

REINTERPRETACIÓN GEOQUÍMICA Y RADIOMÉTRICA DE LAS METABASITAS DEL COMPLEJO ARQUÍA

Gabriel Rodríguez¹; Maria Isabel Arango¹

RESUMEN

El Complejo Arquía aflora como una franja alargada, estrecha y discontinua de esquistos anfibólicos y sericíticos, cuarcitas y neises, junto a anfibolitas y metagabros asociados a cuerpos ultramáficos, se localiza entre las fallas Cauca Almaguer y Silvia Pijao, en la zona de colisión de basamento metamórfico de la Cordillera Central y oceánico de la Cordillera Occidental de Colombia, siendo considerado como parte de un “melange” conformado por franjas de bloques discontinuos y delgados que involucra retazos de corteza continental y corteza oceánica, entre las Fallas San Jerónimo y Cauca - Almaguer.

El análisis geoquímico se hizo sobre metabasitas del Complejo Arquía (Esquistos de Sabaletas, Esquistos Anfibólicos del río Cauca, Secuencia Metamórfica de Buesaco, Grupo Bugalagrande, Complejo Rosario, Complejo Bolo Azul, Esquistos de Lisboa - Palestina y Metagabro de Santa Rosa), que corresponden a protolitos afines con basaltos toleíticos subalcalinos ricos en Mg de tipo N-MORB, variando la SiO₂ entre 44,24% y 53,49wt%, el álcalis vs SiO₂ entre 0,03% a 0,09wt%, la relación Nb/Y entre 0,05 y 0,15 y el #Mg entre 45,03 a 72,34.

Las edades del Complejo Arquía se agrupan principalmente en dos intervalos: 100 a 113 Ma y 203 a 229 Ma. Las edades entre 100 y 113 Ma corresponden a datos radiométricos obtenidos mediante el método K/Ar, que coinciden con el inicio del Arco Barroso – Sabanalarga que afectó la zona de sutura y las dos cortezas, siendo interpretadas como posibles edades de calentamiento. Las edades entre 203 y 229 Ma se obtuvieron por el método Ar-Ar y se interpretan como la posible edad de metamorfismo, concordantes con la edad de metamorfismo del Complejo Cajamarca, que es el basamento de la Cordillera Central de Colombia.

Palabras Clave: Complejo Arquía, geoquímica, edad.

GEOCHEMISTRY AND RADIOMETRIC REINTERPRETATION OF THE METABASITES OF THE ARQUIA COMPLEX

ABSTRACT

The Arquia Complex appears as a strip elongated, narrow and discontinuous, consisting in amphibole - sericite schist, quartzites and gneisses alongside amphibolites and metagabbros associated with ultramafic rocks. There is located between the Cauca Almaguer and Silvia Pijao Faults, in the collision zone of metamorphic basement of the Cordillera Central and oceanic basement of the Cordillera Occidental of Colombia. The Arquia Complex has been considered as part of a “melange” which is formed for strips thins discontinuous blocks involving continental and oceanic crust parts between Cauca Almaguer and San Jerónimo Faults.

Geochemical analysis was performed on Arquia Complex metabasites (Sabaletas schist, Cauca river amphibole schist, Buesaco metamorphic sequence, Bugalagrande Group, Rosario Complex, Bolo azul Complex, Lisboa – Palestina schist and Santa Rosa metagabbro), corresponding to subalkaline tholeiitic basalts protolites type N-MORB with high magnesium, SiO₂ between 44,24% and 53,49wt%, alkalis vs SiO₂ 0,03%- 0,09wt%, with Nb/Y=0,05-0,15 ratios and #Mg=45,03 – 72,34.

The Arquia Complex ages are grouped into the two ranges: 100-113 Ma and 203-229 Ma. The first range (100-113 Ma) corresponded with radiometric ages obtained by K/Ar method, and coincide with the start stage of the Barroso-Sabanalarga Arc, affecting the suture zone and the two crusts, being interpreted as heating ages. The second range include ages between 203 – 229 Ma, obtained by Ar/Ar, and are interpreted as metamorphic age. These data are consistent with the age of metamorphism of the Cajamarca Complex, being this the basement of the Cordillera Central of Colombia.

Keywords: Arquia Complex, age, geochemistry.

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

INTRODUCCIÓN

El Complejo Arquía constituye una pieza esencial en los modelos de evolución de los Andes del Norte, se localiza en la zona de colisión entre el basamento metamórfico de la Cordillera Central y el basamento oceánico de la Cordillera Occidental, y ha sido objeto de múltiples interpretaciones entre las que se destacan las siguientes: 1- Constituye un terreno exótico amalgamado o adosado al continente durante el Cretácico Superior (Villagómez *et al.*, 2011; Moreno-Sánchez y Pardo-Trujillo, 2003); 2- Es un complejo acrecionario que está conformado por rocas de diferente origen, composición y edad (Ruíz *et al.*, 2012; Rodríguez-Jiménez, 2010; Giraldo, 2010); 3- Corresponde a un complejo de edad Neoproterozoica y su origen está ligado al de las rocas del Complejo Cajamarca (Nivia *et al.*, 2006; Rodríguez-Jiménez, 2010); 4- Representa una asociación de bloques heterogéneos que incluyen fragmentos pre-Triásico, bloques metamórficos Albiano-Aptiano y cuerpos de rocas del Maastrichtiano-Daniano (Bustamante *et al.*, 2011); 5- La edad mínima del metamorfismo del Complejo Arquía es Cretácico temprano según edades K/Ar (Restrepo y Toussaint, 1975; Toussaint, 1996; Brook, 1984; Restrepo, 1991; Restrepo, 2008; McCourt *et al.*, 1984) y Ar/Ar (Vinasco *et al.*, 2001). En este contexto de ideas se analiza nueva información geoquímica y radiométrica de los diferentes cuerpos que conforman el Complejo Arquía obtenida por INGEOMINAS (actual Servicio Geológico Colombiano - SGC) en los proyectos Cauca Romeral y Cordillera Occidental, información que comprende las metabasitas desde el sur del departamento del Cauca hasta el norte del Departamento de Antioquia, involucrando la mayor cantidad de datos disponibles tanto nuevos como publicados por otros autores.

El artículo trata de dar respuesta o sugerir ideas a cuestiones tan importantes como: ¿Las metabasitas del Complejo Arquía realmente son un conjunto de bloques de diferente edad, origen y composición, o corresponde a un conjunto de bloques fallados puestos tectónicamente en contacto, pero con una impronta geoquímica comparable?; ¿Qué significan los numerosos edades reportadas para el Complejo Arquía?; ¿Las edades son del metamorfismo o algunas corresponden a edades de abertura de sistemas por calentamiento causado por magmatismo de arco o por tectonismo?.

El análisis de unidades no incluye los esquistos azules de alta presión, por considerar que pueden tener una historia diferente a las metabasitas que afloran al norte de estos y que se incluyen en el Complejo Arquía.

MARCO GEOLÓGICO

El Complejo Arquía (Maya y González, 1995) constituye una franja alargada, estrecha y discontinua de esquistos anfibólicos, sericíticos, cuarcitas y neises, junto a anfibolitas y metagabros asociados a cuerpos ultramáficos que se extienden desde Santafé de Antioquia en Colombia hasta Ecuador; localizada al oriente de la Falla Cauca-Almaguer (Cauca-Patía) que lo separa de las rocas de arco de la Formación Barroso y de las Diabasas de San José de Urama de afinidad T- MORB en el norte de la Cordillera Occidental en el sentido de Rodríguez y Arango (2012) y al sur de dicha cordillera lo limita con el Grupo Diabásico (FIGURA 1). El Complejo Arquía se encuentra limitado al oriente por la Falla Silvia-Pijao que lo separa del Complejo Quebradagrande (Maya y González, 1995; Nivia, 1996 y González, 2001) conformado por bloques deformados de rocas de arco junto a rocas de basamento oceánico de afinidad T-MORB (Villagómez *et al.*, 2011; Rodríguez y Zapata, 2013).

En este trabajo se trata de incluir todas las unidades metamórficas básicas que afloran al occidente de la Falla Silvia-Pijao y al oriente de la Falla Cauca-Almaguer, comprendiendo las metabasitas del Grupo Arquía (Toussaint y Restrepo, 1974), los Esquistos de Sabaletas (Restrepo, 1986) y los Esquistos Anfibólicos del río Cauca (González, 1980) en la zona de Antioquia, además de la Secuencia Metamórfica de Buesaco (Murcia y Cepeda, 1991a y b), el Grupo Bugalagrande (Grotjohann and McCourt, 1981), el Complejo Ígneo Metamórfico del río Rosario (Esquivel *et al.*, 1981), el Complejo Bolo Azul (Mccourt *et al.*, 1984), los Esquistos de Lisboa - Palestina (Mosquera, 1978), el Metagabro de Santa Rosa (Estrada y Viana, 2001; Gómez *et al.*, 2004) y el Neis de Chinchiná (Mosquera, 1978) en los departamentos de Caldas, Risaralda, Valle y Cauca.

Los límites entre los diferentes bloques corresponden al Sistema de Fallas de Romeral (Maya y González, 1995), constituido por una serie de fallas regionales y zonas de cizalladura antiguas donde las unidades litológicas son difíciles de agrupar y diferenciar, variando las relaciones y aún la nomenclatura de éstas entre los diferentes bloques. Dentro de este Sistema, la Falla Cauca-Almaguer (Maya y González, 1995; Nivia, 1996) ha sido considerada el límite o sutura del Cretácico Inferior (Mccourt *et al.*, 1984), entre corteza continental al oriente y corteza oceánica al occidente, nuevos datos cuestionan ésta estructura como el límite entre las dos cortezas, para Villagómez *et al.* (2011) el límite podría ser la Falla Quebradagrande mientras para Rodríguez y

Zapata (2013) el Complejo Quebradagrande representa parte del arco Barroso – Sabanalarga, emplazado en un basamento de *plateau*, segmentando el conjunto por el sistema de Fallas de Romeral.

El límite entre corteza oceánica y corteza continental en los Andes del Norte no ha sido claramente definido; si se tienen en cuenta las unidades con metamorfismo regional dinamo-térmico, el basamento oceánico se puede extender hasta la Falla Otú-Pericos, pues algunas de las metabasitas tienen signature de tipo MORB (Nivia, 2011; Restrepo, 2008), pero si se excluye el basamento metamórfico de la Cordillera Central de Colombia, el límite corresponde a la Falla San Jerónimo que es el límite oriental del Complejo Quebradagrande, constituido por tobas y andesitas basálticas de arco y diabasas de afinidad T-MORB. En este contexto las unidades que se localizan entre las fallas Cauca-Almaguer al occidente y San Jerónimo al oriente representan un “melange” como fue considerado por González (1978) y posteriormente por Cediel *et al.* (2003), “melange” que está conformado por franjas de bloques discontinuos y delgados que involucra retazos de corteza continental

y corteza oceánica, que forman franjas delgadas en posición tectónica regional definida de corteza oceánica de afinidad MORB junto a vulcanitas del arco Cretácico (Complejo Quebradagrande) y franjas de metamorfitas de posible corteza continentalizada (Complejo Arquía, Metasedimentitas de Sinifaná).

