

BATOLITO DE SABANALARGA, PLUTONISMO DE ARCO EN LA ZONA DE SUTURA ENTRE LAS CORTEZAS OCEÁNICA Y CONTINENTAL DE LOS ANDES DEL NORTE

THE SABANALARGA BATHOLITH, ARC PLUTONISM IN THE SUTURE ZONE BETWEEN CONTINENTAL AND OCEANIC CRUST IN THE NORTHERN ANDES

GABRIEL RODRÍGUEZ G.

Geólogo, Servicio Geológico Colombiano, grodriguez@ingominas.gov.co

MARÍA ISABEL ARANGO

Geóloga, Servicio Geológico Colombiano

JOSÉ GILBERTO BERMÚDEZ

Geólogo, Servicio Geológico Colombiano

Recibo para evaluación: 30 Octubre 2012/Aceptación: 15 Noviembre: 2012 / Recibida Versión Final: 29 Noviembre 2012

RESUMEN: El Batolito de Sabanalarga es a un cuerpo alargado de 410 Km² que se extiende entre las Cordilleras Central y Occidental de Colombia, intruye en el borde occidental la Formación Barroso y las Diabasas de San José de Urama y en el borde oriental las rocas metamórficas del Complejo Cajamarca. El Batolito de Sabanalarga está formado por al menos dos pulsos magmáticos: uno inicial representado por gabros y dioritas de afinidad subalcalina toleítica y un segundo pulso constituido por cuarzdioritas y tonalitas de afinidad subalcalina de la serie calcoalcalina baja en K. El magmatismo se generó en un ambiente localizado por encima de la zona de subducción, en un arco volcánico plutónico localizado en el borde de sutura entre la corteza continental y la corteza oceánica, afectando ambas cortezas. Hace parte del arco las rocas volcánicas de la Formación Barroso. La edad del Batolito y del arco en general, en concordancia con los datos radiométricos, las relaciones intrusivas y el registro fósil, ocurrió dentro del rango comprendido entre el Cenomaniano-Aptiano superior, localizándose el plutonismo en el rango de edad entre 83 M.a y 102 M.a. Magmatismo como el de la Diorita de Altavista, el Gabro de San Diego y el Batolito Antioqueño, es contemporáneo con el arco que generó el Batolito de Sabanalarga, pudiendo ser parte del mismo evento magmático.

PALABRAS CLAVE: Batolito de Sabanalarga, Cordillera Occidental, Cordillera Central, Colombia.

ABSTRACT: The Sabanalarga Batholith is a long shape body reaching 410 Km², located between the Central and Western cordilleras of Colombia. It intrudes rocks of the Barroso Formation and San Jose de Urama diabases along its western margin and rocks belonging to the Cajamarca complex towards the eastern side of the pluton. The Sabanalarga batholith is formed by at least two magmatic pulses. The first pulse is represented by gabbros and diorites with tholeiitic sub-alkaline affinity. The second pulse corresponds to cuarzdiorites and tonalites with sub-alkaline to calco-alkalyne low-K affinity. Magmatism is interpreted as being of supra-subduction environment, where the plutonic-volcanic arc is located right into the suture zone bonding and affecting both, continental and oceanic crust. The batholith is part of the volcanic arc of the Barroso Formation.

The age of the batholith and related arc, according to available radiometric data, intrusive character and fossil record, occurred between the Cenomanian-Upper Aptian range, constraining the plutonism in the age range between 83 Ma and 102 Ma.

The magmatic arc represented by the Sabanalarga batholith is contemporary with the Altavista diorite, San Diego Gabbro and Antioquian batholith and eventually belong to the same magmatic event.

KEY WORDS: Sabanalarga Batholith, Western cordillera, Central cordillera, Colombia.

1. INTRODUCCION

Trabajos de complementación geológica adelantados por INGEOMINAS en los proyectos Cauca - Romeral y Cordillera Occidental en el sector noroccidental del Departamento de Antioquia, permiten definir las

características petrográficas, litogeoquímicas y la edad del Batolito de Sabanalarga, hacer una interpretación de este plutón, su origen y la posición con respecto a la Falla Cauca - Almaguer, falla que ha sido considerada una estructura cortical que separa dos tipos de corteza: continental al oriente y oceánica al occidente;

interpretada en la mayoría de modelos como el límite de sutura a lo largo de la cual se acrecieron bloques de corteza oceánica a la margen del continente.

La presencia de rocas volcánicas al occidente del Batolito de Sabanalarga intruidas por este plutón y generadas en un arco volcánico (Formación Barroso), junto con diabasas y basaltos almohadillados de plateau oceánico (Diabasas de San José de Urama), y la intrusión al oriente de rocas de afinidad con corteza continental (Complejo Cajamarca), plantean un problema de nomenclatura estratigráfica dentro de la cartografía geológica del Segmento Norte de la Cordillera Occidental y el modelo geológico tradicional, problemas que serán tratados en el desarrollo del artículo.

2. MARCO GEOLÓGICO REGIONAL.

El Batolito de Sabanalarga aflora en el límite de las Cordilleras Central y Occidental, se localiza tanto en el borde occidental de la Cordillera Central como en el flanco oriental de la Cordillera Central en el Departamento de Antioquia, marca en este sector la sutura entre la corteza oceánica al occidente y la corteza continental al oriente. Aflora a lo largo del Sistema de Fallas de Romeral, junto a un mosaico de bloques tectónicos representados en la Cordillera Occidental por vulcanitas de arco correspondientes a la Formación Barroso (Álvarez y González (1978); Ramírez, (1976), Parra (1978), Rodríguez y Arango (2012 en imprenta), bloques tectónicos de chert-calizas, litoarenitas - lodolitas intercaladas con diabasas y lavas almohadilladas de plateau, que en conjunto corresponden a sedimentos turbidíticos intercalados tectónicamente con rocas volcánicas (Formación Penderisco (Álvarez y González, 1978) y Diabasas de San José de Urama (Mejía y Salazar, 1989; Rodríguez y Arango, 2012 en imprenta). Al oriente del Batolito de Sabanalarga, en el dominio de la corteza continental se presentan franjas de rocas metamórficas de los complejos Arquía y Cajamarca, junto a bloques de vulcanitas del Complejo Quebradagrande.

La Falla Cauca - Almaguer (Maya y González, 1995; Nivia, 1996) ha sido propuesta como límite entre la corteza oceánica al occidente y la corteza continental al oriente, sin embargo, en sectores aledaños a esta falla, se presenta una gran complejidad estructural caracterizada por la imbricación de escamas provenientes de los diferentes niveles corticales (Nivia, 1996), lo cual complica la separación cartográfica de las unidades litoestratigráficas,

situación que se suma a un conocimiento incompleto de las relaciones de contacto entre el Batolito de Sabanalarga y las rocas volcánicas del arco (Formación Barroso) y de plateau (Diabasas de San José de Urama) al occidente y metamórficas al oriente (complejos Cajamarca y Arquía). Las relaciones de contacto descritas (Hall et al., 1972, Parra, 1978; Mejía y Salazar, 1989; Rodríguez y Zapata, 1995, 1996; Geoestudios, 2005), tanto al occidente como al oriente corresponden a contactos intrusivos y posteriormente fallados, indicando que este plutón se introdujo a lo largo de la sutura entre las cortezas oceánica y continental, como insinúan Rodríguez et al (2012 en imprenta) y posteriormente los contactos sufrieron fallamiento.

Sin embargo, algunos autores (Nivia y Gómez, 2005; Flórez y Valencia, 2006; Weber et al., 2011) han planteado separar el plutón conocido como Batolito de Sabanalarga en dos unidades litológicas diferentes: Gabro de Santafé y Batolito de Sabanalarga (Nivia y Gómez, 2005), y/o Batolito de Santafé y Batolito de Sabanalarga (Weber, et al., 2011), utilizando como límite la Falla Cauca – Almaguer. Estos autores consideran una cristalización coetánea de los dos plutones pero relacionada a procesos magmáticos ocurridos en ambientes geotéctónicos espacialmente separados, posibilidad que es desvirtuada por la presencia del cuerpo de Granulitas de Pantanillo (Geoestudios, 2005, Rodríguez et al., en imprenta) al occidente de la Falla Cauca – Almaguer y a que el Batolito de Sabanalarga, como se mostrará, corresponde al componente plutónico del arco volcánico – plutónico de Sabanalarga – Barroso constituido por unidades como el Batolito de Sabanalarga, La Tonalita de Buriticá, el Gabro de Altamira y las vulcanitas de arco de la Formación Barroso en la Cordillera Occidental, todos con una impronta geoquímica de arco.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

Se escogieron muestras representativas del Batolito de Sabanalarga y de la Formación Barroso, que tenían secciones delgadas, utilizando la información de los trabajos geológicos anteriores realizados por INGEOMINAS. Se revisaron y reclasificaron 59 muestras del plutón, distribuidas en las planchas 130-Santafé de Antioquia, 146-Medellín Occidental, 104-Ituango y 115-Toledo; muestras que hacen parte de la cartografía geológica regional del INGEOMINAS, del Proyecto Cordillera Occidental y otras del Proyecto de

Complementación Geológica, Geoquímica y Geofísica de las Planchas 130-Santafé de Antioquia y 146-Medellín Occidental, desarrollado por la Empresa GEOESTUDIOS en el Terreno Cauca-Romeral.

Se seleccionaron 16 muestras para análisis litogeoquímico de roca total con límite de detección de 0,01 (100 g); análisis para elementos mayores por el método de ataque FUS-ICP (*Inductively Coupled Plasma – Optical Emission Spectrometry*), y los elementos traza por espectrometría de emisión con plasma ICP-MS (*Inductively Coupled Plasma – Mass Spectrometry*); análisis realizados por *Activation Laboratories Ltd* (ActLabs) en Canadá.

Los diagramas geoquímicos de elementos mayores utilizados permiten la clasificación de las rocas ígneas y la determinación de la serie a que pertenecen.

A una muestra de roca se le efectuó datación radiométrica por el método Ar/Ar paso a paso en biotita, en el laboratorio

ActLabs y se compilaron las edades radiométricas reportadas en trabajos anteriores.

