita-sienita, con alto contenido en potasio, con 21-58,4% de feldespato alcalino y disminución en el contenido de cuarzo. Se ubican en el campo de la serie shoshonítica, que según algunos autores, como Brooks et al., 1982 (en Buchely et al. 2009), cuando presenta altos valores de Sr, Rb, K_2O y La (Tabla 4), alta relación $(La/Yb)_n$ (5,26 a 10,92) y perfiles de REE (elemento de las tierras raras) planos o cóncavos, sugieren series de andesita de alto-K, dacita y riolita, formadas en ambientes tectónicos convergentes, en las fases finales del magmatismo de arco.

6.3. La cuarzodiorita del valle de Pérdidas (Buchely et al., 2009). Es un cuerpo intrusivo de composición cuarzodiorítica - monzodiorítica con variaciones a andesitas, las rocas tienen textura hipidiomórfica inequigranular a porfídica traquitoide, los minerales principales son plagioclasa y hornblenda, en menor porcentaje cuarzo, feldespato alcalino y biotita

Las unidades monzonita de Nudillales, monzodiorita de Carauta y Cuarzodiorita del Valle de Pérdidas se diferencian de los batolitos de Mandé y Acandí por los contenidos altos de feldespato potásico y clinopiroxeno, y bajos de cuarzo, se presentan intruyendo el Basalto de El Botón y forman aureola con desarrollo de cornubianitas en facies albíta-epidota y hornblenda cornubianita en los bordes del contacto. En la Figura 9 se compara la clasificación modal de las rocas plutónicas de ambos arcos (Batolitos de Mandé y Acandí y los cuerpos intrusivos de Nudillales, Carauta y Valle de Pérdidas), de este gráfico se concluye que las rocas plutónicas asociadas al arco volcánico plutónico de Santa Cecilia – La Equis – Batolito de Mandé están constituidos principalmente por tonalitas y cuarzodioritas con subordinadas facies cuarzomonzodioríticas y granodioríticas, mientras los plutones asociados al Arco de El Botón son cuerpos pequeños (stocks) de composición monzodiorítica a monzonítica.

Sin entrar en detalles en el comportamiento geoquímico de los plutones asociados al Arco de El Botón se traen algunos gráficos que lo diferencian del arco volcánico- plutónico de Santa Cecilia – La Equis – Batolito de Mandé (figuras 9, 10, 11), como es el carácter shoshonítico y la afinidad de los plutones a ambientes de arco volcánico.

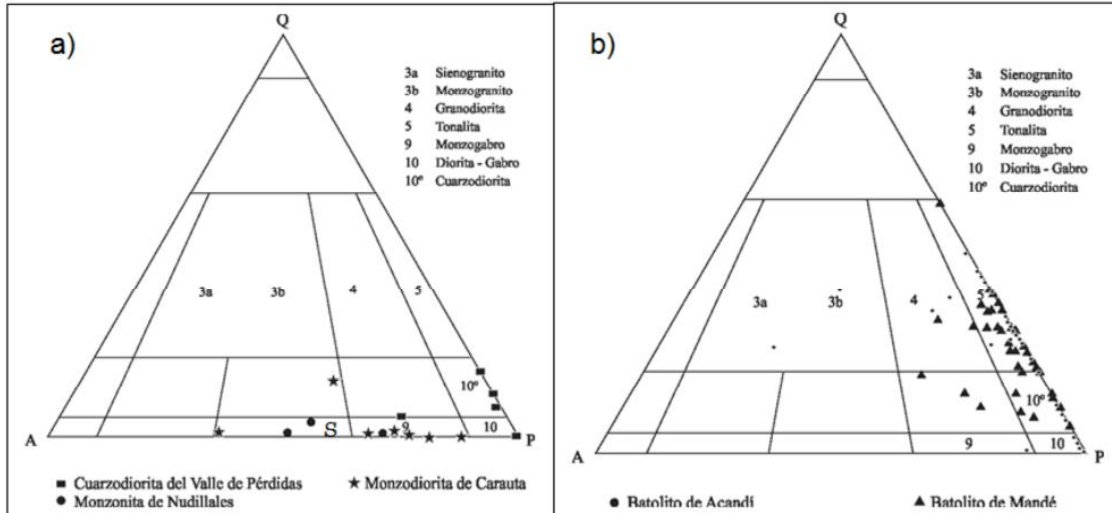


Figura 9. Clasificación modal de los plutones asociados al Arco de El Botón: a) monzonita de Nudillales, monzodiorita de Carauta y cuarzodiorita del Valle de Pérdidas) y b) cuerpos plutónicos del arco volcánico-plutónico de Santa Cecilia – La Equis – Batolito de Mandé.