MATERIALES Y MÉTODOS

Se recopiló información geoquímica y de dataciones de diferentes unidades de rocas básicas que hacen parte del Complejo Arquía. El análisis geoquímico se realizó para un total de 33 datos recientes publicados por Ruíz, *et al.* (2012); Villagómez *et al.* (2011), Giraldo (2010) y Dorado (2006), además, se incluyen diez análisis litogeoquímicos que hacen parte de los trabajos de complementación cartográfica del Terreno Cauca-Romeral en las planchas 130, 146, 186, 224, 243, 280,321 y 343 del INGEOMINAS (FIGURA 1). Para la generación de los diagramas de geoquímica se apoyó en el *software* GCDKit 2,3, los datos de localización de las muestras con edad y litogeoquímica compilados fueron tratados en Magna Colombia Bogotá Zone.

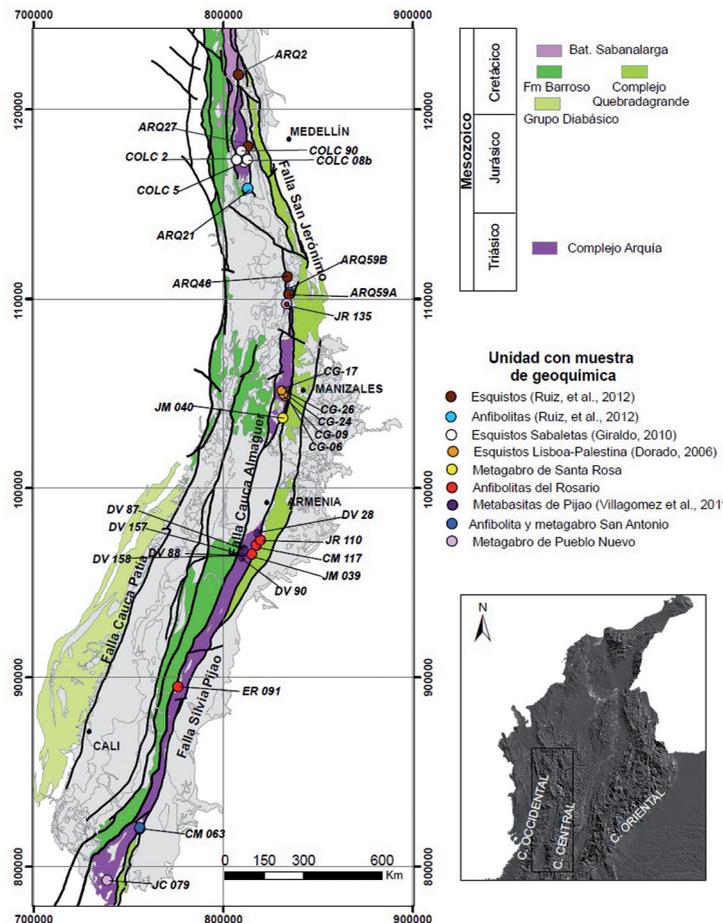


FIGURA 1. Localización de las muestras con análisis geoquímicos.

GEOQUIMICA

Los análisis litogeoquímicos de las rocas tomadas del INGEOMINAS fueron elaborados por el laboratorio canadiense ActLabs para óxidos mayores, elementos traza y elementos de las tierras raras, utilizando como método de análisis ICP-MS bajo un límite de detección de 0,01%. Los datos de óxidos mayores han sido recalculados al 100% corrigiendo la pérdida de ignición (LOI), excepto para las rocas tomadas de Ruíz, *et al.* (2012), los cuales ya se encuentran integrados. Los resultados crudos de los óxidos se muestran en la TABLA 1, los valores de elementos de Tierras Raras (REE) y elementos traza en la TABLA 2.

En general son rocas básicas con contenidos de SiO₂ que varía entre 44,24 y 53,49%, presentan concentraciones altas de MgO en el rango 5,53 a 11,18% y FeO₂ entre el 7,86 al 14,83%. La baja relación del álcalis vs SiO₂ (0,03 a 0,09wt%), clasifica las rocas en la serie toleítica de basaltos a basaltos andesíticos subalcalinos

(FIGURA 2A), con índices de Mg ($\#Mg = (100 * MgO_{mol} / (MgO_{mol} + FeO_{mol}))$) que varían entre 45,03 a 72,34, correspondiendo a rocas básicas donde el número magnésiano disminuye proporcionalmente con la evolución del magma (Wilkinson, 1982); los valores menores están relacionados con las rocas CG 09, COLC 02 y ARQ 21 que en los diagramas se comportan por fuera de la tendencia general, debido posiblemente a cambios petrográficos relativos, eventualmente a un enriquecimiento dentro de su mineralogía de álcalis y/o titanio. Los valores de TiO₂ para la mayoría de las muestras varía entre 1% y 2% y en general las muestras están en el rango de 0,41 a 2,8, este último valor para la roca COLC-2 que petrográficamente contiene esfena (Giraldo, 2010). La roca CG-09 presenta valor mayor de TiO₂ de 3,06%; se presenta K₂O con relaciones hasta de 0,70% (FIGURA 2B), las muestras CG06 y CG 09 (Dorado, 2006) tienen mayor contenido de K₂O localizándose en el campo de rocas calcoalcalinas más enriquecidas.

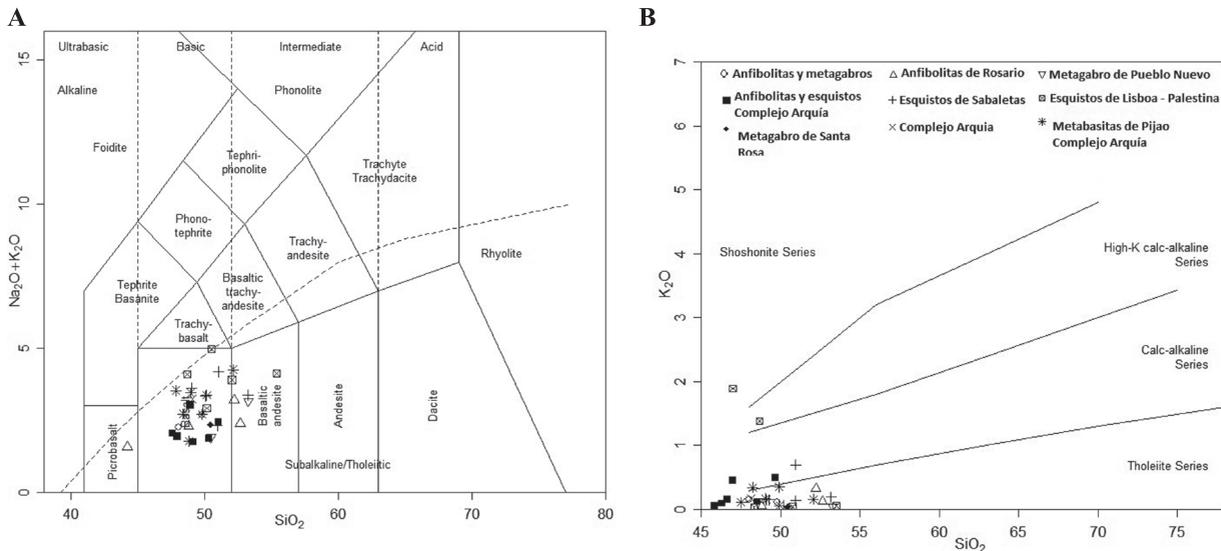


FIGURA 2. A). Concentración de álcalis vs concentración de SiO₂ para basaltos (LeBas, *et al.*, 1986). B). Diagrama de Peccerillo and Taylor (1976).

En el diagrama de Jensen (1976) (FIGURA 3), las rocas se concentran en el campo de la serie de basaltos toleíticos ricos en Mg con una leve transición a basaltos toleíticos ricos en Fe de las rocas CG 09, ARQ2, Dv-157 y COLC-02, para esta última debido a un incremento de TiO₂ fragmentado a partir de la hornblenda (Giraldo, 2010).

El uso de los diagramas con relaciones de elementos inmóviles como el propuesto por Winchester and Floyd (1977) (FIGURA 4), permiten conocer las características genéticas de las rocas sin que se reflejen procesos posteriores como el metamorfismo, en este diagrama se muestra un índice de diferenciación para la mayoría de las rocas analizadas; con relaciones de Zr/TiO₂ entre el 50 y el 70 y Nb/Y entre 0,05 a 0,15.

TABLA 1. Resultados analíticos para óxidos mayores (%wt). Unidades Geológicas: 1:Anfibolitas y metagabros (SGC), 2:Anfibolitas del Rosario (SGC), 3:Metagabro de Santa Rosa (SGC), 4:Metagabro de Pueblo Nuevo (SGC), 5: Metabasitas del Complejo Arquía (Ruíz, *et al.*, 2012 y SGC), 6:Esquistos de Sabaletas (Giraldo, 2010), 7:Esquistos Lisboa-Palestina (Dorado, 2006), 8:Metabasitas de Pijao Complejo Arquía (Villagómez *et al.*, 2011).