4. DESCRIPCIÓN GEOLÓGICA

Descrito por Hall et al. (1972) como Plutón de Sabanalarga, y renombrado por González et al. (1978) como Batolito de Sabanalarga, corresponde a un cuerpo alargado que se extiende entre las Cordilleras Central y Occidental a lo largo del cañón del río Cauca, con un área aproximada de 410 Km², tiene una extensión de 30 a 35 Km y una amplitud variable entre 2 y 10 km (Figura 1). El cuerpo principal está afectado por la Falla de Sabanalarga, que en la parte norte lo limita al occidente con rocas volcánicas y piroclásticas de la Formación Barroso, en la parte central a la altura del Municipio de Sabanalarga la falla bisecta el cuerpo y al sur lo limita al oriente con rocas metamórficas de la Cordillera Central pertenecientes a los complejos Arquía y Cajamarca.

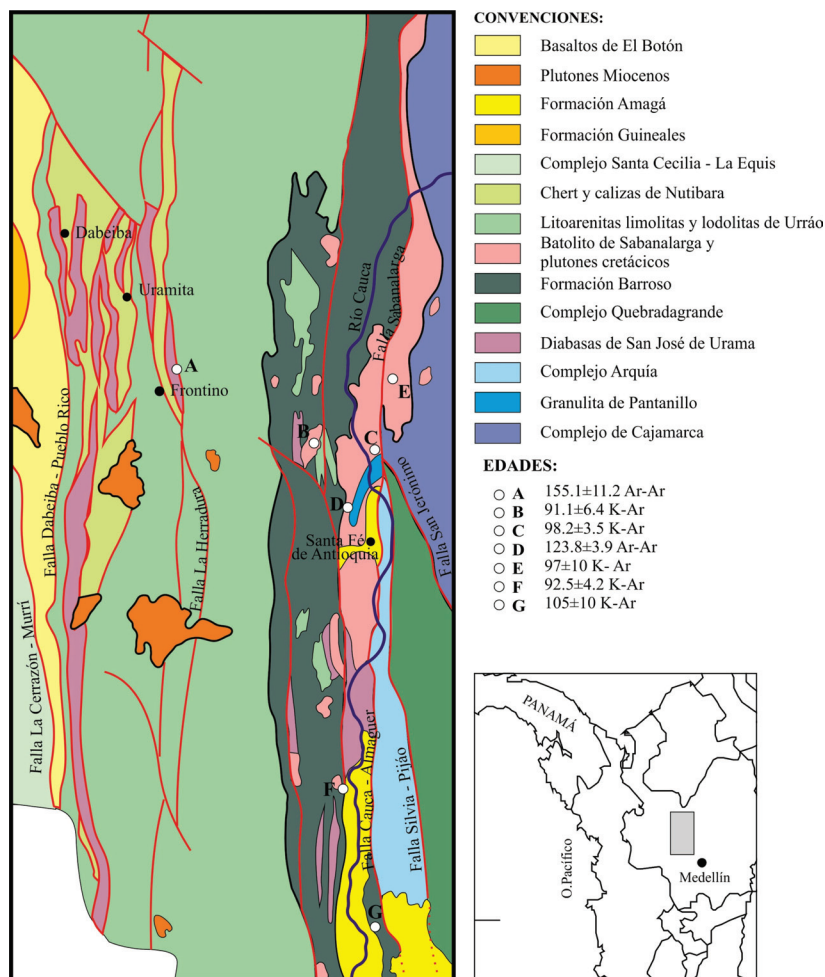


Figura 1. Localización del Batolito de Sabanalarga y localización de algunas edades radiométricas.

Los contactos del cuerpo son intrusivos y posteriormente algunos sectores fueron fallados por el Sistema de Fallas de Romeral, en el sur y centro el cuerpo intruye las vulcanitas de la Formación Barroso en su borde occidental, en el centro y norte intruye el Complejo Cajamarca representado por esquistos cuarzosericíticos y esquistos verdes anfibólicos, formando aureola en facies albíta epidota cornubianita y hornblenda cornubianita (Hall et al, 1972; Rodríguez y Zapata, 1996; Geoestudios, 2005), además, desarrolla efectos deutéricos sobre las rocas basálticas de la Formación Barroso y las Diabasas de San José de Urama transformando los clinopiroxenos a anfíboles uralíticos y desarrolla bordes con xenolitos de vulcanitas.

Corresponde a un plutón compuesto al menos por dos facies principales; una máfica constituida por

dioritas hornbléndicas y gabros hornbléndicos con subordinadas hornblénditas, hornblenditas con piroxeno y olivino y peridotitas y una facie posterior intermedia de composición cuarzodiorítica - tonalítica, que en sectores amplios del cuerpo forman venas y brechas de intrusión, engloban autolitos de rocas máficas y desarrolla estructuras de migmatitas de inyección (Figura 2). Este conjunto es atravesado por diques de basaltos, microdioritas-microgabros, venas de epidota y venas cuarzo feldespáticas. Las rocas máficas pueden mostrar orientación de los minerales y estructura bandeada. En el sector norte del cuerpo, Rodríguez y Zapata (1996), describen mineralizaciones de segregación magmática constituidas por pirrotina con subordinada calcopirita y magnetita junto a cristales de olivino, ortopiroxeno, clinopiroxeno y hornblenda corroídos por los sulfuros, con desarrollo de texturas cúmulo e intercúmulos.

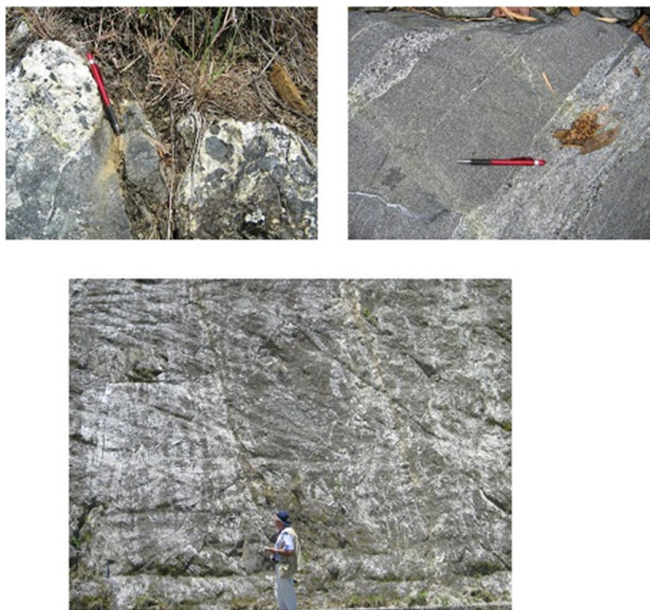


Figura 2. Aspecto macroscópico del Batolito de Sabanalarga. Se observan las facies máficas y félsicas y la relación entre ambas.

Las características composicionales del Batolito de Sabanalarga son las mismas al norte y al sur, y la subdivisión propuesta en dos cuerpos (Nivia y Gómez, 2005; Flórez y Valencia, 2006; Weber et al., 2011), no tienen cambios en la textura macroscópicas y microscópicas de acuerdo a la revisión petrográfica y macroscópica de las rocas, mostrando las mismas facies litológicas, relaciones entre facies y composición mineralógica.

Petrografía. Se revisaron y reclasificaron 59 secciones delgadas que espacialmente se distribuyen a lo largo del cuerpo principal del Batolito de Sabanalarga y la Tonalita

de Buriticá, con el fin de identificar las características petrográficas y geoquímicas del evento magmático. Hacia la parte sur donde el río Cauca corta el batolito hay predominio de rocas intermedias a máficas como cuarzodioritas hornbléndicas, dioritas y en menor proporción gabros. En la parte central, el batolito está siendo dividido en dos franjas por la falla Sabanalarga, se presentan rocas intermedias a máficas con un mayor predominio de dioritas entre la margen este del río Cauca y la Falla Sabanalarga; hacia el este de la falla Sabanalarga se localizan rocas que varían en composición félsica a intermedia constituidas por tonalitas y subordinadamente dioritas y gabros. Hacia el norte el Plutón

está compuesto por las dos facies predominando las rocas máfica (dioritas-gabros).

De acuerdo con la distribución y variación petrográfica, se diferencian dos facies dentro del Plutón que se distribuyen a lo largo de todo el cuerpo (Figura 3): facies máfica e

intermedia atravesada por la facies félsica; siendo el Batolito un cuerpo ígneo de carácter compuesto (Hall et al., 1972; Rodríguez y Zapata, 1996; González, 2001; González y Londoño, 2002), con al menos dos eventos magmáticos claramente reconocibles, sin tener en cuenta la intrusión de diques y venas posteriores.

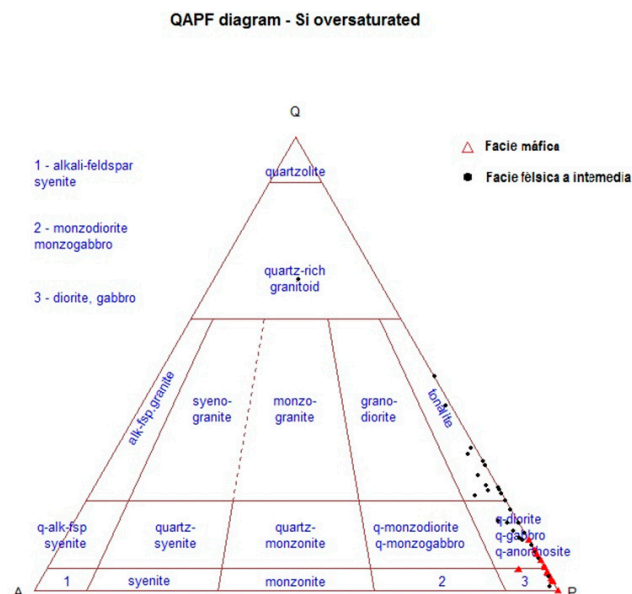


Figura 3 . Composición modal del Batolito de Sabanalarga.

Facies máfica: Dioritas, gabros y cuarzogabros.