En el diagrama de Peccerillo & Taylor, 1976 (Figura 10a) las rocas plutónicas del Arco de El Botón son de composición alcalina intermedia y se acomodan en el campo de la serie de rocas shoshoníticas con notorio incremento de Na_2O y K_2O hacia las fases ricas en SiO_2 . Se compara con rocas del Batolito de Mandé localizadas en la Plancha 114 (Rodríguez et al., 2010a), que caen en el campo de las series subalcalinas intermedias en potasio (Figura 10b).

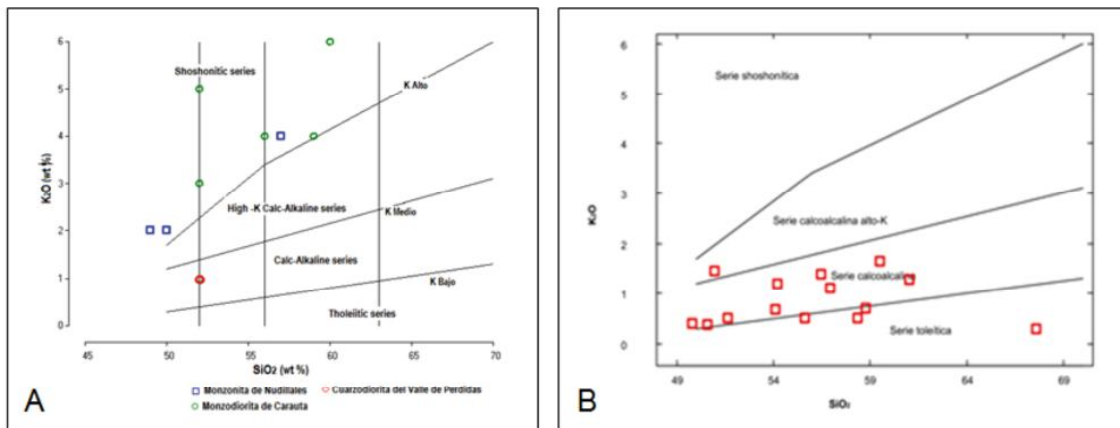


Figura 10. Diagrama K_2O Vs SiO_2 (Peccerilo & Taylor, 1971) A. para las rocas plutónicas asociadas al Basalto de El Botón. B. Batolito de Mandé en la Plancha 114 (Tomado de Rodríguez et al., 2010a).

La monzonita de Nudillales presenta una relación de $(La/Yb)_n$ entre 4,09 – 9,92 con valores enriquecidos hasta 100 veces los valores del condrito y con patrones de rocas formadas en zonas de arcos magmáticos (Rodríguez et al., 2010a), este comportamiento es similar en las rocas de la monzodiorita de Carauta.

En la Figura 11, diagrama Nb-Y de discriminación geoquímica y ambiente tectónico (Pearce et al., 1984), las rocas plutónicas asociadas al Basalto de El Botón se sitúan en el campo de Granitos de arco volcánico sincolisionales, concordando con el ambiente tectónico de arco volcánico del Basalto de El Botón.

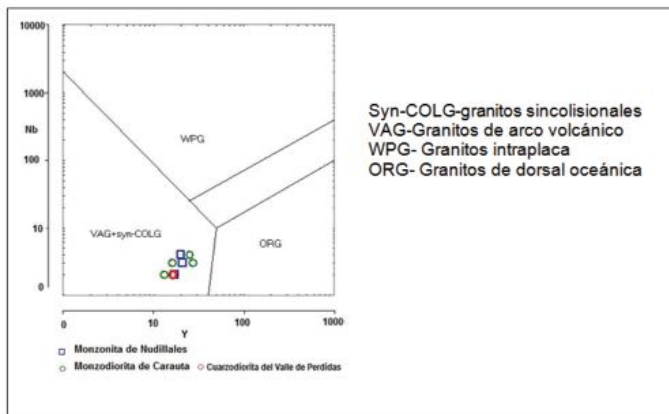


Figura 11. Diagrama Nb-Y de discriminación geoquímica y ambiente tectónico (Pearce et al., 1984) para las rocas plutónicas asociadas al Basalto de El Botón.