Muestra	Unidad	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	LOI	TOTAL
CM063	1	45,88	15,95	8,09	0,143	10,68	11,97	2,01	0,14	0,596	0,05	3,76	99,27
CM064	1	48,71	16,61	8,13	0,139	8,11	12,56	2,51	0,11	0,863	0,09	1,73	99,56
CM117	2	51,78	13,13	12,21	0,215	7,38	9,23	2,21	0,13	1,851	0,18	0,95	99,27
ER091	2	51,31	15,38	9,44	0,17	7,15	10,43	2,84	0,31	1,131	0,11	1,54	99,8
JM039	2	44,08	20,03	12,63	0,218	6,69	12,66	1,27	0,31	1,584	0,18	0,77	100,4
JR110	2	48,36	13,91	14,69	0,263	7,79	9,15	2,23	0,06	2,381	0,22	0,41	99,47
JM040	3	49,85	15,81	7,76	0,123	9,47	13,05	2,28	0,04	0,402	0,03	1,93	100,7
JC079	4	52,3	11,95	7,74	0,134	9,96	11,44	3,07	0,04	1,536	0,02	2,14	100,3
JR135	4	49,58	13,32	13,66	0,227	7,8	9,19	1,88	0,009	2,357	0,21	1,45	99,63
ARQ21	5	46,29	14,52	12,99	0,18	5,84	12,98	1,9	0,09	2,23	0,22	2,16	99,4
ARQ59A	5	48,54	14,46	11,8	0,22	8,86	9,11	1,68	0,12	1,51	0,13	2,83	99,26
ARQ59B	5	47	14,43	11,86	0,22	7,83	9,98	2,46	0,45	1,66	0,14	3,13	99,16
ARQ2	5	45,86	16,58	10,23	0,14	8,26	10,53	1,81	0,05	1,88	0,26	3,53	99,13
ARQ27	5	49,69	14,67	10,42	0,17	7,6	11,43	1,88	0,5	0,9	0,09	2,02	99,37
ARQ46	5	46,66	15,64	9,91	0,18	8,3	11,48	1,5	0,15	1,03	0,07	4,52	99,44
MM-1326R	5	48,14	14,26	12,26	0,21	9,69	8,33	3	0,17	1,81	0,16	1,9	99,93
COLC 5	6	49,04	14	12	0,151	8,23	9,53	3,2	0,06	1,577	0,15	2,623	100,3
COLC 2	6	48,2	13,19	14	0,194	6,31	9,87	3,39	0,15	2,739	0,28	2,109	99,93
COLC 3	6	49,66	14,61	11	0,16	7,27	8,42	3,39	0,68	1,882	0,16	2,91	100,4
COLC 08b	6	49,95	14,36	9,6	0,151	7,84	12,5	2,14	0,14	1,235	0,13	2,363	100,4
COLC 90	6	51,36	13,53	10	0,147	8,99	7,49	3,06	0,18	1,557	0,15	3,747	100,3
CG-06	7	47,01	15,45	11,78	0,18	6,95	8,98	2,06	1,89	1,98	0,23	3,3	99,89
CG-09	7	48,68	14,05	13,37	0,2	5,53	6,3	3,4	1,38	3,06	0,34	3,5	99,83
CG-17	7	53,49	13,11	8,81	0,2	7,78	7,84	3,93	0,05	1,24	0,09	3,5	100
CG-24	7	48,34	15,21	9,5	0,16	10,55	8,66	2,79	0,03	1,01	0,08	3,6	100
CG-26	7	50,78	14,13	9,72	0,18	7,55	9,7	3,76	0,04	1,55	0,13	2,4	99,99
DV28	8	48,71	14,37	11,97	0,2	8,07	9,69	2,32	0,35	2,18	0,22	1,52	99,63
DV29	8	47,33	19,16	8,33	0,28	5,86	12,02	1,36	0,33	1,13	0,04	4,06	99,96
DV87	8	47,02	15,4	12,2	0,18	6,76	12,35	2,56	0,17	1,88	0,18	1,81	100,54
DV88	8	49,3	14,57	11,13	0,18	7,42	10,27	3,24	0,06	1,65	0,15	1,73	99,75
DV90	8	48,15	14,5	12,16	0,2	7,87	10,37	3,28	0,15	1,92	0,17	1,26	100,07
DV157	8	51,46	13,06	12,9	0,2	6,01	8,38	4,04	0,16	2,23	0,19	0,53	99,19
DV158	8	46,9	13,43	13,69	0,21	7,56	9,87	3,33	0,11	2,25	0,21	1,5	99,19

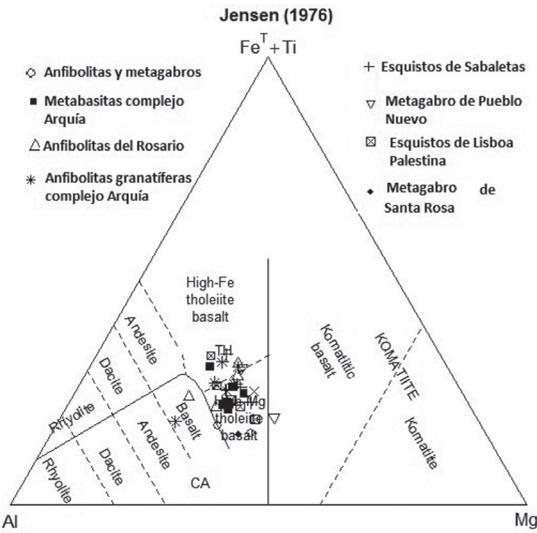


FIGURA 3. Diagrama catiónico Jensen (1976), concentra las muestras del Complejo Arquía en el campo de basaltos toleíticos ricos en Mg.

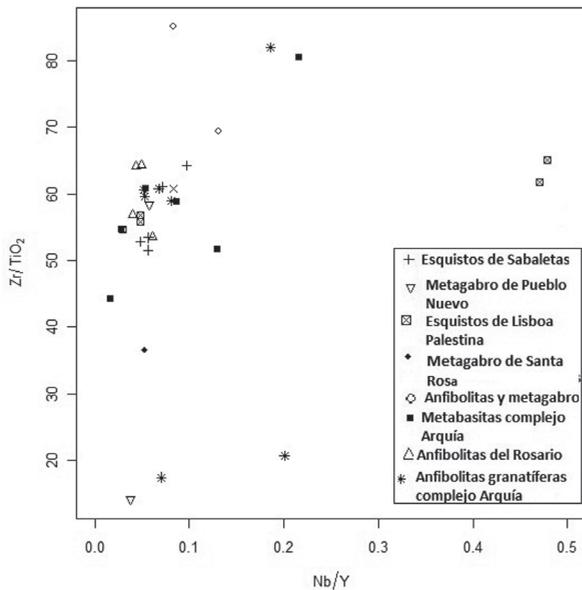


FIGURA 4. Diagrama Zr/TiO₂ vs Nb/Y para las muestras del Complejo Arquía.

La relación Nb/Y es un indicador del grado de alcalinidad de las rocas, lo que es congruente en el gráfico con la localización anómala de las muestras de los Esquistas de Lisboa-Palestina (CG06 y CG09) con valores hasta de 0,47. Las rocas del Complejo Arquía se ubican en la serie toleítica, de acuerdo con la proporción de Nb/Y < 0,5 (Pearce, 1982). Las muestras JC079 del Metagabro de Pueblo Nuevo, las Metabasitas de Pijao Dv90 y Dv157 tienen altos contenidos de TiO₂ y bajo Zr, presentando un comportamiento diferente a la tendencia de las demás rocas del Complejo Arquía. Se presenta mayor fraccionamiento para las muestras de metabasitas del

Complejo Arquía ARQ2, Metabasitas de Pijao DV 157 y CM064 (anfibilota y metagabro), reflejado por valores altos de Zr. En general, con estos diagramas se observa cogenetismo; es decir, una posible fuente común de magmas toleíticos diferenciados para los protolitos de las rocas en discusión.

Lo anterior es respaldado por las relaciones La/Nb=1,53 y Th/La=0,08 que están dentro de los valores normales para basaltos oceánicos, excepto para la roca ARQ 59B que presenta un valor mayor. En los diagramas normalizados a MORB, se muestra como característica de todas las rocas analizadas un empobrecimiento en Rb el cual ha sido movilizizado ante procesos de metamorfismo, esto debido a que es un elemento de las Tierras Raras ligeras (LILE) con propiedades de mayor movilidad, por otro lado el Nb tiende a ser altamente incompatible mostrando anomalía negativa que podría resultar como heredada de la fuente ya empobrecida. (Sun and McDonough, 1989).

De acuerdo con Rollinson (1993), los elementos V y Ti sirven como discriminadores de ambiente ya que actúan como un medidor de la actividad del O₂ en un magma y de los procesos de cristalización fraccionada que pudieron haber ocurrido; la relación Ti/V para las rocas varía entre un 20 a 50 (FIGURA 5) que las ubica en el campo de cuencas retroarco y de dorsales oceánicas (MORB). La roca CG 09 muestra una afinidad con basaltos de intraplaca que según Dorado (2006), se debe a una interacción con un componente mantélico más profundo enriquecido en elementos incompatibles.

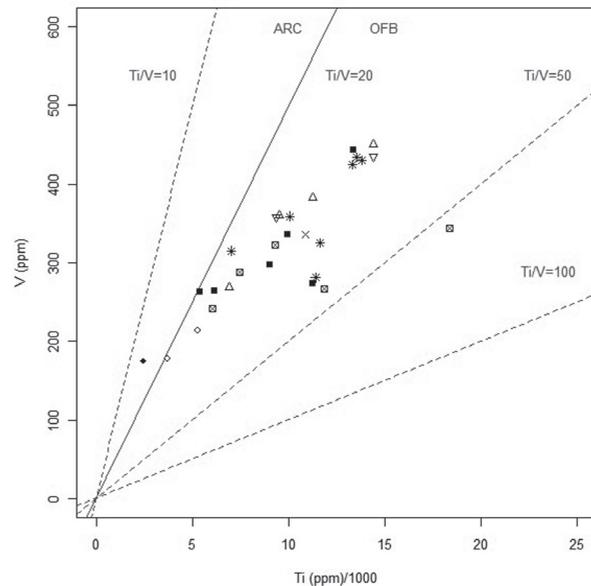


FIGURA 5. Diagrama Shervais, 1982, discriminación de ambientes para las rocas del Complejo Arquía. (Simbología similar que en todos los diagramas).

TABLA 2. Análisis químicos de elementos traza y tierras raras en ppm.