La facies máfica está representada por el 42% del total de las rocas analizadas, se compone de gabros, gabros hornbléndicos, dioritas hornbléndicas, dioritas piroxénicas y cuarzogabros, (Tabla 1), en menor proporción y de manera local se presentan

hornblenditas, hornblenditas de piroxeno-olivino y peridotitas en zonas de borde y zonas de mineralización por segregación magmática de sulfuros (Rodríguez y Zapata, 1995). Predomina la textura hipidiomórfica granular, con texturas particulares poiquilítica, ofítica, granular orientada y cúmulo (Figura 4).

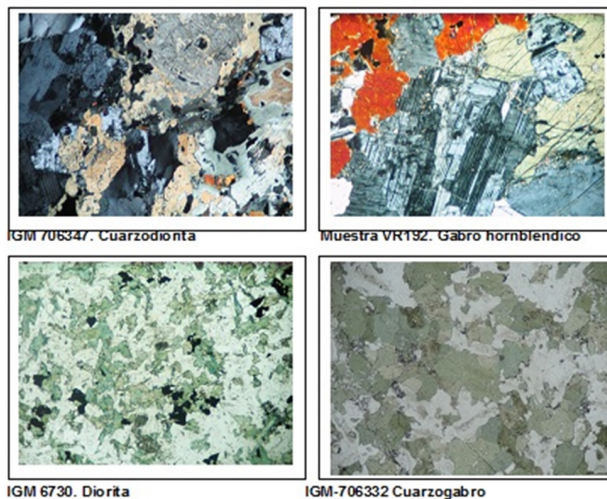


Figura 4. Aspecto microscópico de rocas de las facies diorita-gabro del Batolito de Sabanalarga. a) Cuarzodiorita con restos de clinopiroxeno parcialmente uralitizados. b, c y d) aspecto general de gabros y dioritas hornbléndicas.

La plagioclasa es de tipo labradorita - andesina cálcica y varía entre 30% y 98%; se presenta en cristales idiomórficos a subidiomórficos tabulares con maclas según albita, albita - Carlsbad. Como mineral ferromagnésico predominante aparece hornblenda entre 40% y 85%, en cristales tabulares que pueden mostrar flexiones por deformación y otros de aspecto fibroso producto de uralitización que se presentan de manera intergranular entre los cristales de plagioclasa.

El clinopiroxeno se presenta en las rocas clasificadas como gabros, dioritas y cuarzdioritas en contenidos entre 3% y 34%, corresponde a cristales de augita subidiomórfica, algunos con maclas polisintéticas, que generalmente se encuentran como núcleos en el anfíbol uralítico, parcial a completamente reemplazados con una corona de hornblenda verde.

Cristales tabulares de biotita de color verde se encuentran en las dioritas de manera intersticial entre la plagioclasa en relación hasta el 9% y en los gabros en contenidos trazas.

El cuarzo ocurre en cristales subidiomórficos generalmente en las dioritas en proporciones menores al 5% y en los gabros aparece como mineral accesorio.

Como producto de alteración de minerales máficos se presentan agregados de cristales de epidota que en los gabros alcanzando hasta el 12%, en las dioritas puede alcanzar el 6%, se encuentra también como alteración saussurítica en la plagioclasa. La clorita ocurre en láminas de color verde hasta en 8% en las dioritas y hasta 14% en los gabros, con un color de interferencia azul berlin anómalo, algunas como producto de alteración de cristales de augita. Los minerales opacos están dispersos en las rocas y como inclusión en hornblenda y clinopiroxenos, asociados con cristales de esfena.

La uralitización de las rocas que componen la facies máfica, transforma de manera parcial a completa los clinopiroxenos a hornblenda verde y actinolita, es el fenómeno más común en el cuerpo, probablemente se origina con la intrusión de la facies félsica y la introducción de agua al sistema.

IGM	MUESTRA	Qtz	Pl	Fk	Hbl	Bt	Chl	CPx	Op	Ap	Zr	Ttn	Ru	Ep	Otros	CLASIFICACIÓN PETROGRÁFICA
5962	DA-108-68	4	96						X							Diorita saussuritizada
6762	EAG-0576	3,3	66	3,9	TR		7	12	2					1		Diorita piroxénica
95625	EAG-3248	3	86													Cuarzogabro
95634	EAG-3272	1	96	1												Diorita
6730	FEO-0052	8	65						X							Diorita
5722	FIM-228	2	97													Diorita
5724	FIM-239	1	46		38	TR	8		X			X		5		Diorita
5715	FIM-297		34		55				TR			1		3	X	Gabro uralítico
704188	GR-1610-B		50		49				1	TR						Diorita hornbléndica
706329	GR-5451	2,6	37		70			TR	TR			TR		X		Diorita
706348	GR-5466B		30		70	X	X		X			X				Gabro hornbléndico
706349	GR-5467		42		49		X		3	TR		X		4		Diorita
706352	GR-5472	5,8	40		55				X	1	X	X		TR		Cuarzogabro hornbléndico
704201	GZ-4016				85				X					X		Gabro
6643	JAA-0698	3,1	56		37	1,3			TR	TR				1		Diorita hornbléndica
5864	JD-399	4	77			9		8						TR		Diorita?
5865	JD-400	3	79		4	7		4		TR		X		X		Diorita?
5627	JDG-0109	1	39		60		X		X	TR				X		Gabro hornbléndico
5728	JMC-330	3,5			57		3		2			X				Diorita hornbléndica
5842	JMC-414	6	62		20		X		2					6		Diorita

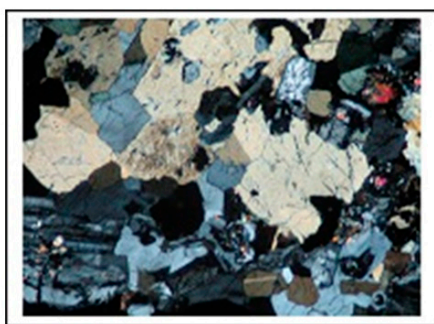
IGM	MUESTRA	Qtz	Pl	Fk	Hbl	Bt	Chl	CPx	Op	Ap	Zr	Ttn	Ru	Ep	Otros	CLASIFICACIÓN PETROGRÁFICA
5845	JMC-421		55		36		5	X	4							Diorita
5847	JMC-425		35				14	34	5					12		Gabro con piroxeno
	LM-217R1	1,9	98					X				X		X		Gabro
	MR-182R2	8	92		X		X							X		Gabro
	VR-192R		54		41	TR		3	1	TR	TR			TR		Gabro hornbléndico

Tabla 1. Composición modal de la facie máfica del batolito de Sabanalarga

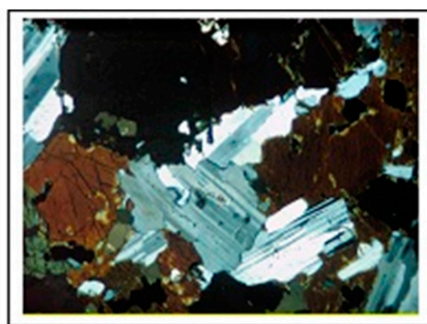
Facies intermedia y félsica: Cuarzodioritas, tonalitas y granitos. La serie acida está constituida por tonalitas tanto del cuerpo de Sabanalarga como de la Tonalita de Buriticá, con ocasionales granitos gráficos, corresponde al 36% de las muestras analizadas (Tabla 2). Las rocas cuarzodioríticas que aparecen de manera continua a lo largo del cuerpo, tienen una proporción del 22% de las muestras colectadas. Las rocas de esta facies se caracterizan por presentar una textura hipidiomórfica granular e inequigranular (Figura 5).

La plagioclasa es andesina, se presentan entre el 28% y el 86% de la roca; los cristales son anhedrales a subhedrales de forma tabular, maclados según albíta, albíta - Carlsbad y Carlsbad, pueden tener zonación normal y oscilatoria, generalmente inalterados o con alteraciones a sericita y arcilla.

El cuarzo ocurre entre 3% y 40%, como cristales incoloros anhedrales, intersticial entre cristales de plagioclasa, algunos con fracturamiento y extinción ondulatoria dada por procesos de deformación; pueden aparecer en algunas rocas, cuarzo con inclusiones de epidota.



IGM 706328. Cuarzodiorita



IGM 5848 Tonalita

Figura 5. Aspecto microscópico de rocas de las facies Cuarzodiorita-tonalita del Batolito de Sabanalarga.

El feldespato alcalino es ortosa, puede o no estar presente, intersticial o como lamelas e intercrecimientos gráficos en granitos micrográficos (IGM 6084), en parte se encuentra alterado a caolín.

Se presentan restos de clinopiroxeno (1%) xenomórficos a manera de parches al interior de los cristales de hornblenda, parcialmente uralitizados.

La hornblenda ocurre en un 5% a 10% en las tonalitas, como cristales subhedrales de colores verdes pleocróicos, en algunas tonalitas presentan pequeñas inclusiones de feldespato. En general tiene textura poiquilitica dada por inclusiones de plagioclasa, opacos y biotita. Se alteran a epidota, clorita con formación de esfena residual. Láminas de biotita se presentan en menor proporción con respecto a la hornblenda hasta en un 10% en las rocas más ácidas.

Minerales accesorios como apatito se presentan en cristales finos euhedrales a subhedrales que están generalmente incluidos en los minerales principales. Los minerales opacos (magnetita) se muestran diseminados en las rocas, en mayor concentración hacia los bordes de algunos cristales máficos y asociada a clorita. Como mineral traza se presentan carbonatos de manera intersticial.