7. ORIGEN Y EDAD

En el marco del Proyecto Cordillera Occidental del INGEOMINAS, se realizaron análisis radiométricos para determinar la edad de algunas rocas del Basalto de El Botón y la monzodiorita de Carauta, las edades obtenidas se presentan en la Tabla 4, el espectro de edad en la Figura 12 y la ubicación en la Figura 8.

Estas edades reflejan un magmatismo alcalino shoshonítico que se originó en el Mioceno Superior (Tortoniano), correspondiente a un arco volcánico con sus facies efusivas e intrusivas formadas entre 9 y 12 M.a. El contacto entre el Basalto de El Botón y las rocas plutónicas asociadas es intrusivo.

Tabla 4. Edades radiométricas del Basalto de El Botón y la Monzodiorita de Carauta

IGM	X	Y	UNIDAD	METODO	TFA	WMPA	Ca/K
706762	1080331	1237031	Monzodiorita de Carauta	Ar/Ar en Bt	11.9±0.5		
706781	1073398	1241262	Roca de dique	Ar/Ar en Pl-Cpx	9.0±1.7		
706402	1091777	1256667	Basaltos de El Botón	Ar/Ar roca total	11.0±0.2	11±0,3	0,45-1,41
706406	1085888	1267521	Basaltos de El Botón	Ar/Ar roca total	10.55±0.28	10,55±0,28	1,94-5,89

TFA- Edad de fusión total - WMPA- Edad Platou promedio.

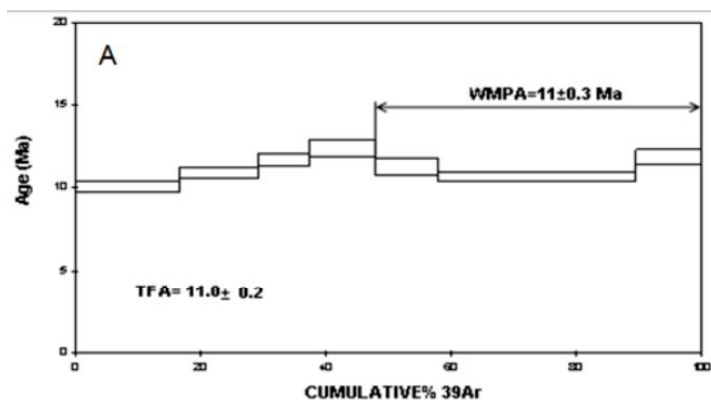
Restrepo et al. (1991) reconsideraron las edades de algunas rocas básicas de la Cordillera Occidental datadas por K/Ar en roca total: el Basalto de El Botón presentó una edad de $9,3 \pm 0,8$. En la zona de la Mina La Equis se reanalizó una muestra de andesita columnar con un resultado de $10,4 \pm 2,9$ Ma, similar a la del Basalto de El Botón, Restrepo et al, 1979 plantean la existencia de dos periodos de vulcanismo, uno de edad eocena asociado a la intrusión del Batolito de Mandé y otro neógeno relacionado con la acreción del Terreno Cuna.

En trabajos anteriores la monzodiorita de Carauta se consideraba como un apófisis del Batolito de Mandé, pero la nueva edad, congruente con la edad del Botón, su ubicación tectónica y afinidad química, lo desligan del Batolito de Mandé. Buchely et al. (2009), lo correlacionan con cuerpos intrusivos denominados Monzodiorita del Cerro Frontino, diorita del Río San Juan, monzonita del Páramo de Frontino y monzodiorita de La Horqueta (Álvarez y González, 1978), de los cuales la Monzonita del Páramo de Frontino presenta una edad de 11 Ma K/Ar en biotita. Por la posición geográfica, las composiciones litológicas parecen indicar una misma fuente de origen, durante un mismo ciclo de actividad magmática.

Para la monzonita de Nudillales, González y Londoño (1998) reportan una edad por el método K-Ar en roca total de 41 ± 3 Ma. La petrografía fue revisada por Rodríguez et al (2010a), quienes renombraron la unidad. El comportamiento geoquímico del plutón, la composición modal, las relaciones intrusivas con el Basalto de El Botón y su posición estructural concordante con el Arco de El Botón son razones para considerar que esta edad parece no corresponder a una muestra colectada en esa unidad, de acuerdo a las características petrográficas descritas por estos autores.

La muestra IGM-706402 se analizó por Ar/Ar roca total, dio un espectro de edad con un plateau con tres pasos de alta temperatura, caracterizado por 52.1% de ^{39}Ar , con edad de 11.0 ± 0.3 Ma. Con una isócrona inversa de tendencia lineal, que se caracteriza por el valor de edad de $10,3 \pm 1,3$ Ma, MSWD = 2,4.