Muestra	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Tm	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	Hf	Ta	Sc	Be	V	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Ag	Cr ₂ O ₃
CM0631	1,13	3,58	0,63	3,73	1,31	0,64	2,02	0,4	2,65	0,57	1,68	0,25	1,62	0,24	1,1	0,06	27	<1	178	40	250	20,5	0	15	1,3	<1	88	16	43	2,1	10	<0,5	
CM0641	2,27	7,26	1,21	6,51	2,2	1	3,08	0,58	3,74	0,76	2,29	0,34	2,2	0,33	1,8	0,14	33	1	214	35	100	60	80	17	1,5	5	143	21,6	75	1,8	4	<0,5	
CM1171	3,71	12,4	2,12	12	4,12	1,62	5,89	1,12	7,33	1,5	4,6	0,69	4,32	0,67	3,3	0,13	42	2	383	38	60	50	110	20	1,4	1	110	42,8	107	1,7	<2	<0,5	
ER0911	3,13	8,85	1,49	8,36	2,91	1,14	4,05	0,76	4,73	0,99	3,12	0,47	2,92	0,42	2	0,09	38	1	268	39	90	70	100	19	1,7	8	188	28,5	74	1,4	<2	<0,5	
JM0391	4,55	13,4	2,1	10,9	3,51	1,63	5,19	1,02	6,56	1,31	3,98	0,59	3,77	0,58	2,3	0,17	49	1	360	51	140	70	140	24	1,9	4	232	39,1	85	2,4	<2	<0,5	
JR1101	5,64	18,3	3,16	17,3	5,56	2,07	8,27	1,56	9,6	1,92	5,81	0,88	5,71	0,85	4,2	0,19	47	2	451	48	120	130	190	19	1,4	<1	82	55,7	154	2,4	<2	<0,5	
JM0401	0,83	2,59	0,4	2,34	0,91	0,58	1,39	0,28	1,89	0,4	1,18	0,17	1,1	0,17	0,6	<0,01	38	<1	175	40	150	20	50	14	1,4	<1	112	11,3	15	0,6	<2	<0,5	
JC0791	0,61	2,37	0,45	3,05	1,38	0,83	2,21	0,48	3,21	0,65	2	0,3	1,9	0,29	0,8	0,03	52	<1	358	45	130	130	70	10	1,3	<1	68	18,3	22	0,7	<2	<0,5	
JR1351	5,15	16,4	2,82	15,3	5,16	1,95	7,47	1,38	8,88	1,77	5,24	0,81	5,17	0,76	3,9	0,27	42	2	435	39	120	60	130	21	1,5	2	141	50,8	140	2,9	<2	<0,5	
ARQ212	4,57	15,1	2,73	14,9	5,46	1,88	7,52	1,4	8,56	1,93	5,45	0,84	4,89	0,73	0,52	0,38	48,2	0,68	444	51,7	49,4	103	106	24,4		0,49	222	55,3	135	2,99	1,95		
ARQ59A2	2,85	8,73	1,84	12,8	5,36	1,83	6,57	1,13	6,58	1,47	4,45	0,64	4,21	0,75	1,37	0,57	43,7	3,78	297	54	79,8	41,3	103	16,7		2,86	109	31,3	82,5	0,89	5,18		
ARQ59B2	3,87	10,8	2,15	14,9	6,13	2,07	6,44	1,31	7,51	1,47	5,13	0,97	5,17	0,89	1,69	0,79	42,9	4,63	336	60,5	71,3	64,7	110	17,7		13,9	97,5	35,2	97,5	3,04	6,17		
ARQ22	8,29	22,2	3,46	17	5,01	1,7	6	1,07	6,17	1,29	3,73	0,62	3,34	0,48	0,64	0,76	40,5	1,42	274	46,9	144	52,3	86,7	18,7		0,99	250	35,1	151	7,58	2,66		
ARQ272	3,53	8,48	1,27	6,39	2,09	0,72	2,54	0,46	2,91	0,63	1,74	0,26	1,64	0,26	0,5	0,28	42	0,52	263	49	102	44,5	76,6	13,2		15,8	101	17,7	46,5	2,3	1,04		
ARQ462	0,96	3,9	0,82	5,37	2,38	1,01	3,58	0,65	4,11	0,89	2,56	0,41	2,49	0,37	0,52	0,17	43,1	0,65	264	45,7	75,6	103	82,8	14,9		5,84	127	24,1	45,5	0,41	1,46		
MM-1326R1	3,36	10,9		10,6	3,6	1,65			4,07				3,8	0,57	2,7												<1	188	35,5	83	2		
COLC53	6,48	20,3		19	6,14	2,32			6,64				6,21	0,95	4,9												<1	100	62,7	171	4,5		
COLC23	3,65	12,2		12,4	3,95	1,72			4,63				4,21	0,65	3,1												6	174	45,4	102	2,2		
COLC33	3,41	9,93		9,14	2,92	1,5			2,87				2,65	0,4	2,2												4	231	23,6	81	2,3		
COLC08B3	3,05	10,2		10	3,38	1,33			3,79				3,6	0,53	2,6												3	112	33,5	86	1,9		
COLC903	3,9	13	2,18	13,1	4,2	1,6	5,72	1,06	6,56	1,35	4,12	0,62	3,79	0,6	3	0,2	41	0,9	336	41	76	73,7	45	18,2		2	109	38,3	110	3,2	0,5	0,2	
CG-064	9,2	24,8	3,41	15,9	4,1	1,3	4,53	0,85	4,44	0,8	2,28	0,34	2,13	0,3	3,4	0,6	31	1	267	53,1	174	20,5	20,5			51,8	193	23,6	122	11,1			
CG-094	16,6	43,9	5,84	27,6	7	2,17	7,42	1,41	6,76	1,29	3,74	0,54	3,29	0,46	5,1	1,1	32	2	344	41,3	36	20,7	20,7			40,5	252	38,2	199	18,3			
CG-174	2,7	8,9	1,62	8,7	3	0,92	4,39	0,86	5,08	0,99	3,02	0,45	2,78	0,42	2,2	0,1	36	0,9	288	36,3	61	13,1	13,1			1	90,9	29	70,5	1,4			
CG-244	1,7	6,5	1,18	6,7	2,3	1,02	3,33	0,68	3,97	0,8	2,43	0,36	2,42	0,32	1,7	0,09	37	0,9	241	38,6	130	14,4	14,4			0,5	124	23,5	55,2	0,7			
CG-264	2,9	10,3	1,82	10,1	3,2	1,27	4,73	0,97	5,5	1,2	3,54	0,55	3,24	0,51	2,7	0,1	42	1	323	37,5	63	15,5	15,5			0,4	124	34,9	86,6	1,7			
DV285	4,97	15,6	2,67	15,3	4,67	2,01	7,03	1,25	8,44	1,91	5,44	0,68	4,93	0,71	3,59	0,21	49,2		425	37	73	203	24,4			4,72	141	46,2	135	3,13		0,03	
DV295	6,09	13,7	1,87	9,05	2,49	0,97	3,02	0,55	4,57	0,89	2,4	0,41	3	0,37	2,77	0,28	34,6		315	44	159	156	64,3			6,26	269	24,6	96	4,57		0,05	
DV875	1,09	5,4	1,12	6,79	2,62	0,98	3,5	0,65	4,26	0,82	2,56	0,29	2,28	0,32	1,17	0,07	41,1		281	37	102	99	11,4			0,55	138	22,1	33	1,55		0,04	
DV885	4,22	12,9	2,07	11,7	3,97	1,29	4,98	0,92	6,19	1,22	3,95	0,54	3,6	0,55	2,6	0,2	44,9		359	38	94	90	15,9			0,46	119	35,3	99	2,87		0,04	
DV905	2,81	6,82	1,21	5,12	1,52	0,61	3,2	0,4	3,42	0,78	2,09	0,32	2,62	0,32	1	0,42	46,4		325	38	99	60	17,7			1,33	94	17,2	40	3,45		0,05	
DV1575	5	16,7	2,79	15,4	5,32	1,66	7,2	1,32	8,34	1,79	5,14	0,74	5,08	0,72	3,68	0,16	37,7		434	35	49	19	120	17,6		0,92	69	48,5	137	2,51		0,03	
DV1585	5,2	17,5	2,88	16	5,37	1,68	7,23	1,34	8,3	1,84	5,42	0,75	5,2	0,76	3,6	0,14	38,7		430	45	141	4	122	19,2		1,54	130	49,7	137	2,62		0,04	

Datos tomados de: 1: SGC: Servicio Geológico Colombiano (este trabajo), 2: Ruiz, *et al.* (2012). 3: Giraldo, (2010), 4: Dorado (2006), 5: Villagómez *et al.* (2011).

En el diagrama de ambientes tectónicos (Pearce, 1982) se muestra la correlación de las rocas en los campos del MORB (FIGURA 6A), derivadas de una fuente empobrecida, las rocas Dv29, ER091, JM039, ARQ46 y ARQ21 muestran tendencias por fuera de un proceso de cristalización fraccionada, localizándose de manera anómala posiblemente por contaminación cortical. Las rocas CG06 y CG09 (Esquistos de Lisboa-Palestina) muestran una vez más su tendencia hacia fuentes enriquecidas cayendo en el campo de rocas intraplaca (FIGURA 6B).

En los diagramas de los REE normalizado a condrito (McDonough and Sun, 1995) las muestras del Complejo Arquía

Arquía tienen un comportamiento similar para las diferentes unidades de metabasitas que lo componen, con un patrón generalizado de basaltos tipo N-MORB (FIGURA 7), con empobrecimiento en tierras raras livianas (La, Ce) y tendencias planas horizontales hacia los elementos pesados, con variaciones en enriquecimiento de hasta 30 veces el valor condrito para las anfibolitas del Rosario y anfibolitas del Complejo Arquía (Ruíz, *et al.*, 2012). De acuerdo con los diagramas, se hace común la anomalía positiva del Eu, con relaciones Eu/Eu* de (0,77 a 1,45) debido a una acumulación de feldspatos posiblemente en facies más félsicas.

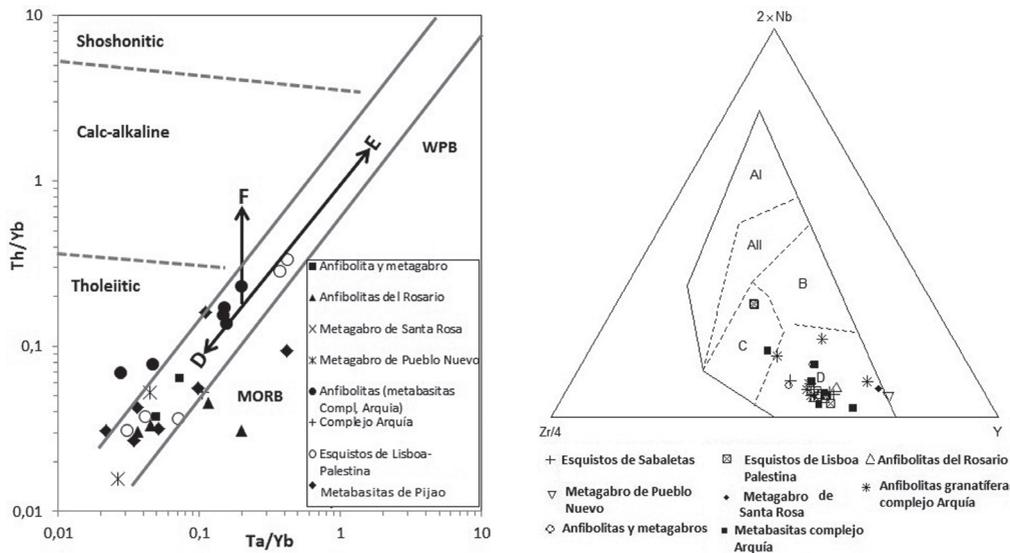


FIGURA 6A. Diagrama de discriminación de ambiente para basaltos (Pearce 1982). D. Fuente de manto empobrecido. E. Fuente de manto enriquecido. F: Cristalización Fraccionada. Campos MORB y WPB (basaltos de intra placa). **B.** Diagrama Meschede (1986), AI y AII: campo de basaltos alcalinos de intraplaca, C. campo de toleitas intraplaca, B: campo P-MORB. D: campo N-MORB.