IGM	MUESTRA	Qtz	Pl	Fk	Hbl	Bt	Chl	CPx	Op	Ap	Zr	Ttn	Ru	Ep	Otros	CLASIFICACION PETROGRÁFICA
5585	JMC-209	8	60	1	15	8	3									Tonalita
5626	JDG-0112	5	65		30	X	X		X	TR		X		X		Tonalita-Cuarzodiorita
5638	JDG-0013	15	60			X	4		1			TR		18		Tonalita (atípica)
5766	JMC-393	12	53		25	6			2	TR				2		Tonalita
5848	JMC-428	8	7	40	23	5	7		X	TR				8		Tonalita
5869	JD-408	25	28		25	10	4		2	TR				4		Tonalita
6084	JD-143	68	16	15					X	TR						Granito micrográfico
6566	ORA-6053	40	57	1												Tonalita
6727	FEO-0027	13	74													Cuarzodiorita
6758	EAG-0559	20	52						1			TR		23		Tonalita con epidota
6763	EAG-0581	21	58	2	5	6	4		1	TR		0		2	0,1	Tonalita
6840	EOZ-1309	15	55		20		3		1	TR		TR		5		Cuarzodiorita cataclástica
6846	EAG-0640	19	48		18	4	6		1	TR	TR	TR		3		Tonalita
6848	EAG-0652	14	49	4	32	4	4		TR	TR		0		1		Cuarzodiorita hornbléndica
6853	EAG-0698	20	68	2			4		1						1	Tonalita
95575	ORA-6052	20	68				5		TR			TR		5	X	Tonalita
95618	JDM-0603	14	90	2												Cuarzodiorita
95623	EAG-3245	23	74	2												Tonalita
95624	EAG-3246	10	89						X							Cuarzodiorita deformada
95625	EAG-3248	3	90													Cuarzodiorita
95643	EAG-3290	13	68	3												Cuarzodiorita
95655	EAG-3323	29	65	2												LeucoTonalita
95656	EAG-3324	31	67	1												Tonalita

Tabla 2. Composición modal de las facies intermedia y félsica del batolito de Sabanalarga.

5. GEOQUÍMICA

Se realizó el análisis geoquímico a 16 muestras localizadas en la parte central y sur del Batolito de

Sabanalarga, incluyendo una (1) muestra de la Tonalita de Buriticá, para óxidos mayores, elementos traza y elementos de las tierras raras (Tabla 3).

Muestra	Clasificación	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	TiO ₂	P ₂ O ₅	LOI	SUM
Elementos mayores % en peso													
BCZ-3461	Tonalita	60,16	17,18	4,91	0,119	1,78	5,44	4,19	3,17	0,566	0,3	1,1	98,95
EAG-3272	Diorita	39	19	15	0	6	15	1	0	1	2	2	100
EAG-3290	Cuarzodiorita	51	17	12	0	5	11	2	0	1	0	1	100
GR145R	Tonalita	63,82	15,11	6,37	0,11	2,35	5,23	3,38	1,38	0,54	0,11	1,5	99,91
GR146R	Tonalita	63,99	15,01	6,57	0,1	2,31	5,41	3,25	1,47	0,54	0,12	1,1	99,88
GR-5448	Cuarzodiorita	49,45	16,92	12,43	0,18	5,67	10,71	1,7	0,46	0,789	0,13	1,5	99,96
GR-5451	Diorita	47,82	13,91	14,47	0,189	7,69	12,92	0,91	0,24	0,877	0,13	1,3	100,5
JM111R*	Tonalita	73,98	13,55	1,4	0,02	1,04	3,85	4,39	0,28	0,24	0,05	1,2	100
LM155R	Cuarzodiorita	49,01	17,9	11,71	0,15	4,52	10,13	2,44	0,56	0,98	0,55	1,9	99,86
LM217R1	Gabro	49,02	16,98	8,96	0,17	7,25	10,7	2,16	1,77	0,3	0,2	2,2	99,73
MR152R	Tonalita	68,03	15,67	3,58	0,12	1,37	3,88		2	0,3	0,19	1	99,63
MR182R2	Cuarzodiorita	56,9	15,04	9,17	0,12	4,65	6,38	3,18	1,72	0,75	0,32	1,5	99,74
VR192R	Gabro	43,11	17,75	14,85	0,25	7	12,41	1,61	0,29	1,22	0,4	0,9	99,8
VR290R	Tonalita	70,82	13,8	3,84	0,08	0,94	3,65	3,48	1,99	0,35	0,11	0,8	99,86
VR301R	Tonalita	70,32	13,97	4,32	0,07	1,01	3,86	3,29	1,59	0,39	0,12	0,9	99,84
VR422R	Diorita	52,35	17,63	9,88	0,18	4,52	9,18	2,81	0,39	0,67	0,15	2,2	99,97

Tabla 3. Resultados análisis de óxidos mayores.

***Muestra Tonalita de Buriticá**

De acuerdo con la clasificación de Cox et al (1979), se observa el comportamiento general subalcalino - toleítico bajo en potasio, correspondientes a los campos de gabros y dioritas con un porcentaje de SiO₂ (wt) entre 39 a 57% para las rocas máficas y los campos de cuarzodioritas, granito con cantidades de SiO₂ (wt) entre 60,16 a 73,98% para las rocas BCZ-3461 y JM111R respectivamente de la facies intermedia a félsica. (Figura 6).

El índice de aluminosidad refleja un carácter peraluminoso ($Al_2O_3 > (CaO + Na_2O + K_2O)$), con relaciones máximas $19,18 > 15,95$ para la roca EAG-3272 (diorita) y mínimas $13,55 > 8,52$ para la roca JM-111R clasificada como tonalita del cuerpo de Buriticá. La roca GR-5451 (diorita), es la única que no muestra este carácter, con una relación $Al_2O_3 < (CaO + Na_2O + K_2O)$ de $13,91 < 14,07$ cayendo en el campo metaluminoso. Es posible que el magma que originó estas rocas haya sido contaminado por procesos de asimilación y mezclas entre componentes sedimentarios de la Formación Barroso en la interacción entre el magma y su roca encajante. (Tabla 3.)

Los óxidos mayores muestran una diferenciación entre las dos facies litológicas lo cual es congruente con el análisis petrográfico. En el diagrama AFM las rocas intermedias se presentan dispersas en el campo de la serie calco-alcalina, mientras que las rocas de la facie máfica y de composición básica se concentran en su mayoría en el campo de las series toleíticas. Para el diagrama de Peccerillo and Taylor (1976), las rocas máficas e intermedias muestran una amplia distribución con respecto al contenido de potasio, cayendo la mayor parte de las muestras en series calco-alcalinas medias en K, dos muestras (LM 217R1 y BCZ-3461) caen en las series calco-alcalinas altas en K, con porcentajes de 1,77% y 3,17% (Figura 7) y tres muestras de la facies máficas caen dentro de series toleíticas.

El comportamiento en los diagramas de variación de Harker, indican que las rocas corresponden a magmas toleíticos que se pueden generar en ambientes donde ocurre el fraccionamiento entre la composición básica - media y ácida. La roca JM111R de la Tonalita de Buriticá, muestra un comportamiento análogo con la facies intermedia del Batolito de Sabanalarga.

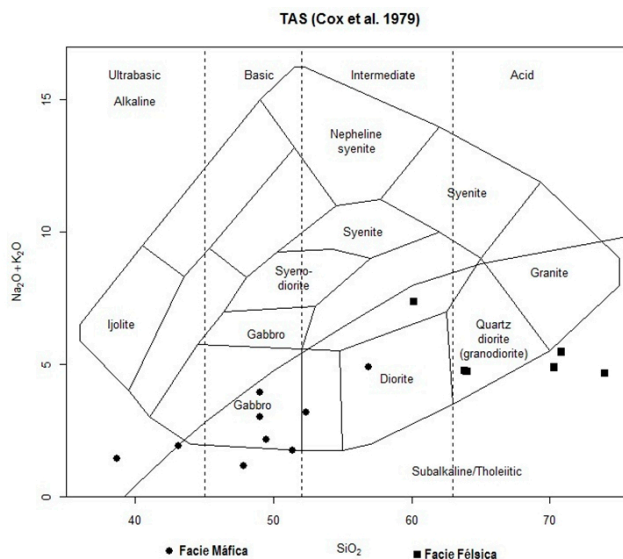


Figura 6. Diagrama TAS (Cox et al., 1979) para el Batolito de Sabanalarga.

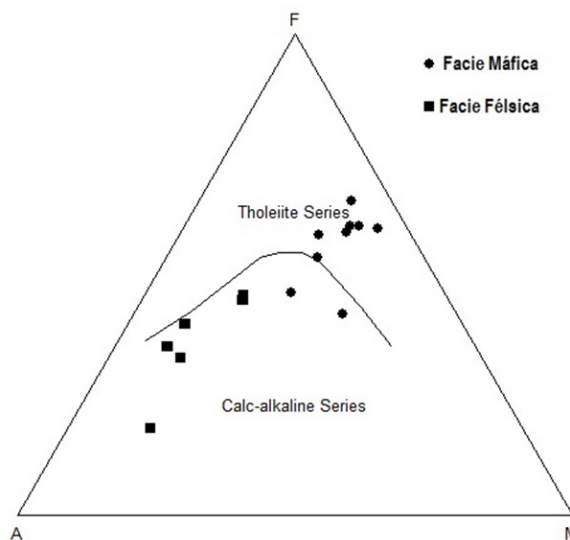


Figura 7. Diagrama AFM y Peccerillo & Taylor (1976) (SiO₂ Vs K₂O).

En general las rocas presentan concentraciones bajas en K y TiO₂ y pueden ser subdivididos en dos poblaciones (Figura 8).

En la Tabla 4 se muestra la composición química de elementos traza y tierras raras. Las rocas del Batolito de Sabanalarga se encuentran levemente enriquecidas en los elementos traza ligeros con un patrón homogéneo que se va empobreciendo progresivamente hacia los elementos más pesados. De manera general se muestra ausencia de anomalía de Eu, solo la roca JM111R

clasificada como tonalita del cuerpo de Buriticá muestra una anomalía negativa para el Eu, posiblemente por la cristalización de la plagioclasa cálcica durante el proceso de fraccionamiento y evolución del magma. (Figura 9). La muestra EAG-3272 (diorita) tiene valores mayores al promedio de los elementos de tierras raras alcanzando hasta 80 veces más con respecto al condrito.

En general se presentan mayores concentraciones de tierras raras ligeras LILE con respecto a las pesadas HFSE, como se observa en las relaciones $(La/Yb)_n$ entre 1,6 y 19, $(La/Sm)=1.16-7.46$, (Sr/Hf) entre 56 y 1055 indicando un mayor fraccionamiento de las tierras raras, comportamiento típico de rocas generadas en ambientes de subducción.