La muestra IGM-706406 se analizó por Ar/Ar en roca total, dio un espectro de edad con un plateau de cinco pasos caracterizado por 61,2% de ^{39}Ar , con edad de $10,55 \pm 0,28$ Ma. Con una isócrona inversa de tendencia lineal, que se caracteriza por el valor de edad de $11,53 \pm 0,96$ Ma, MSWD = 0,28.



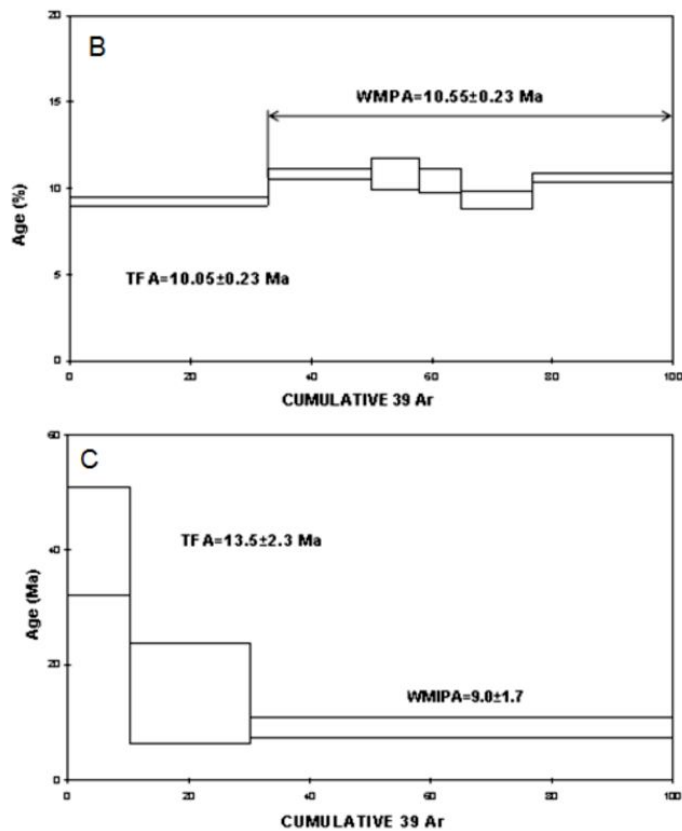


Figura 12. Espectro de edad de muestras del Basalto de El Botón A) IGM-706402, B) IGM-706406 y C) 706781.

La muestra IGM-706781 se analizó por Ar/Ar en hornblenda, dio un espectro de edad de tres pasos (bajo contenido de Ar), con último paso se caracteriza por la más alta relación de Ca/K, con un valor (18), el 70% de ³⁹Ar y el valor de la edad de 9,0 ± 1,7 Ma. (Tomado de Buchely et al., 2007).

8. CONCLUSIONES.

La unidad Basalto de El Botón está constituida por basaltos porfídicos y amígdalares, andesitas y tobas subordinadas. Los cuerpos plutónicos asociados son de composición monzonítica, monzodiorítica y diorítica y se apartan composicionalmente de los batolitos de Mandé y Acandí que son tonalíticos a cuarzodioríticos principalmente.

El Arco volcánico constituido por el Basalto de El Botón y cuerpos intrusivos como la monzodiorita de Carauta, la cuarzodiorita de Valle de Pérdidas y la granodiorita de Nudillales, está limitado al oriente por la falla Dabeiba-Pueblo Rico y al occidente por la falla La Cerrazón-Murrí.

El Basalto de El Botón y plutones asociados tienen afinidad alcalina y son de la serie shoshonítica, se formaron en ambiente de arco volcánico. Se diferencian del arco de Santa Cecilia-La Equis y Batolito de Mandé en que éste es de afinidad subalcalina y de la serie baja a media en K y son más bajos en Ta.

En este trabajo se muestra la existencia de dos periodos de vulcanismo, tal como lo insinuaron Restrepo *et al* (1979), uno paleógeno asociado con la intrusión del Batolito de Mandé (Arco de Panamá) y otro Mioceno Superior asociado con plutones (stocks) de carácter shoshonítico como la Monzonita de Nudillales y la Monzodiorita de Carauta

Las edades obtenidas en rocas basálticas de El Botón y en los cuerpos intrusivos asociados indican que el arco se formó entre 9 Ma y 12 Ma, Mioceno Superior (Tortoniano)

AGRADECIMIENTOS

Se agradece al Instituto Colombiano de Geología y Minería INGEOMINAS poseedor de la información utilizada en este trabajo, a la geóloga María Isabel Arango por su colaboración en la elaboración de los diagramas.