Para las rocas (CG-09 y CG-06) de la unidad de Esquistos Lisboa-Palestina, (Dv29 y DV90) correspondientes a las Metabasitas de Pijao (Villagómez, *et al.*, 2011), y (ARQ27 y ARQ2) esquistos del Grupo Arquía (Ruíz, *et al.*, 2012) tienen una signatura similar a la traza de los basaltos E-MORB a T-MORB relacionadas a series más alcalinas, con un significativo incremento en los elementos de tierras raras ligeras (LREE) con respecto a las pesadas (HREE), indicando una fuente mantélica químicamente más enriquecida. Al revisar la petrografía de las muestras CG-09 y CG-06 de los Esquistos de Palestina y comparar con las demás muestras, no se encontraron diferencias significativas en la composición mineralógica y textural, es de anotar que protolitos basálticos de diferente ambiente geotectónico sometidos al mismo metamorfismo pueden generar rocas similares.

EDAD

Para el análisis de la edad de las metabasitas que conforman el Complejo Arquía se hizo una recopilación de las edades publicadas en trabajos anteriores incluyendo aquellas realizadas por Geostudios - INGEOMINAS (2006) y publicadas por González (2010), localizándolas dentro del contexto regional del Complejo Arquía. En la TABLA 3, se presentan las edades y en la (FIGURA 8) se muestra la localización de éstas a lo largo de las diferentes unidades que comprende el Complejo Arquía.

Las edades reportadas para la Anfibolita de Sucre por el método K/Ar (Toussaint *et al.*, 1978; Restrepo, 1991) involucran un error que varía entre +/- 20 y +/-50 Ma, por esta razón estas edades son de baja confiabilidad y no se tienen en cuenta en el análisis, aunque se compilan en la TABLA 3.

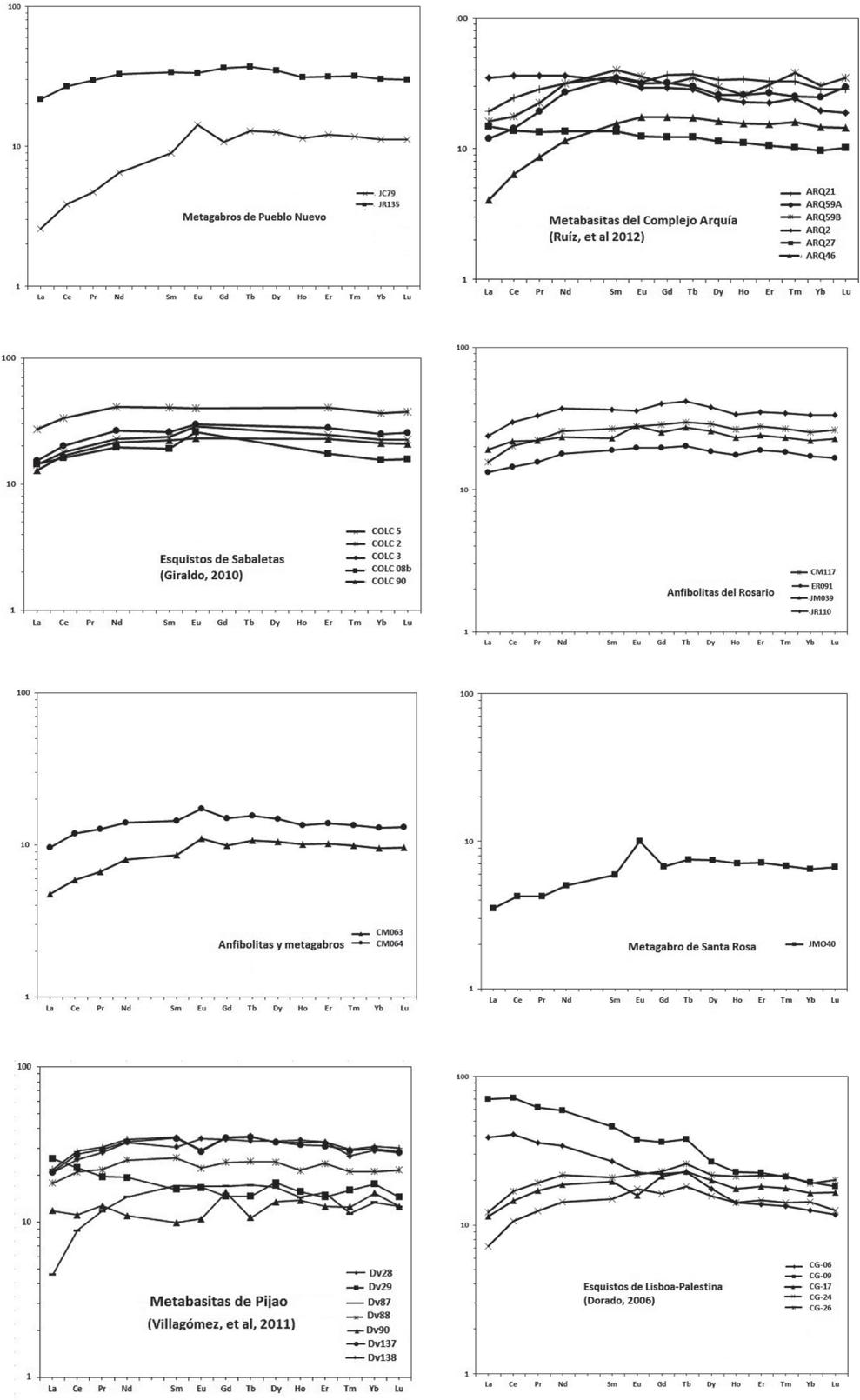


FIGURA 7. Diagramas multielementales normalizados con valores de condrito de McDonough and Sun (1995).

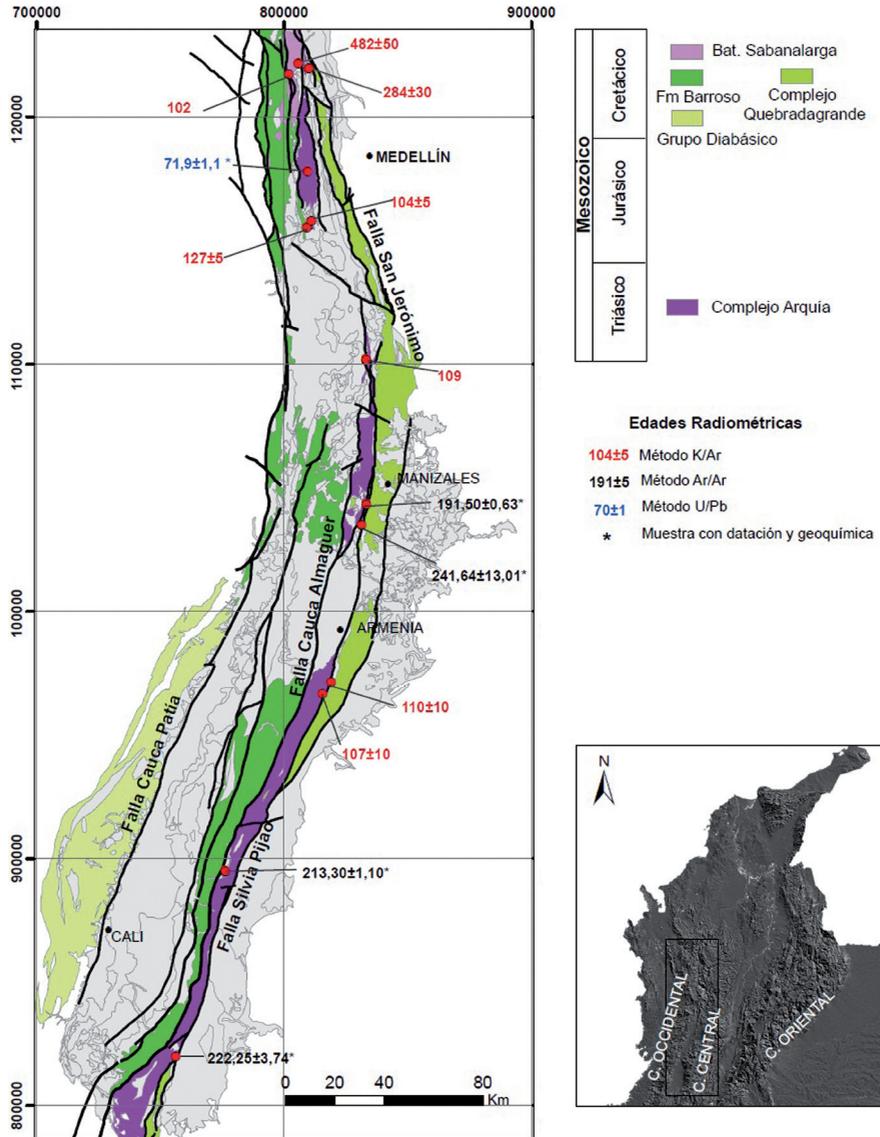


FIGURA 8. Compilación de edades radiométricas de algunas unidades del Complejo Arquía.

Dos intervalos de edades se reconocen a partir de la TABLA 3 y la FIGURA 9. Un primer intervalo de 100 a 130 Ma, agrupa las edades obtenidas por el método K/Ar, reportadas para rocas de los Esquistos de Sabaletas, las Anfibolitas de Arquía, el Grupo Arquía y las Anfibolitas de El Rosario, edades que en algún momento se interpretaron como la edad de metamorfismo del Complejo Arquía en el Cretácico Inferior (Restrepo y Toussaint, 1975; Toussaint, 1996). El segundo grupo de edades muestran resultados en el intervalo comprendido entre 203 y 230 Ma, las cuales fueron obtenidas por el método Ar-Ar paso a paso en hornblenda, para rocas del Neis de Chinchiná, el Metagabro de Santa Rosa, las Anfibolitas de El Rosario y el Metagabro de San Antonio (González, 2010). Se analizó el *plateau* de estas edades

y la isócrona inversa, concluyendo que corresponden en su mayoría a edades de buena confiabilidad. Además de los dos intervalos con mayor concentración de edades, se observa un número reducido de dataciones en otros intervalos: el Complejo Bolo Azul con edades K/Ar entre 62 y 77 Ma concuerdan con las edades reportadas por Bustamante *et al.* (2011) para los esquistos azules de Jambaló y que fueron interpretados como la edad de exhumación de los esquistos a lo largo del canal de subducción, interrumpido por la colisión de un arco intra oceánico con la margen continental; los Esquistos de Sabaleta con una edad U/Pb de 71.9 +/-1.1 Ma, la Anfibolita de Arquía con una datación Rb/Sr de 89 +/-2 y la Anfibolita del Rosario con una edad Ar/Ar de 157,61 +/-1,24, son datos que podrían ser explicados bajo

el concepto de que es un complejo acrecionario que está conformado por rocas de diferente origen, composición y edad (Ruíz *et al.*, 2012, Rodríguez, 2010; Giraldo, 2010). Este concepto es válido sólo a la luz de los datos geocronológicos, pero no es soportable al analizar los resultados de geoquímica donde las unidades básicas del Complejo muestran afinidad a N-MORB y todas

ellas presentan metamorfismo en facies esquistosa verde a anfibolita alta considerado de media presión o Barroviano. Entonces surge la pregunta: ¿Cómo explicar un complejo acrecionario supuestamente compuesto por numerosos bloques de diferente edad, donde todos sean metamórficos bajo condiciones similares y con la misma impronta geoquímica?.