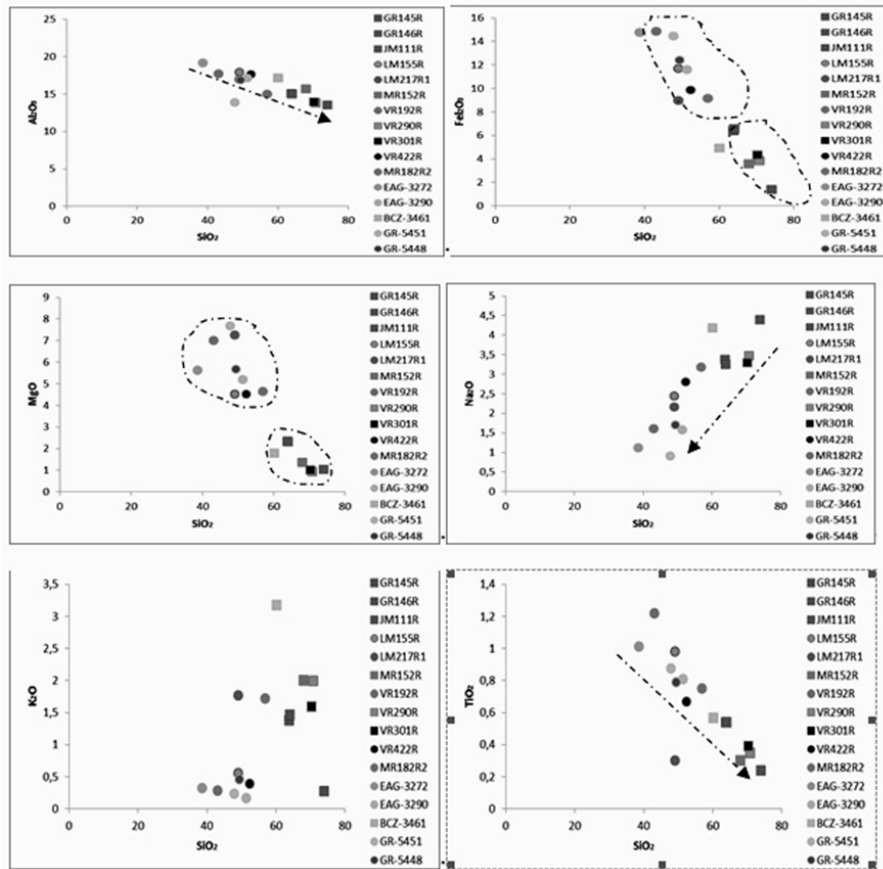


Figura 8. Diagramas de Harker para las facies del Batolito de Sabanalarga.

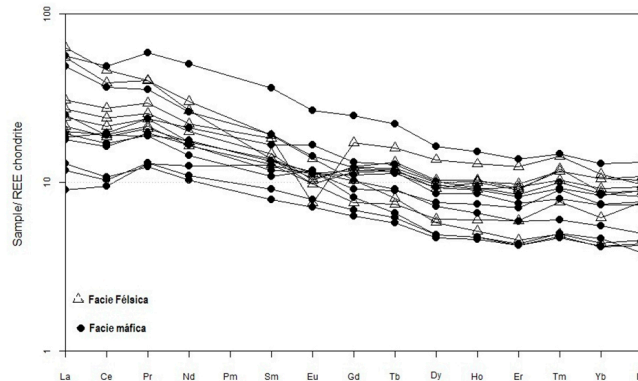


Figura 9. Diagrama REE normalizado a condrito (Nakamura 1974).

Muestra	GR145R	GR146R	JM111R	MR152R	BCZ-3461	VR290R	VR301R	LM155R
La	7.1	6.6	10.2	20.9	18.2	8	9	6.4
Ce	16.1	16.6	23.8	40.3	33.7	18.6	20.8	14.7
Pr	2.35	2.41	3.31	4.49	4.53	2.66	2.88	2.14
Nd	10.9	10.4	14	16.9	19.1	11	12.6	11.2
Tb	0.56	0.55	0.75	0.35	0.38	0.57	0.62	0.43
Dy	3.16	3.31	4.68	2.07	1.98	3.44	3.55	2.47
Ho	0.7	0.64	0.9	0.42	0.36	0.71	0.72	0.46
Er	2.02	2.11	2.79	1.33	1.02	2.21	2.07	1.32
Tm	0.36	0.31	0.43	0.23	0.148	0.35	0.35	0.18
Yb	1.93	2.02	2.47	1.36	0.96	2.31	2.32	1.21
Lu	0.3	0.32	0.33	0.26	0.155	0.37	0.35	0.17
Ba	922.3	1011	94.6	1861.1	1224	1220.1	1644.3	862.9
Rb	22.6	18.9	3.2	42	64	37.5	16.9	9.9
Th	0.9	1	1.3	5.2	5.57	1.8	1.6	1
Nb	3.2	3.3	3.1	3.7	2.8	4.4	4.3	1.6
Sr	227.3	268.9	192.4	523.4	1130	203.2	221.3	593.3
Zr	87.5	84.7	45.1	79.5	120	111.4	108.9	32.1
Y	20.6	20.3	27.2	12.8	9.8	20.2	20.9	13.3
V	133	131	41	56	154	58	61	308
Ni	5	66	5	5	19.99	5	6	5
Co	15.5	15.3	2.4	5.6		8.4	6.6	31.9
Sc	19	19	12	5	10	10	11	26
Cu	68.9	50.5	160.3	3.5	50	9.4	5.8	6.4
Cs	0.2	0.2	0.2	0.7	0.8	0.4	0	0.2
Ta	0.3	0.3	0.2	0.2	0.11	0.4	0.4	0.1
Sn	0	0	0	0	0.99	0	1	0
Hg	0.01	0	0.02	0.01		0	0	0
Hf	3.1	2.8	1.8	2.5	3.5	3.6	3.5	1.3
Be	0	0	1	1	2	1	1	2
Zn	36	27	9	46	80	39	18	33
Ga	15	14.4	11.5	14.1	19	13.1	12.4	19
Sm	2.8	2.6	3.7	2.8	3.85	2.8	3	2.7
Eu	0.87	0.75	0.58	0.75	1.07	0.81	0.79	0.89
Gd	3.24	3.17	4.73	2.09	2.84	3.39	3.43	2.8
As	0	0	0	0.5	4.99	0	0	0
Mo	0.7	1.7	42	0.3	1.99	3.2	0.3	6.2
Ag	0.1	0	0	0	0.4	0	0	0
Sb	0	0	0	0	1	0	0	0
W	0.3	0.9	4.5	2.9	0.7	0.3	0.4	0.5
Tl	0	0	0	0.1	0.23	0	0	0
Pb	0.5	0.5	0.3	0.8	12	0.4	0.2	0.4
Bi	0	0	0	0	0.09	0	0	0
U	0.5	0.5	0.5	0.8	2.07	0.6	0.7	0.2
Muestra	LM217R1	VR192R	VR422R	MR182R2	EAG-3272	EAG-3290	GR-5451	GR-5448
La	8.3	6.1	5.9	16.1	18.6	2.99	3.88	4.26
Ce	16.5	17	14.1	31.9	42.5	8.23	8.89	9.28
Pr	2.11	2.67	2.19	3.97	6.56	1.44	1.46	1.39
Nd	9.1	13.3	10.5	16.5	31.7	7.92	6.9	6.47
Tb	0.31	0.6	0.42	0.54	1.04	0.53	0.29	0.27
Dy	1.68	3.47	2.6	2.93	5.62	3.2	1.68	1.61
Ho	0.33	0.65	0.52	0.6	1.06	0.63	0.33	0.32
Er	0.97	1.91	1.58	1.68	3.08	1.85	0.95	0.95
Tm	0.15	0.3	0.27	0.24	0.441	0.276	0.144	0.14
Yb	1.02	1.88	1.63	1.61	2.83	1.84	0.91	0.92
Lu	0.13	0.28	0.26	0.25	0.447	0.303	0.144	0.147
Ba	531	96.5	169.7	754.1	164	82	131	167
Rb	46.4	5.6	8.4	45.1	6	2	3	9
Th	1.8	0.1	0.5	5.8	0.17	0.04	0.05	0.14
Nb	1.8	2.9	2.6	3.9	1.9	1.5	1.6	3
Sr	883.8	445.1	377.4	590	633	252	274	327
Zr	47.1	20.4	37	94.2	13	20	28	28
Y	10.3	19.8	15.9	17.7	28.9	17.5	8.8	8.9
V	199	410	252	231	329	301	530	415
Ni	23	18	20	20	19.9	19.9	40	19.9
Co	35.8	45.8	29	19.1				
Sc	28	36	24	24	34	42	62	40
Cu	26.6	198.9	84.1	42.5	70	50	30	150
Cs	5.7	0.1	0.2	1.2	0.1	0.09	0.09	0.09
Ta	0.2	0	0.1	0.3	0.01	0.02	0.03	0.11
Sn	0	0	0	0	0.99	0.99	0.99	0.99
Hg	0	0	0.01	0.01				
Hf	1.7	0.8	1.3	3.2	0.6	0.9	1	1
Be	0	1	0	1	0.99	0.99	0.99	0.99
Zn	41	36	36	50	110	90	90	80
Ga	14.5	18.4	17.1	16.7	19	16	14	15
Sm	2.2	3.4	2.4	3.9	7.36	2.57	1.85	1.6
Eu	0.91	1.28	0.89	1.1	2.05	0.864	0.61	0.547
Gd	2.25	3.63	2.52	3.37	6.85	3.05	1.88	1.74
As	11.4	0	0	5.3	4.99	4.99	4.99	4.99
Mo	0.9	0.1	0.2	1.4	1.99	1.99	1.99	1.99
Ag	0.1	0	0	0.1	0.4	0.4	0.4	0.4
Sb	0.8	0.1	0	0.4	0.4	0.3	0.4	0.6
W	0.1	0	0.1	3.4	0.5	0.4	0.4	0.6
Tl	0	0	0	0.1	0.04	0.04	0.04	0.04
Pb	5.2	0.6	0.1	4.4	4.99	4.99	4.99	4.99
Bi	0.1	0	0	0	0.099	0.099	0.099	0.099
U	0.9	0	0.1	2.5	0.42	0.05	0.05	0.17

Tabla 4. Análisis de elementos traza y elementos mayores del Batolito de Sabanalarga.