BIBLIOGRAFÍA

- Álvarez, E. & Gonzalez, H., 1978. Geología y geoquímica del Cuadrángulo I-7 (Urroa). Ingeominas. Informe 1761. Medellín. 347 P.
- Buchely, F., Parra, E., Castillo, H., González, F., Dávila, C., & Romero, O., 2009. Realización de la cartografía geológica y muestreo geoquímico en las planchas 144, 145, 128, 129, 113 y 114 (1580 km). Contrato No. 390 de 2007 INGEOMINAS-GRP Ltda. Bogotá. 172 P.
- Cox, K.G., Bell, J.D., Pankhurst, R.J., 1979. The interpretation of igneous rocks. Georgan Allen and Unwin, London.
- González, H.; Londoño, A. 1998. Edades K/Ar en algunos plutones del Graben del Cauca y norte de la Cordillera Occidental. U. Nal., Rev. Geol. Col., 23: pp. 117-131. Santa Fe de Bogotá.
- González, H. & Londoño, A.C., 2002. Catálogo de las unidades litoestratigráficas de Colombia, Granodiorita de Nudillales, Cordillera Occidental, departamento de Antioquia. INGEOMINAS. Bogotá. 12 P.
- Irvine, T.N., and Baragar, W., R.A., 1971. A guide to the chemical classification of the common volcanic rock. Canadian Journal of Earth Sci., Vol. 8, pp. 523-548.
- Le Bas, M.I., Le Maitre R.W., Streckeisen, A. & Zanetin, B., 1986. A chemical classification of volcanic rocks based on the total alkali-silica diagram. Journal of Petrology, v. 27 part 3, pp. 745-750.
- Maya, M., González, H., 1995. Unidades litodémicas en la Cordillera Central de Colombia, Bol. Geol. INGEOMINAS, Vol. 35, N°2,3, pp.43-57.
- Mejia, M.; Salazar, G. 1989 (publicado 2007). Memoria explicativa de la Geología de la Plancha 114 (Dabeiba) y parte W de la 115 (Toledo). Escala 1:100.000. INGEOMINAS. 111 P. Medellín.
- Nakamura, N. 1974., Determination of REE, Ba, Fe, Mg, Na and K in carbonaceous and ordinary chondrites. Geochimica and Cosmochimica Acta, Vol. 38, pp. 757-775.
- Pearce, J.A., HARRIS, N.B.W. & TINDLE, A.G., 1984. Trace element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitic rocks. Jour. Petrology, 25: pp. 956-983.
- Pecerillo, A. & Taylor, S.R., 1976. Geochemistry of Eocene calc-alkaline volcanic rocks from Kastamonir area, Northern Turkey. Contributions to Mineralogy and Petrology, Vol. 58, pp. 63-81.
- Restrepo, J. J.; Toussaint, J. F.; Zuluaga, J.; hoyos, P. 1979. Algunas consideraciones sobre la geología de la parte septentrional de la Cordillera Occidental. U.Nal., Publ. Esp. Geol., 20:pp. 1-26. Medellín.
- Restrepo, J., Toussaint, J., gonzález, H.; cordani, U.; et al., 1991. Precisiones Geocronológicas sobre el Occidente Colombiano. Simposio Magmatismo Andino y su marco tectónico, Mem., pp. 1-21. Manizales.
- Rodríguez, G., Zapata, G. y Gómez, J.F., 2010a. Geología de la parte oriental de la Plancha 114 Dabeiba. INGEOMINAS. Medellín. 172 P.
- Rodríguez, G., Sierra, M.I., Zapata, G., et al., 2010b. Geología de las planchas 58 Capurganá, 68 Acandí y 79 bis Cerro Tagarí. INGEOMINAS. Medellín. 245 P.

Sillitoe, R., Jaramillo, L., Damon, P. E., et al., 1982. Setting characteristics and age of the Andean Porphyry Copper Belt in Colombia. *Economic Geology*, 77: pp. 1837-1850, London.

Wood, D.A., 1980. The application of Th-Hf-Ta diagram to problems of tectonomagmatic classification and establishing the nature of crystal contamination of basaltic lavas of the British Tertiary volcanic province. *Earth Planet. Sci. Lett.* 50, pp. 11-30. Amsterdam.