TABLA 3. Edades de las metabasitas del Complejo Arquía.

MUESTRA	SUB-UNIDAD	Este	Norte	Edad Plateau	Edad Integrada (Ma)	METODO	MINERAL	REFERENCIA
UNM2825A	Anfibolita Arquía	833124	1101998		113	K-Ar	Hbl	Restrepo y Toussaint (1976)
	Anfibolita Arquía	833124	1101998		89+/-2	Rb-Sr		Restrepo y Toussaint (1982)
UNM2967	Grupo Arquía	818948	971310		110+/-10	K-Ar	Roca Total	Toussaint y Restrepo (1978)
	Grupo Arquía	801890	1217428		102	K-Ar	Am	Restrepo y Toussaint (1976)
UNM2928	Esquistosa Sabaleta	809266	1155536		127+/-5	K-Ar	Roca Total	Toussaint <i>et al.</i> (1978)
	Esquistosa Sabaleta	883099	1155350		109+/-5	K-Ar	Act	Toussaint <i>et al.</i> (1978)
JJ 184	Esquistosa Sabaleta	811122	1158174		104+/-5	K-Ar	Am	Restrepo <i>et al.</i> (1991)
COLC90	Esquistosa de Sabaleta	809471	1178256		71,9 ±1,1	U/Pb	Zr	Giraldo (2010)
UNM2923	Anfibolita de Sucre	805797	1221931		482+/-50	K-Ar	Hbl	Toussaint <i>et al.</i> (1978)
	Anfibolita de Sucre	750311	1268133		557+/-50	K-Ar		Toussaint <i>et al.</i> (1978)
JJ 242	Anfibolita de Sucre	810125	1219765		284+/-30	K-Ar	Am	Restrepo <i>et al.</i> (1991)
JJ 240	Anfibolita de Sucre	810125	1219765		220+/-26	K-Ar	Am	Restrepo <i>et al.</i> (1991)
ER-091R	Anfibolitas del Rosario	776092	895074		213,30±1,10	Ar/Ar (HS)	Hbl	González (2010)
ER-091R	Anfibolitas del Rosario	776092	895074		157,61±1,24	Ar/Ar (HS)	Hbl	González (2010)
CM-063R	Metagabro de San Antonio	756048	820037	224,8 ±3,6	222,25 ± 3,74	Ar/Ar (SSH)	Hbl	González (2010)
JM-041BR	Metagabro de Santa Rosa	831465	1035172	211,1±6,6	241,64±13,01	Ar/Ar (HS)	Hbl	González (2010)
JM-044R	Neis de Chinchina	833205	1043483	204,3±1,3 Ma	191,50±0,63	Ar/Ar	Bt	González (2010)
MO 585*	Anfibolitas del Rosario	815576	966739		107+/-10	K/Ar	Hbl	Brook (1984)
MO 509	Anfibolitas del Rosario	810317	960205		107+/-4	K/Ar	Hbl	McCourt <i>et al.</i> (1984)
MO 495	Complejo Bolo Azul				75+/-2	K/Ar	Hbl	Brook (1984)
MO 483	Complejo Bolo Azul				67+/-2	K/Ar	Hb	Brook (1984)
MO 482	Complejo Bolo Azul	774744	884127		62+/-2	K/Ar	Hb	Brook (1984)

De la FIGURA 9 surgen algunas inquietudes: a) ¿Qué significan los dos intervalos principales, el de 100 a 113 Ma y el de 203 a 229 Ma?. b) ¿Qué pudo abrir los sistemas para que en un mismo cuerpo se obtengan edades cretácicas por el método K/Ar y triásicas por el método Ar-Ar?. Dos fenómenos podrían ser los responsables: -por un lado un calentamiento causado por un arco volcánico-plutónico del Cretácico en la zona de colisión entre las cortezas continental y oceánica emplazados en la margen de convergencia y/ó -fases de reactivación del Sistema de Fallas de Romeral. Otro concepto sería que hay bloques que son de edad metamórfica cretácica y otros que son de edad de metamorfismo triásica, pero surge el problema que algunas unidades reportan las dos edades de acuerdo al método con que se fechen, como sucede con rocas del Complejo El Rosario.

En el caso del arco, está claramente documentada su presencia y se generó a finales del Cretácico temprano y continuó hasta mediados del Cretácico tardío, intruyó las dos cortezas y produjo vulcanismo en la zona de sutura (Rodríguez *et al.*, 2012; Rodríguez y Arango, 2012 y 2013; Rodríguez y Zapata, 2013). Éste podría explicar las edades en el intervalo entre 100 y 113 Ma del Complejo Arquía y muchas de las edades K/Ar que se han publicado para el Complejo Cajamarca y para el Grupo Diabásico y otras unidades, que de ser cierto, el arco habría generado un calentamiento regional alrededor, que localmente logró abrir los sistemas en algunos sectores, afectando al Complejo Arquía, sugiriendo que corresponden a edades de calentamiento donde el sistema borró parcialmente la edad de estas unidades. Las edades de reactivación del sistema Cauca Romeral han sido documentadas por Vinasco y Cordani (2012). Se amplían ambos conceptos en la discusión de los datos.

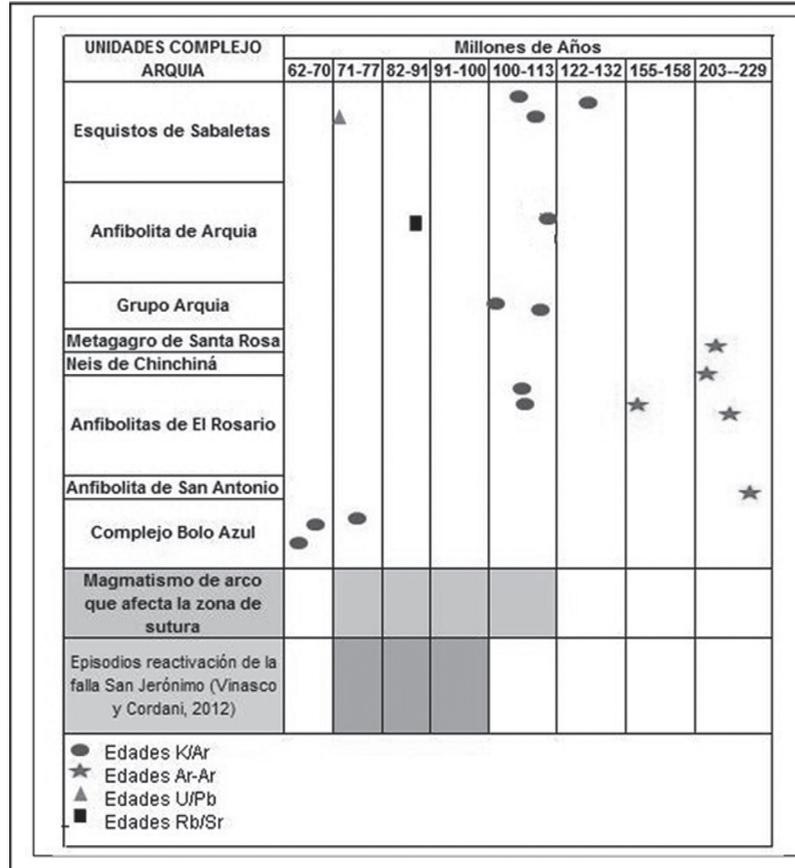


FIGURA 9. Intervalos de edades reportadas para unidades que hacen parte del Complejo Arquía; pulsos magmáticos del arco Cretácico registrados en la zona de convergencia corteza oceánica – corteza continental y episodios de reactivación del sistema de fallas de Romeral en la parte Noroccidental de los Andes según Vinasco y Cordani (2012).

Queda entonces el intervalo Triásico Superior de 203 a 230 Ma para explicar la edad del metamorfismo de las rocas del Complejo Arquía, edades que son similares a las del Complejo Cajamarca y que sugieren que subunidades del Complejo Arquía se relacionan a las rocas metamórficas de la Cordillera Central, haciendo parte de un “melange” en la zona de sutura, el cual se localiza entre las Fallas San Jerónimo al este y Cauca-Almaguer al oeste.

Trabajos anteriores han descrito relaciones estratigráficas que ayudan a precisar la edad del Complejo Arquía y soportar los datos isotópicos que por sí solos han llevado a interpretaciones que no se ajustan a los hechos evolutivos. Rodríguez, *et al.*, 2012 (tomado de Giraldo, 2010) argumentan que el cuerpo de diorita está intruyendo a los Esquistos de Sabaletas, el cual se presenta como un dique diorítico que fue fechado en 230 Ma, concordante con los resultados geocronológicos obtenidos para la Diorita de Pueblito y en contraposición con las dataciones cretácicas para las rocas del Complejo Arquía.

DISCUSIÓN

Los resultados geoquímicos de las metabasitas que conforman el Complejo Arquía, (Grupo Arquía, Esquistos de Sabaletas, Esquistos Anfibólicos del río Cauca, Secuencia Metamórfica de Buesaco, Grupo Bugalagrande, Complejo Igneo Metamórfico del río Rosario, Complejo Bolo Azul, Esquistos de Lisboa - Palestina y Metagabro de Santa Rosa) son afines con series toleíticas altas en Mg y con basaltos de tipo N-MORB generados en dorsales medio oceánicas, encontrando en algunas de las unidades un número reducido de muestras que tienen afinidad con basaltos de tipo T-MORB y basaltos de arco. Este resultado cuestiona aquellas teorías que consideran al Complejo Arquía conformado por rocas de diferente origen, composición, edad y como una asociación de bloques heterogéneos que incluyen fragmentos pre-Triásicos, bloques metamórficos Albiano-Aptianos y cuerpos de rocas del Maastrichtiano-Daniano, siendo poco probable, mas no imposible, que rocas de diferente edad, con metamorfismo y geoquímica comparable sean

resultado de amalgamación de bloques de diferente edad, origen y composición.

Es innegable que el Complejo Arquía está constituido por “retazos litológicos” de bloques metamórficos de diferente composición, en el sentido que se presentan esquistos cuarzo sericiticos, cuarcitas, esquistos actinolíticos, junto a anfibolitas, metagabros y rocas ultrabásicas, todas ellas con una alta deformación dinámica causada por las fallas del Sistema Romeral (Fallas Silvia-Pijao y Cauca-Almaguer), pero también es un hecho que los datos litogeoquímicos en las metabasitas muestran un protolito con afinidad geoquímica similar, para el mayor número de rocas analizadas. La falta de análisis petrográficos que permitan unir la información geoquímica con rocas de afinidad de arco y T-MORB constituye un problema, pero podría ser explicable que el muestreo en un área deformada incluyó rocas del Arco Sabanalarga-Barroso (Rodríguez *et al.*, 2012) y diabasas y microgabros deformados de la unidad denominada Diabasas de San José de Urama, en el sentido de Rodríguez y Arango (2012 y 2013), con afinidad T-MORB.