Las rocas que representan la serie intermedia a félsica del Batolito de Sabanalarga y la Tonalita de Buriticá muestran patrón homogéneo con anomalías negativas para Ti, Th, Nb, Ta, P, Pb excepto la anomalía positiva en este último elemento para la roca BCZ-3461, con un empobrecimiento progresivo hacia los elementos pesados. (Figura 10). De acuerdo con Wilson (1991), el empobrecimiento en P de las rocas intermedias se debe a la cristalización del apatito en las series dioríticas, disminuyendo con la diferenciación, las anomalías negativas de Ti y Nb están relacionadas al fraccionamiento de óxidos de Fe-Ti (esfena, ilmenita). El Th disminuye proporcionalmente con la

razón Zr/TiO_2 y es menos abundante en las rocas más diferenciadas (cuarzodioritas-tonalitas) donde forma parte de la composición de los circones.

La facies máfica, muestra mayor enriquecimiento de Ti con respecto a la serie félsica, esto debido a la mayor concentración de minerales como esfena, clinopiroxenos, anfíbol en un magma un poco más primitivo. Se destaca una caída negativa de circonio, concentración que disminuye con el incremento de MgO, FeO + Fe₂O₃, y TiO₂ en los minerales máficos. El Zr es

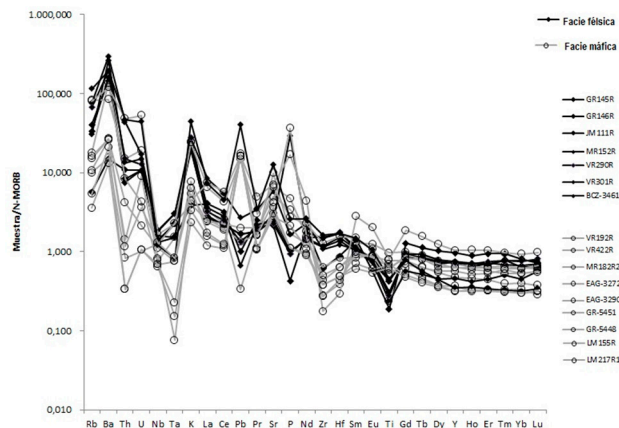


Figura 10. Diagrama de elementos traza para el Batolito de Sabanalarga. (Sun y McDonough (1989).

de baja movilidad y muestra poca concentración en las fases básicas, incrementando hacia las fases más ácidas lo cual es común en los últimos estados de la evolución magmática.

Comparando los comportamientos de las muestras con los patrones típicos de basaltos y su relación con ambientes geotectónicos mostrados por Pearce (1984 y 1996), se observa con relación a N-MORB un enriquecimiento de los elementos más móviles como Rb, Ba, y en menor proporción K, y empobrecimiento de elementos como Nb, Ta y levemente Y, valores que caracterizan las rocas que han sido generadas en ambientes de subducción relacionadas a arcos volcánicos. Con relación a la discriminación que hace Pearce (1996) entre el carácter toleítico, calco-alcalino o calco alcalino rico K de los arcos, se atribuye que las rocas del Batolito de Sabanalarga exhiben concentraciones de Nb, Zr, Ti, e Y bajas acorde con basaltos de afinidad toleítica datos conformes con el diagrama AFM.

De acuerdo con el modelo regional, el Batolito de Sabanalarga se encuentra intruyendo rocas volcánicas de la Formación Barroso de ambiente de arco volcánico y diabasas de la unidad Diabasas de San José de Urama de tipo T-MORB de ambiente de plateau (Rodríguez y Arango, 2012 en imprenta), por lo que se hizo una comparación de los trenes de comportamiento geoquímico entre la información existente tomada de Rodríguez y Arango (2012, en imprenta) para las rocas que conforman la Formación Barroso y de la facies máfica del Batolito de Sabanalarga con el fin de conocer si existe una signatura similar que permita suponer una misma fuente de proveniencia de las rocas estudiadas (Figura 11).

Se comparan algunos contenidos de óxidos mayores, elementos traza y relaciones entre elementos traza del Batolito de Sabanalarga con basaltos y tobas de la Formación Barroso. Los contenidos para ambas unidades del $TiO_2 < 1\%$, el MgO para la Formación Barroso varía entre 3.24% y 11.1%, siendo más bajos en el Batolito de Sabanalarga que varían entre

0.94% y 7.69%, el $Al_2O_3 > (Na_2O + K_2O + CaO)$ en ambas unidades. La relación La/Sm del Batolito de Sabanalarga varía entre 1.16 y 7.46 con la mayoría de valores $La/Sm > 1.7$ y entre 1.7 y 4.1, mientras en la Formación Barroso varía entre 1.2 y 3.3, con la mayoría de valores $La/Sm > 1.6$. Presentan valores positivos en las relaciones Cs/Th , Ba/Nb y Sr/Hf que sugieren la participación de un componente de subducción en la génesis magmática de ambas unidades.

Comparando los campos de los diagramas multi-elementales normalizados respecto al N-MORB de Sun y McDonough (1989), se presenta una buena correlación entre los crestas y valles de ambas unidades de rocas, con mayor enriquecimiento de los elementos para las rocas máficas del Batolito de Sabanalarga, se muestra que estas rocas provienen de fuentes empobrecidas en elementos incompatibles (Ti, Y, Yb, Lu) lo cual se puede relacionar con las características de las rocas de la Formación Barroso.

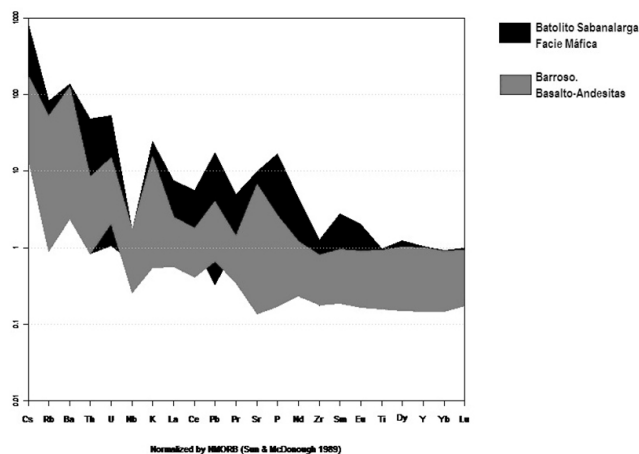


Figura 11. Diagrama comparativo rocas Formación Barroso con facie máfica Batolito Sabanalarga. Sun & McDonough (1989).

En conclusión las rocas de la Formación Barroso y el Batolito de Sabanalarga se originaron en ambiente de arco con una buena correlación geoquímica que sugieren que corresponden a un mismo evento magmático.

Las rocas del Batolito de Sabanalarga se grafican en el diagrama propuesto por Pearce (1984) para discriminación del ambiente tectónico, se localizan en el campo de los granitos de arco volcánico, separándose en dos series

diferenciadas por el mayor contenido de Rb para las rocas más félsicas (Figura 12), igualmente aparecen dos poblaciones en el gráfico de Whalen *et al* (1987) con respecto a la abundancia en circonio, en este gráfico las rocas se sitúan en el campo de los granitos de tipo I y S, siendo un Plutón afín a granitos Tipo I. La marcada diferenciación entre las rocas máficas y ácidas confirma el carácter compuesto del Batolito de Sabanalarga.

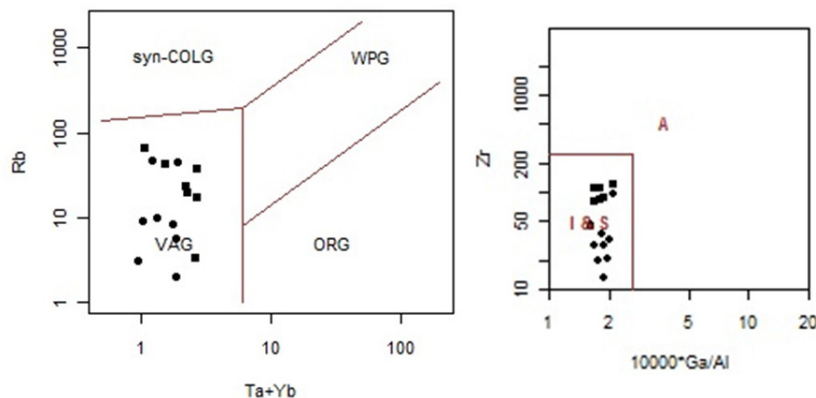


Figura 12. A. Diagrama de ambiente de discriminación tectónica Pearce (1984). B. Diagrama de Whalen (1987) para distinguir tipos de granitos.

6. EDAD

La edad del Batolito de Sabanalarga se determina con base en las edades radiométricas publicadas en trabajos anteriores y nuevas realizadas dentro del marco del proyecto Cordillera Occidental, además, se involucran algunos datos de edad de fósiles que se han reportado para el Segmento Norte de la Cordillera Occidental y se analiza la posición espacial de estos datos con relación al Batolito. En la Tabla 5 se resumen las edades incluyendo la edad de la Tonalita de Buriticá y el Gabro

de Altamira y en la Figura 1 se muestra la localización de algunas de ellas.

El Batolito de Sabanalarga, el Gabro de Altamira y la Tonalita de Barítica intruyen lavas de la Formación Barroso (Hall et al, 1972; Mejía y Salazar, 1989; Geoestudios, 2005; González y Londoño 2002a y b), diabasas y basaltos almohadillados de la unidad Diabasas de San José de Urama (Rodríguez y Arango, 2012 en imprenta).

IGM	X	Y	METODO	ROCA	WMPA (Ma)±1s	TFA(Ma)±1s	UNIDAD LITOLÓGICA	REFERENCIA
706412	1105721	1249490	Ar-Ar en RT	Diabasa	155.1±11.2	164.4±8.7	Diabasas de San José de Urama	Rodríguez y Arango (2012)
UNM-2930A	1138680	1155395	K/Ar en RT	Basalto	105±10		Formación Barroso	Toussaint y Restrepo (1978)
UNM-2839A	1179035	1132550	K-Ar en Pg	Gabro	77,4±7,7		Gabro de Altamira	Restrepo y Toussaint, 1976
UNM-2939	1179035	1132550	K-Ar en Pg	Gabro	92,5±4,2		Gabro de Altamira	Toussaint y Restrepo, 1976
AD-5	1228820	1136120	K-Ar en Hbl	Tonalita	91,1±6,4		Tonalita de Buritica	Göbel & Stibane, (1979)
2921-A	1243884	1139184	K-AR en Bt	Cuarzodiorita	97±10		Batolito de Sabanalarga	González et al., 1978
M-4	1232883	1138967	K-AR en Hbl	Tonalita	98.2±3,5		Batolito de Sabanalarga	González & Londoño, 1998
706328	1223436	1133261	Ar-Ar en Hbl	Diorita	123.8±3.9	130.5±3.1	Batolito de Sabanalarga	Este trabajo
			Ar-Ar en Hbl		92±2		Batolito de Sabanalarga	Vinasco et al (com personal).
			Ar-Ar en Hbl		89,9±0,8		Batolito de Sabanalarga	Vinasco et al (com personal)
			Sm-Nd		98±9,1		Batolito de Sabanalarga	Weber et al, 2011

Tabla 5. Edades de algunos cuerpos plutónicos cretácicos, de la Formación Barroso y las Diabasas de san José de Urama

La mayoría de edades radiométricas reportadas para el Batolito de Sabanalarga están en el rango entre 89,9±0,8 Ma (Ar-Ar) y 98.2±3,5 Ma (K/Ar). Weber et al. (2011) consideran la edad de enfriamiento del plutón alrededor de 92 Ma fundamentados en datos Ar-Ar y Sm-Nd. Una datación Ar-Ar en la facies máfica (diorítica-gabroide) arrojó una edad de 123.8±3.9 Ma que difiere considerablemente de las edades en rocas más félsicas, sin que se pueda tener claridad del significado de ésta, aunque se podría interpretar como la edad de la facies máfica, no parece estar acorde con las relaciones estratigráficas del Batolito (figuras 1 y 13). Al analizar las edades de otros plutones que intruyen la Formación Barroso y las Diabasas de San José de Urama, como la Tonalita de Buriticá, algunos apófisis del Batolito de Sabanalarga y el Gabro de Altamira con edades entre 90 y 93 Ma (Tabla 5), se puede concluir que el plutonismo asociado al arco volcánico - plutónico de Sabanalarga - Barroso ocurrió dentro del rango de edad comprendido entre 89 Ma y 102

Ma que corresponde al Turoniano - Albiano, siendo la mayoría de datos radiométricos de edad Cenomaniana

Dentro de los cuerpos sedimentarios depositados sobre vulcanitas de la Formación Barroso en el contacto occidental del Batolito de Sabanalarga, han sido reportados algunos registros fósiles, como los que afloran 4 km al sur de Buriticá que son indicativos del Albiano medio (Castro y Feininger, 1965; Etayo *et al.*, 1980) y recientemente Geoestudios - Ingeominas (2005) reportan amonites de edad Coniaciano analizados por el profesor Fernando Etayo y localizados en el Boquerón de Toyo, sobre la vía a Urabá (X= 1.232.210, Y= 1.121.870).

En concordancia con los datos radiométricos, las relaciones intrusivas y el registro fósil, se deduce que las rocas volcánicas de la Formación Barroso se debieron formar ligeramente antes del emplazamiento y cristalización de los plutones, es decir, Albiano-Aptiano.

Se debieron formar durante o antes de la sedimentación de los cuerpos sedimentarios depositados e intercalados con las lavas y rocas piroclásticas de la Formación Barroso, con registro fósil Coniaciano y Albiano, indicando en conjunto una edad para el arco volcánico plutónico dentro del rango Cenomaniano-Aptiano.

rocas máficas (gabros y dioritas) de afinidad subalcalina toleítica y un segundo pulso félsico (cuarzodioritas y tonalitas) que intruye al primero, de afinidad subalcalina y de la serie calcoalcalina media en K.

La geoquímica de elementos trazas y tierras raras indica que el magmatismo plutónico que dio origen al Batolito de Sabanalarga y a la Tonalita de Buriticá se generó en un ambiente magmático localizado por encima de la zona de subducción, sugiriendo que se trata de un arco emplazado en el borde de sutura entre la corteza continental y la corteza oceánica. Esta situación se establece debido al carácter intrusivo del Batolito de Sabanalarga al occidente con vulcanitas de arco de la Formación Barroso y diabasas y basaltos almohadillados de plateau de la unidad Diabasas de San José de Urama y al oriente con metamorfitas del Complejo Cajamarca (Hall et al., 1972; Mejía y Salazar, 1989; Rodríguez y Zapata, 1996; González, 2001; González y Londoño, 2002; Geoestudios - Ingeominas, 2005).

De acuerdo a la revisión petrográfica de secciones delgadas de todo el cuerpo, a las características macroscópicas descritas en estudios anteriores (Hall et al., 1972; Mejía y Salazar, 1989; Rodríguez y Zapata, 1996; González, 2001; González y Londoño, 2002; Geoestudios, 2005; Nivia y Gómez, 2006), se considera que el Batolito de Sabanalarga es una entidad única y que la división propuesta por Nivia y Gómez (2006); Flórez y Valencia, (2006) y Weber et al. (2011) en el Gabro de Santafé de Antioquia para el cuerpo suroccidental a la Falla Sabanalarga y Batolito de Sabanalarga para el cuerpo nororiental, no corresponde con los datos descritos en este trabajo y en trabajos anteriores. La división propuesta por estos autores se fundamentó en el posible origen del Plutón relacionado a una pluma oceánica. Las evidencias regionales muestran que no hay diferencias litológicas desde el punto de vista macroscópico y microscópico en las rocas y estructuras entre la parte norte del cuerpo y la parte sur del cuerpo. Los datos geoquímicos tomados en el segmento sur del cuerpo indican que este Plutón al igual que la Tonalita de Buriticá y las vulcanitas de la Formación Barroso se formaron en un ambiente de arco (Rodríguez y Arango, imprenta), que el Batolito de Sabanalarga intruye en el contacto noroccidental, rocas volcánicas generadas en un arco y diabasas de plateau correspondientes al prisma acrecionario sobre el cual se formó el arco. El contacto nororiental del cuerpo es intrusivo en esquistos del Complejo Cajamarca, con desarrollo de cornubianitas (Hall et al, 1972, Rodríguez y Zapata, 1996). La presencia

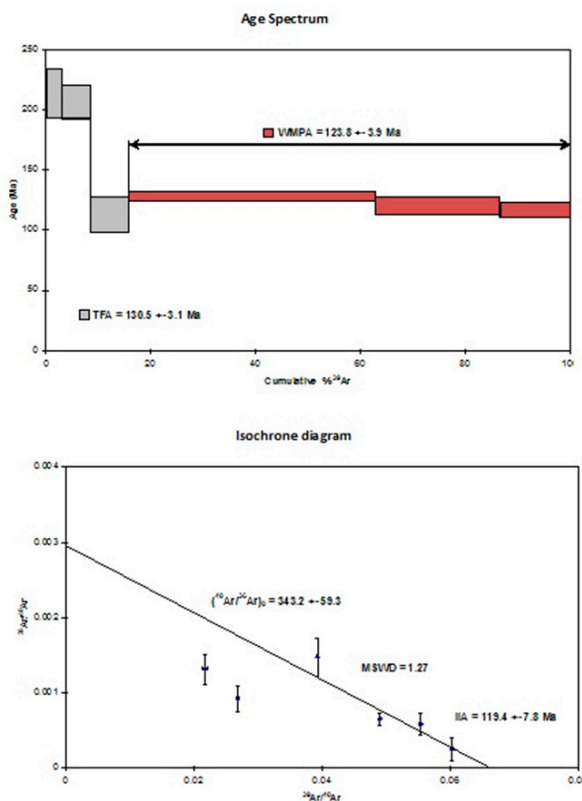


Figura 13. a) espectro de edad de la muestra igm-706328 clasificada como diorita perteneciente al Batolito de sabanalarga. b) diagrama de isócrona.

La muestra IGM-706328 se analizó por el método Ar/Ar en hornblenda, arrojó un espectro de edad con tres pasos de alta temperatura, caracterizados por 84,3% de ³⁹Ar y una edad de 123,8 ± 3,9 Ma. En la isócrona inversa los puntos grafican un espectro de edad con tendencia lineal caracterizado por una edad de 119,4 ± 7,8 Ma (Figura 13).

7. DISCUSION

La información petrográfica y química corroboran las observaciones macroscópicas del Batolito de Sabanalarga, que corresponde a un cuerpo magmático formado por lo menos por dos pulsos: un pulso inicial representado por

de cuerpos de granulita, unidad denominada Granulita de Pantanillo (Geoestudios, 2005; Rodríguez et al, 2012 en imprenta) en el segmento sur occidental del Batolito, con afinidad con basaltos toleíticos altos en magnesio y basaltos komatiíticos de series subcalcinas, y los elementos traza con afinidad con arcos toleíticos y una tendencia plana en los diagramas multi-elementales que se asemeja a los MORB tipo N (Rodríguez et al, 2012 en imprenta), difiere de las rocas descritas para la Cordillera Occidental y no deja de ser un problema no resuelto por los modelos clásicos donde al occidente de la Falla Cauca-Almaguer no se presenta basamento metamórfico, pues estos modelos no abrigan la posibilidad de que el intrusivo arrastrara bloques de basamento correspondientes a unidades metamórficas de la Cordillera Central.

Las edades reportadas para el segmento sur y el segmento norte del Batolito de Sabanalarga están dentro del mismo rango (Figura 1), siendo poco factible que dos arcos se desarrollaran separadamente al mismo tiempo, presentaran igual litología y estructuras macroscópicas, con dos pulsos magmáticos petrográficamente iguales y que por tectonismo se juntaran los plutones.

Es de anotar que al norte de Santafé de Antioquia, la Falla Cauca-Almaguer, no se puede considerar como la estructura que limita la corteza oceánica con la corteza continental, pues al norte de este sitio se presenta la Falla de Sabanalarga que segmenta en dos el Batolito del mismo nombre, el cual amalgama e intruye las dos cortezas.