El otro problema del Complejo Arquía constituye la variedad de edades reportadas, con agrupación de datos en dos intervalos (100 a 113 Ma y 203 a 229 Ma). Para entender la variación de los datos radiométricos hay que mirar el contexto geológico en el cual se localizan las unidades del Complejo Arquía, que se encuentran en la zona de colisión entre basamento oceánico y basamento continental, donde al menos dos eventos, que actuaron en el pasado, podrían abrir los sistemas isotópicos y generar datos radiométricos que no representan necesariamente la edad de metamorfismo regional del Complejo Arquía: el primero de ellos tiene que ver con el desarrollo de un arco regional volcánico-plutónico a todo lo largo de la zona de colisión, el cual intruye ambas cortezas, denominado al norte, Arco volcánico plutónico Barroso-Sabanalarga (Rodríguez *et al.*, 2012; Rodríguez y Arango, 2012 y Rodríguez y Zapata, 2013) y el segundo evento está relacionado a las reactivaciones del Sistema de Fallas de Romeral.

Para el arco Barroso-Sabanalarga y los plutones asociados es importante analizar los datos radiométricos que indican los pulsos magmáticos. Algunos de los intrusivos están constituidos por al menos dos facies de composición y edad diferente, pero que por la forma de presentación a manera de “brechas intrusivas”, constituyen una sola unidad formada por intrusiones magmáticas sucesivas (p.e. Batolito de Sabanalarga, Diorita de Altavista). La interpretación de las edades

de estos cuerpos se basa en los datos (U/Pb) apoyados por dataciones por otros métodos. De acuerdo con los datos, el magmatismo del Arco Barroso – Sabanalarga, incluyendo la generación de rocas volcánicas y plutónicas, tuvo una duración entre 18 y 30 Ma, siendo ligeramente más antiguos los productos volcánicos de edades entre el Turoniano y el Aptiano, mientras el magmatismo plutónico tuvo actividad entre 15 y 20 Ma, como describen Correa *et al.* (2006) para el Gabro de San Diego y la Diorita de Altavista, que se extendió entre el Santoniano y el Cenomaniano. A grandes rasgos se reconoce un pulso magmático básico seguido por al menos un pulso más félsico, entre 91 y 100 Ma, y 82 a 91 Ma, respectivamente.

La facies máficas o básicas de los plutones del Arco se emplazaron, de acuerdo a las edades reportadas y partiendo de los datos U/Pb y las edades Ar-Ar, K/Ar, Rb/Sr y Sm/Nd, en un rango que comprende desde 91 Ma hasta 100 Ma, rango en el que se presentan edades del Gabro de Altavista ($92,5 \pm 4,2$ K/Ar), el Gabro de San Diego ($94 \pm 0,9$ U/Pb), la facies máfica de la Diorita de Altavista ($96 \pm 0,39$ U/Pb) y el Batolito de Sabanalarga (97 ± 10 K/Ar en Bt, $98,2 \pm 3,5$ K/Ar en Hbl, 92 ± 2 Ar/Ar), además algunas edades de cuerpos más homogéneos como la Tonalita de Buriticá ($91,1 \pm 6,4$ K/Ar en Hbl y $99 \pm 2,1$ Ar-Ar en Hbl) y la Tonalita de El Pescado ($95,6 \pm 3,3$ K/Ar en Bt).

Para la facies félsicas, los datos U/Pb de los diferentes plutones indican edades del orden de $87 \pm 0,53$ para la Diorita de Altavista en un granito, de $84,97 \pm 2,5$ para el Batolito de Sabanalarga, de $89,1 \pm 1,3$ en el Stock de La Media Luna en tonalita; indicando que algunos cuerpos presentan una facies félsica más joven que las rocas básicas gabroides y dioritoides, donde la facies granitoide se emplazó en un rango entre 82 y 91 Ma.

En este sentido el arco comenzó su actividad volcánica hacia los 115 Ma y continuó con plutonismo hasta 82 Ma, que abarca el primer intervalo de edades que reportan las rocas del Complejo Arquía y que podrían corresponder a este evento de magmatismo regional que se extiende hasta el sur del país.

Las edades reportadas por Vinasco y Cordani (2012) para eventos de reactivación del Sistema de Fallas de Romeral fueron obtenidas por el método Ar-Ar en micas neoformadas y bandas miloníticas y por el método K/Ar en rocas volcánicas y gabros hidrotermalizados del Complejo Quebradagrande. Los resultados que presentan indican edades de meseta en biotita y sericita entre 87 y 90 Ma y 77 y 81 Ma y edades K/Ar entre 91 y 102 Ma.

Al cruzar los datos de Vinasco y Cordani (2012) con los eventos magmáticos del Arco Barroso – Sabanalarga (Rodríguez *et al.*, 2012; Rodríguez y Arango, 2013) y los reportados por Leal-Mejía (2011) para el Batolito Antioqueño, existe una concordancia en las edades de intrusión y los datos de reactivación del Sistema Cauca – Romeral, así como para edades del Complejo Arquía que están entre 62 y 113 Ma. Consideramos poco probable que metamorfismo de media presión tipo barroviario se haya generado al mismo tiempo que se dio magmatismo de arco que requería distensión para el desarrollo y emplazamiento de los pulsos magmáticos (vulcanismo y plutonismo), por tal razón los datos parecen corresponder con los pulsos magmáticos y con la reactivación del Sistema de Fallas de Romeral y no parecen representar la edad de metamorfismo del Complejo Arquía; pero no se descarta de plano la posibilidad de que algunas subunidades del Complejo Arquía tengan metamorfismo de edad Cretácico, sea este térmico o regional dinamotérmico. Por el momento no son suficientes los datos y se requiere datar por Ar-Ar y/o U/Pb las subunidades de metabasitas que afloran en la parte norte del Complejo Arquía.

El segundo grupo de edades obtenidas por el método Ar-Ar en cuerpos básicos y metasedimentos del Complejo Arquía corresponde al intervalo entre 203 y 229 Ma, edad similar a la reportada para anfibolitas y rocas metamórficas (Vinasco *et al.*, 2006; Restrepo *et al.*, 2012) del Complejo El Retiro en el sentido de Rodríguez *et al.*, (2005) o Complejo Cajamarca (González, 2001), las cuales tienen afinidad geoquímica de basaltos toleíticos de tipo MORB (Nivia, 2011; Restrepo, 2008). Esta concordancia de edades entre rocas del Complejo Arquía y metamorfitas del Complejo Cajamarca, permiten postular que la edad de metamorfismo de subunidades del Complejo Arquía corresponde al intervalo entre 203 y 229 Ma y muy probablemente representa basamento metamórfico de la Cordillera Central, no siendo un terreno exótico amalgamado o adosado al continente durante el Cretácico Superior, constituido por bloques de diferente origen, edad y composición, sino un faja alargada que representa basamento de la Cordillera Central dentro de una zona de “melange” localizada entre las Fallas San Jerónimo y Cauca-Almaguer, que mezcló fajas de basamento metamórfico de la Cordillera Central con fajas de arco-corteza oceánica (Formación Barroso-Diabasas de San José de Urama, Complejo Quebradagrande).

Los resultados geoquímicos presentados en este trabajo y la edad reportada por González (2010) para el Metagabro de Santa Rosa son concordantes con los datos de otras unidades del Complejo Arquía y por tal

razón no hace parte de las unidades que conforman el Complejo Quebradagrande. Una revisión de secciones delgadas y litogeoquímica de esta unidad mostró que está conformado por rocas metamórficas con afinidad N-MORB y localmente hay rocas intrusivas cuarzodioríticas con afinidad de arco.

El Complejo Arquía está constituido regionalmente por esquistos anfibólicos y sericiticos, cuarcitas y neises, junto a anfibolitas y metagabros asociados a cuerpos ultramáficos; esta asociación de unidades ultrabásicas y básicas con sedimentos, podrían ser parte de una secuencia ofiolítica que incluye diversos tipos de rocas, típicos en ofiolitas de series N-MORB. Al menos los esquistos anfibólicos, anfibolitas y metagabros parecen apoyar esta idea debido a su afinidad química. Quedaría por analizar la afinidad de las rocas ultramáficas que si correspondan con series N-MORB, y de ser así, la relación entre unidades no sería únicamente tectónica, sino que obedece a una serie de rocas relacionadas en su origen.

AGRADECIMIENTOS

Al Servicio Geológico Colombiano por suministrar la información utilizada en el trabajo y a los revisores finales por las sugerencias.

REFERENCIAS

- Brook, M. 1984. New radiometric age data from S.W. Colombia. Reporte. Técnico. 10, INGEOMINAS – Misión Británica, Cali, 25p.
- Bustamante, A., Juliani, C., Hall, C.M., and Essene, E.J. 2011. $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ ages from blueschists of the Jambaló región, Central Cordillera of Colombia: Implications on the styles of accretion in the Northern Andes. *Geologica Acta*, 9 (3-4): 351-362.
- Cediel, F., Shaw, R.P., and Cáceres, C. 2003. Tectonic Assembly of the Northern Andean Block. Mexico and the Caribbean region: plate tectonics, basin formation and plate tectonics. C. Bartolini, R. T. Buffler and J.F. Blickwede, American Association of Petroleum Geologist, memoir 79: 815-848.
- Correa, A.M., Pimentel, M., Restrepo, J.J., Nilson, A., Ordoñez, O., Martens, U., Laux, J.E., and Junges, S. 2006. U-Pb zircón ages and Nd-Sr isotopes of the Altavista Stock and the San Diego Gabbro – new insights on Cretaceous arc magmatism in the Colombian Andes [abs.]: V Simposio Sudamericano de Geología Isotópica 24 - 27 abril 2006, Punta del Este – Uruguay.