En concordancia con los resultados y evidencias expuestas, se ilustra el modelo petrogenético que dio origen al Batolito de Sabanalarga y en general al arco volcánico - plutónico de Sabanalarga – Barroso y la localización espacial de las márgenes continental y oceánica durante la intrusión, indicando que estaban juntas, al menos al norte de Santafé de Antioquia donde el Batolito de Sabanalarga intruye ambas cortezas (Figura 14).

Magmatismo como el de la Diorita de Altavista, el Gabro de San Diego y el Batolito Antioqueño, es contemporáneo con el arco que generó el Batolito de Sabanalarga, probablemente son parte del mismo evento magmático, con la diferencia geoquímica resultante de la localización sobre el plano de subducción, es decir, lo normal es que plutones generados más cerca a la fosa sean toleíticos y más primitivos, y a medida que se profundiza la placa subducida

se genera a mayor distancia de la fosa plutones de afinidad calcoalcalina más evolucionados. Las edades reportadas para el Batolito Antioqueño, el Gabro de San Diego y la Diorita de Altavista comprenden el rango entre 83 y 100 Ma (Correa et al., 2006; Ordoñez, 2001; Ordoñez y Pimentel, 2001; Ibañez et al., 2012); los análisis isotópicos para el Gabro de San Diego y la Diorita de Altavista sugieren que las facies máficas se derivaron de un manto empobrecido, mientras que la facies félsica representa un magma probablemente resultante de la mezcla de un componente máfico derivado del manto con material proveniente de la corteza continental (Correa et al., 2006).

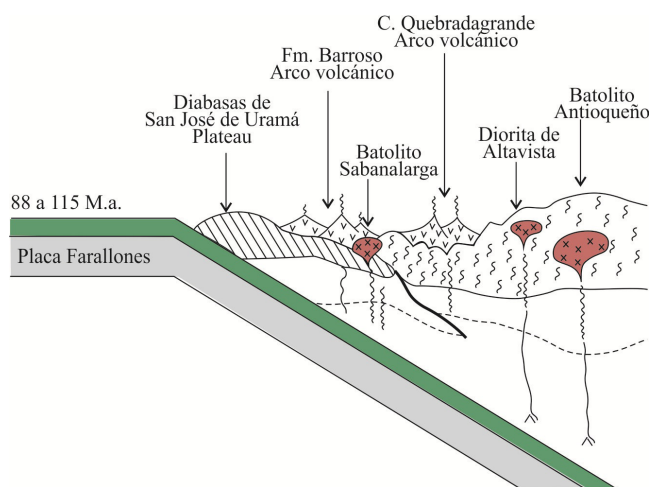


Figura 14. Modelo evolutivo del arco conformado por la Formación Barroso y algunos cuerpos plutónicos en el límite Cretácico inferior – Cretácico superior

AGRADECIMIENTOS

Se agradece al Servicio Geológico Colombiano, entidad que suministró los datos de los análisis de petrografía, geoquímica y dataciones, obtenidos en los proyectos Cauca - Romeral y Cordillera Occidental.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Álvarez, E. & Gonzalez, H., 1978. Geología y geoquímica del Cuadrángulo I-7 (Urrao). Ingeominas. Informe 1761. Medellín. 347p.
- [2] Castro, N. y Feininger, T., 1965. Geología en la región entre Buriticá y Santa Fe de Antioquia, Con especial referencia a la geología económica de un cuerpo andesítico. Ingeominas, informe Interno. 37 p. Medellín

- [3] Correa, A.M., Pimentel, M., Restrepo, J.J., Ordóñez-Carmona, O., Martens, U. & Laux, J.E., 2007. Edades de cristalización y características isotópicas de la Diorita e Altavista y del Gabro de San Diego en el Valle de Aburrá (Antioquia). Memorias XI Congreso Colombiano de Geología, Bucaramanga. Colombia. Cox, K.G., Bell, J.D., Pankhurst, R.J., 1979. The interpretation of igneous rocks. George Allen y Unwin, Londres.
- [4] Etayo, F.; González, H. y Alvarez, J., 1980. Med Albian ammonites from northern Western Cordillera, Colombia. Geología Norandina. No. 2, p 25-30. Bogotá.
- [5] Geoestudios-Ingeominas., 2005. Complementación geológica, geoquímica y geofísica de la parte occidental de las planchas 130 Santa Fé de Antioquia y 146 Medellín Occidental.
- [6] Göbel, V.; Stibane, F., 1979. K/Ar hornblende ages of tonalite plutons, Cordillera Occidental, Colombia. U. Nal., Publ. Esp. Geol., (19):1-2. Medellín.
- [7] 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: 117-131. Santa Fe de Bogotá.
- [8] González, H, Restrepo, J., Toussaint, J., Linares, E., 1978. Edad radiométrica K/Ar del Batolito de Sabanalarga. U. Nal., Publ. Esp. Geol., 8: 1-4. Medellín.
- [9] González, H., 2001. Mapa Geológico del Departamento de Antioquia, Escala 1:400.000, Memoria explicativa. INGEOMINAS, Bogotá. 240 p.
- [10] González, H., 2001. Memoria explicativa del Mapa Geológico del Departamento de Antioquia. Escala 1:400.000. INGEOMINAS, 240 p. Medellín.
- [11] González, H. & Londoño, A.C., 2002a. Catálogo de las unidades litoestratigráficas de Colombia, Batolito de Sabanalarga, Cordillera Occidental, departamento de Antioquia. INGEOMINAS. 12p.
- [12] González, H. & Londoño, A., 2002b. Catálogo de unidades litoestratigráficas de Colombia. Tonalita de Buriticá, Stock de Buriticá (K2tb). Cordillera Occidental, Departamento de Antioquia. Cretácico Superior. INGEOMINAS, 16 p.
- [13] González, H. & Londoño, A., 2002C. Catálogo de unidades litoestratigráficas de Colombia. Gabro de Altamira, Cordillera Occidental, Departamento de Antioquia. Cretácico Superior. INGEOMINAS. 9p.
- [14] Hall, R.; Álvarez, J.; Rico, II., 1972. Geología de los departamentos de Antioquia y Caldas (Sub-zona IIA) Bol. Geol. INGEOMINAS (Bogotá) 20 (1): 85 p.
- [15] Ibañez, M.; Tassinari, G. y Jaramillo J. M., 2012. U-Pb zircon ages of the Antioquian Batholith: geochronological constraints of late Cretaceous magmatism in the central Andes of Colombia.
- [16] Nakamura, N., 1974. Determination of REE, Ba, Fe, Mg, Na and K in carbonaceous and ordinary chondrites. Geochimica and Cosmochimica Acta, Vol. 38, p. p. 757-775.
- Nivia, A.; Gizelle, M. y Andrew, K., 1996. El Complejo Quebradagrande una posible cuenca marginal intracratónica del Cretáceo inferior en la Cordillera Central de los Andes Colombianos: VII Congreso Colombiano de geología.
- [17] Nivia A. & Gómez T., 2005. El Gabro Santa Fe de Antioquia y la Cuarzodiorita Sabanalarga, una propuesta de nomenclatura litoestratigráfica para dos cuerpos plutónicos diferentes agrupados previamente como Batolito de Sabanalarga en el Departamento de Antioquia, Colombia.
- [18] Maya, M., González, H., 1995. Unidades litodémicas en la Cordillera Central de Colombia, Bol. Geol. INGEOMINAS, vol. 35, N°2,3, p.43-57.
- [19] 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. 111p. Medellín.
- [20] Ordóñez, C. O., 2001. Caracterização Isotópica Rb-Sr e Sm-Nd dos Principais Eventos Magmáticos nos Andes Colombianos. Instituto de Geociências, Universidade de Brasília. Tese de Doutorado-Inédita. 176 p.
- [21] Ordóñez, C. O. and Pimentel M. M., 2001. Consideraciones geocronológicas e Isotópicas del Batolito Antioqueño. Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales.
- [22] 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: 956-983.
- [23] 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
- [24] 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, p 63-81.

[25] Ramírez, J., 1976. Estudio geológico de la secuencia de Rocas Básicas de Altamira (Antioquia). Tesis, Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Minas, Medellín, 108p.

[26] Rodríguez, G. & Zapata, G., 1996. Mineralización de segregación magmática en el Batolito de Sabanalarga. *Bol. Geol.* Vol., 35 No. 1-3, INGEOMINAS.

[27] Rodríguez, G. & Zapata, G., 1995. Exploración de metales base (Cu - Pb - Zn) y oro en una faja al oeste del Municipio de Ituango, Ingeominas, informe 2186, 49p y anexos. Medellín.

[28] Rodríguez G., González H., Restrepo J. J., Martens U. y Cardona J. D., en imprenta. Occurrence of granulites in the northern part of the Western Cordillera of Colombia. *Boletín de Geología*. Universidad Industrial de Santander.

[29] Rodríguez & Arango (en imprenta). 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

[30] Sun, S.S., McDonough, W.F., 1989. Chemical and isotopic systematic of ocean basalts: implications for mantle composition and processes. In: Saunders, A.D., Norry, M.J. (Eds.), *Magmatism in the Ocean Basins*. Geological Society of London Special Publication, vol. 42, pp. 313–346.

[31] Whalen, J.B., Currie, K.L. Y Chappell, B.W., 1987. A-type granites: geochemical characteristics, discrimination and petrogenesis. *Contributions to Mineralogy and Petrology* 95: 407- 419

[32] Vinasco, C. J., 2001. A Utilização da Metodologia 40AR - 39AR para o Estudo de Reativações Tectônicas em Zonas de Cisalhamento, Paradigma - O Falhamento de Romeral nos Andes Centrais da Colombia. *Dissertação (Mestrado)*, Universidade de Sao Paulo São Paulo. 85 p., 1 mapa.

[33] Weber, M.; Gómez-Tapias, J.; Duarte, E.; Cardona, A.; Vinasco_Vallejo, C.J., 2011. Geochemistry of the Santa Fe Batholith in NW Colombia: Remnant of an accreted Cretaceous arc. *Memorias XIV Congreso Latinoamericano de Geología*, p. 128-129, Medellín, Colombia

[34] Wilson, M., 1991. *Igneous Petrogenesis*. A global tectonic approach. Harper Collins Academic.