- Dorado, C.E. 2006. Petrografía y geoquímica del complejo Arquía al W de la ciudad de Manizales entre los sectores de la hacienda El Algarrobo y el río Chinchiná. Tesis de Pregrado, Universidad de Caldas, 75p.
- Estrada, J.J., y Viana, R.G.H. 2001. Geología de la plancha 205 Chinchiná, escala 1:10000: Memoria explicativa. INGEOMINAS, Bogotá, 87p.
- Esquivel, J., Florez, D.J., y Núñez, A. 1981. Anfibolitas Granatíferas, Esquistos Anfibólicos y Rocas Máficas y Ultramáficas al Este de Buga-Palmira, Valle. Colombia.- Resúmenes Tercer Congreso Colombiano de Geología, pp. 40-41, Medellín.
- Giraldo, M.I. 2010. Esquema geodinámico de la parte noroccidental de la Cordillera Central de Colombia. Facultad de Minas. Medellín, Universidad Nacional de Colombia. Maestría en Ingeniería, Materiales y Procesos: 146p
- Gómez, A. de J., Ossa, C.A., y Toro, L.M. 2004. Geoquímica de las rocas del Stock Chinchiná – Santa Rosa. Boletín de Geología, UIS, 26 (42): 67 – 78.
- González, H. 1978. El Melange de Romeral y sus implicaciones tectónicas en la evolución de la cordillera Central, de los Andes Colombianos. II congreso Colombiano de Geología. Resúmenes, 14p.
- González, H. 1980. Geología de las planchas 167 (Sonsón) y 187 (Salamina) del Mapa Geológico de Colombia. INGEOMINAS, Boletín Geológico, 23 (1):1-174.
- González, H. 2001. Mapa Geológico del departamento de Antioquia. Escala 1:400.000. Memoria Explicativa. INGEOMINAS, Medellín. 240p.
- González, H. 2010. Geoquímica, Geocronología de las unidades litológicas asociadas al sistema de fallas Cauca-Romeral, sector centro-sur. Tomo I, INGEOMINAS, Medellín.
- Grotjohann, H., and McCourt, W.J. 1981. Resultados de los Trabajos Corrientes de la Cartografía Geológica Regional del Departamento del Valle (Cordillera Central).- III Congreso Colombiano de Geología, Resúmenes, 34p., Medellín.
- Jensen, L.S. 1976. A new cation plot for classifying subalkalic volcanic rocks. Ontario Geological Survey, Miscellaneous Paper 66.
- Leal-Mejía, H. 2011. Phanerozoic Gold Metallogeny in the Colombian Andes: A tectono-magmatic approach. Ph.D. Thesis, Universitat de Barcelona, 989p.
- LeBas, M., LeMaitre, R., Streckeisen, A. and Zannettin, B. 1986. A chemical classification of volcanic rocks based on the Total Alkali Silica diagram. Journal of Petrology, 27: 745-750.
- Maya, M., y González, H. 1995. Unidades Litodémicas en la Cordillera Central de Colombia. Boletín Geológico, INGEOMINAS 35 (2-3): 43-57.
- McCourt, W.J., Aspdem, J.A., and Brook, M. 1984. New geological and geochronological data from the Colombia Andes: continental growth by multiple accretion. Journal Geological Society. London, 147: 831-845.
- McDonough, W.F and Sun, S.S. 1995. The composition of the Earth. Chemical Geology, 120: 223-253.
- Meschede, M. 1986. A method of discriminating between different types of mid-ocean ridge basalts and continental tholeiites with the Nb-Zr-Y diagram. Chemical Geology, 56: 207-218.
- Moreno-Sánchez, M, y Pardo-Trujillo, A. 2003. Stratigraphical and sedimentological constrains on western Colombia: implications on the evolution of the Caribbean Plate. The Circum-Gulf of Mexico and the Caribbean: hydrocarbon habitats, basin formation and plate tectonics. C. Bartolini, R. T. Buffler and J.F Blickwede, American Association of Petroleum Geologist, Memoir 79:891-924.
- Mosquera, D. 1978. Geología del cuadrángulo K-8, Manizales. INGEOMINAS, Informe 1763, Bogotá, 63p.
- Murcia, A., y Cepeda, H. 1991a. Mapa geológico de la Plancha 410 – La Unión; Escala 1:100.000. INGEOMINAS.
- Murcia, A., y Cepeda, H. 1991b. Mapa geológico de la Plancha 429 – Pasto; Escala 1:100.000. INGEOMINAS.
- Nivia, A. 1996. El Complejo estructural Dagua, registro de deformación de la Provincia litosférica oceánica cretácica occidental en un prisma acrecionario. Resúmenes VII Congreso Colombiano de Geología, Bogotá.
- Nivia, A. 2011. Memoria explicativa del mapa geológico de la plancha 131 Santa Rosa de Osos. Escala 1:100.000. Capítulo de Geoquímica, INGEOMINAS, 179-197p.

- Nivia, A., Marriner, G.F., Kerr, A.C., and Tarney. 2006. The Quebradagrande Complex: A Lower Cretaceous ensialic marginal basin in the Central Cordillera of the Colombian Andes. *Journal of South American Earth Sciences*, 21: 423-436.
- Pearce, J.A. 1982. Trace Element characteristics of lavas from destructive plate boundaries. In: Thorpe, R.S. (Ed.), *Orogenic Andesites*. Wiley, Chichester, U.K., pp. 528-548.
- Peccerillo, A., and Taylor, S.R. 1976. Geochemistry of Eocene Calc-alkaline volcanic rocks from Kastamonir area, Northern Turkey. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 58: 63-81.
- Restrepo, J.J. 1986. Metamorfismo en el sector norte de la Cordillera Central de Colombia. *Universidad Nacional, Medellín*, 276p.
- Restrepo, J.J. 1991. Datación de algunos plutones de Antioquia por el método de trazas de fisión. *Boletín de Ciencias de la Tierra*, 10.
- Restrepo, J.J. 2008. Obducción y metamorfismo de ofiolitas triásicas en el flanco Occidental del terreno Tahamí, Cordillera Central de Colombia. *Boletín de Ciencias de la Tierra. Edición Especial 22*, 49-100.
- Restrepo, J.J., y Toussaint, J.F. 1975. Edades radiométricas de algunas rocas de Antioquia Colombia: *Publicación Especial Geológica, Facultad de Minas, Medellín*, No 6, 24p.
- Restrepo, J.J., y Toussaint, J.F. 1976. Edades radiométricas de algunas rocas de Antioquia, Colombia. *Pub. Esp. Geol. Universidad Nacional de Colombia*, 61: 1-15.
- Restrepo, J.J., y Toussaint, J.F. 1982. Metamorfismo sobreimpuestos en la Cordillera Central de Colombia. *V Congreso Latinoamericano de Geología., Argentina. Actas*, 111: 505-512.
- Restrepo, J.J., Toussaint, J.F., González, H., Cordani, U., Kawashita, K., Linares, E., and Parica, C. 1991. Precisiones geocronológicas sobre el occidente colombiano: Simposio sobre magmatismo andino y su marco tectónico (Manizales, Colombia), *Memorias*, pp. 1-21.
- Rodríguez-Jiménez, J.V. 2010. *Fábrica y emplazamiento de la Diorita de Pueblito, NW Cordillera Central de Colombia: análisis de fábrica magnética y mineral. Tesis de Maestría, Universidad Nacional de Colombia.*
- Rodríguez, G., y Arango, M.I. 2012. Formación Barroso: arco volcánico toleítico y diabasas de San José de Urama: un prisma acrecionario T-MORB en el segmento norte de la Cordillera Occidental de Colombia. *VIII South American Symposium on Isotope Geology (SSAGI)*. Medellín.
- Rodríguez, G., y Arango, M.I. 2013. 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. *Boletín Ciencias de la Tierra*, 33: 17-38.
- Rodríguez, G., y Zapata, G. 2013. Análisis comparativos entre la Formación Barroso y el Complejo Quebradagrande: Un arco volcánico toleítico calcoalcalino, segmentado por el sistema de fallas de Romeral en los Andes del Norte?. *Boletín Ciencias de la Tierra*, 33: 40-57.
- Rodríguez, G., González, H., y Zapata, G. 2005. *Geología de la Plancha 147-Medellín Oriental, INGEOMINAS, Bogotá*. 320p.
- Rodríguez, G., Arango, M.I., y Bermúdez, J.G. 2012. Batolito de Sabanalarga, Plutonismo de arco en la zona de sutura entre las cortezas oceánica y continental de los Andes del Norte. *Boletín Ciencias de la Tierra*, 32: 81-98.
- Rollinson, H. R. 1993. *Using Geochemical Data: evaluation, presentation, interpretation*. Longman Scientific & Technical Essex. 352p
- Ruiz, E., Blanco, I.F., Toro, L.M., Moreno, M., Garcia, A., Morata, D., y Gómez, A. 2012. Geoquímica y Petrología de las metabasitas del Complejo Arquía (Municipio de Santafé de Antioquia y Río Arquía, Colombia): Implicaciones geodinámicas. *Boletín Ciencias de la Tierra*, 32: 65-80.
- Shervais, J.W. 1982. Ti-V plots and the petrogenesis of moder and ophiolitic lavas. *Earth and planetary Science Letters*, 59: 101-118.
- Sun, S.S., and McDonough, W.F. 1989. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: implications for mantle composition and processes. In Sanders A.D. and Norry, M.J. (eds), *Magmatism in ocean basins*. Geological Society. London. *Spec. Pub.*, 42: 313-345.
- Toussaint, J. F. 1996. *Evolución Geológica de Colombia, Cretácico*. Universidad Nacional de Colombia. Medellín, 142p.

Toussaint, J.F., y Restrepo, J. 1974. Algunas consideraciones sobre la evolución de los Andes Colombianos. Publicación Especial Geológica, Facultad de Minas, Medellín, No 4, 12p,

Toussaint, J.F., y Restrepo, J.J. 1978. Edad cretácea de una anfibolita granatífera de Pijao, Quindío. Publicación Especial Geológica. Universidad. Nacional, Medellín, 17: 1-2.

Toussaint, J.F., González, H., Restrepo, J.J., y Linares, E. 1978. Edad K-Ar de tres rocas metamórficas del flanco noroccidental de la Cordillera Central. Publicación. Especial Geológica. Universidad. Nacional, Medellín, 14: 1-7.

Villagómez, D., Spikings, R., Magna, T., Kammer, A., Winkler, W., and Beltrán, A. 2011. Geochronology, geochemistry and tectonic evolution of the Western and Central Cordilleras of Colombia. *Lithos* 125 (3-4): 875-896.

Vinasco, C.J., Cordani, U., and Vasconcelos, P. 2001. $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ dates in the Central Cordillera of Colombia: Evidence for an Upper Triassic regional tectonomagmatic event. Ext. Abstracts. III SSAGI. Pucón, Chile, pp.638-641.

Vinasco, C.J., Cordani, U., González, H., Weber, M., and Peláez, C. 2006. Geochronological, isotopic, and geochemical data from Permo-Triassic granitic gneisses and granitoids of the Colombian Central Andes. *Journal of South American Earth Sciences*, 21(4): 355-371.

Vinasco, C.J., and Cordani, U. 2012. Reactivation episodes of the Romeral Fault System in the northwestern part of Central Andes, Colombia, through ^{39}Ar - ^{40}Ar and K-Ar results. *Revista Boletín Ciencias de la Tierra*, 32: 111-124.

Wilkinson, J.F.G. 1982. The genesis of mid-ocean ridge basalt. *Earth Science Reviews*, 18 (1): 1-57.

Winchester, J.A., and Floyd, P.A. 1977. Geochemical discrimination of different magma series and their differentiation products using immobile elements. *Chemical Geology*, 20: 325-343.

Trabajo recibido: abril 04 de 2013
Trabajo aceptado: agosto 05 de 2013