GEOQUÍMICA Y PETROGRAFÍA DE LAS ROCAS VOLCÁNICAS DE LA FORMACIÓN YAVÍ

Luz Mary Toro Toro[1]; Mario Moreno Sánchez[1]; Arley de J. Gómez[1]

RESUMEN

Se estudian las volcanitas en el sector de Media Luna (Departamento del Huila) en la base de La Formación Yaví de edad Jurasico?-Cretacico inferior. Se describe la petrografía, se presentan análisis químicos y se discute su posición geotectónica. La composicion de las rocas volcanicas indica magamatismo asociado a subduccion. Según la interpretacion geoquimica de las muestras (flujos piroclásticos y coladas de lava) se concluye que fueron generadas en margen de placa en un sistema volcánico de retro-arco.

Palabras clave: Volcanismo, riolita, flujos piroclásticos, lavas

GEOCHEMISTRY AND PETROGRAPHY FROM THE VOLCANIC ROCKS OF THE YAVI FORMATION

ABSTRACT

Volcanic rocks of Yaví Formation of Upper Jurassic?-Lower - Cretaceous age from the Media Luna Sinclinal (Huila Deparment) were studied. The petrography is described. It is present chemical analyses and his geotectonic position is discussed. The composition of the volcanic rocks indicates subduction-related magmatism. On the basis of geochemical interpretation of the the samples (piroclastic and lava flows) we conclude that they were generated on the margin of a plate in a back-arc magmatic system.

Keywords: Vulcanism, rhyolite, piroclastic flow, lava

[1]. Universidad de Caldas. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales. Departamento de Ciencias Geológicas. Calle 65 26-10 Manizales, Colombia. **luz.toro@ucaldas.edu.co**, mario.moreno@ucaldas.edu.co, arley.gomez@ucaldas.edu.co

INTRODUCCIÓN

La Formación Yaví (Bernal *et al*., 1976; Mojica y Macía, 1981), está compuesta por una sucesión volcano-sedimentaria constituida por ruditas, arcosas, litoarenitas, tobas, y lodolitas rojas y violetas. La unidad aflora en los alrededores del alto de Natagaima, en el llamado Valle Superior del Magdalena (Renzoni, 1994); sus afloramientos se extiende intermitentemente desde el sur de Ortega (Tolima) hasta los alrededores de Paicol (Huila) (FIGURA 1). La Formación Yaví descansa discordantemente sobre las volcanitas de la Formación Saldaña y hacia el techo es concordante con las arenitas arcósicas de la Formación Bermejo (Flórez y Carrillo, 1994). Una característica notable de esta unidad es la existencia de abundante material volcánico detrítico que petrológicamente podría provenir del retrabajamiento de la infrayacente Formación Saldaña, sin embargo, la presencia de productos volcánicos proximales cohetáneos con la sedimentación de la Formación Yaví también ha sido demostrada (Toro-Toro *et al*., 2006), consecuentemente la unidad debe mostrar una mezcla de detritos volcánicos congénitos y retrabajados (Saldaña). La presencia de materiales volcánicos en las rocas de las Formaciónes Yaví y Alpujarra, según discusión de Etayo-Serna y Carrillo (1996), podía sugerir que en el Valle Superior del Magdalena el volcanismo Saldaña se extendió hasta el Cretácico Temprano. Dado que existen pocos datos petrográficos y geoquímicos el origen del volcanismo Saldaña y Yaví aún no está bien comprendido. En el presente trabajo se estudian muestras obtenidas de tobas, un pequeño domo riolítico, y un flujo de lava situado en el límite estratigráfico entre las Formaciónes Yaví y Saldaña.

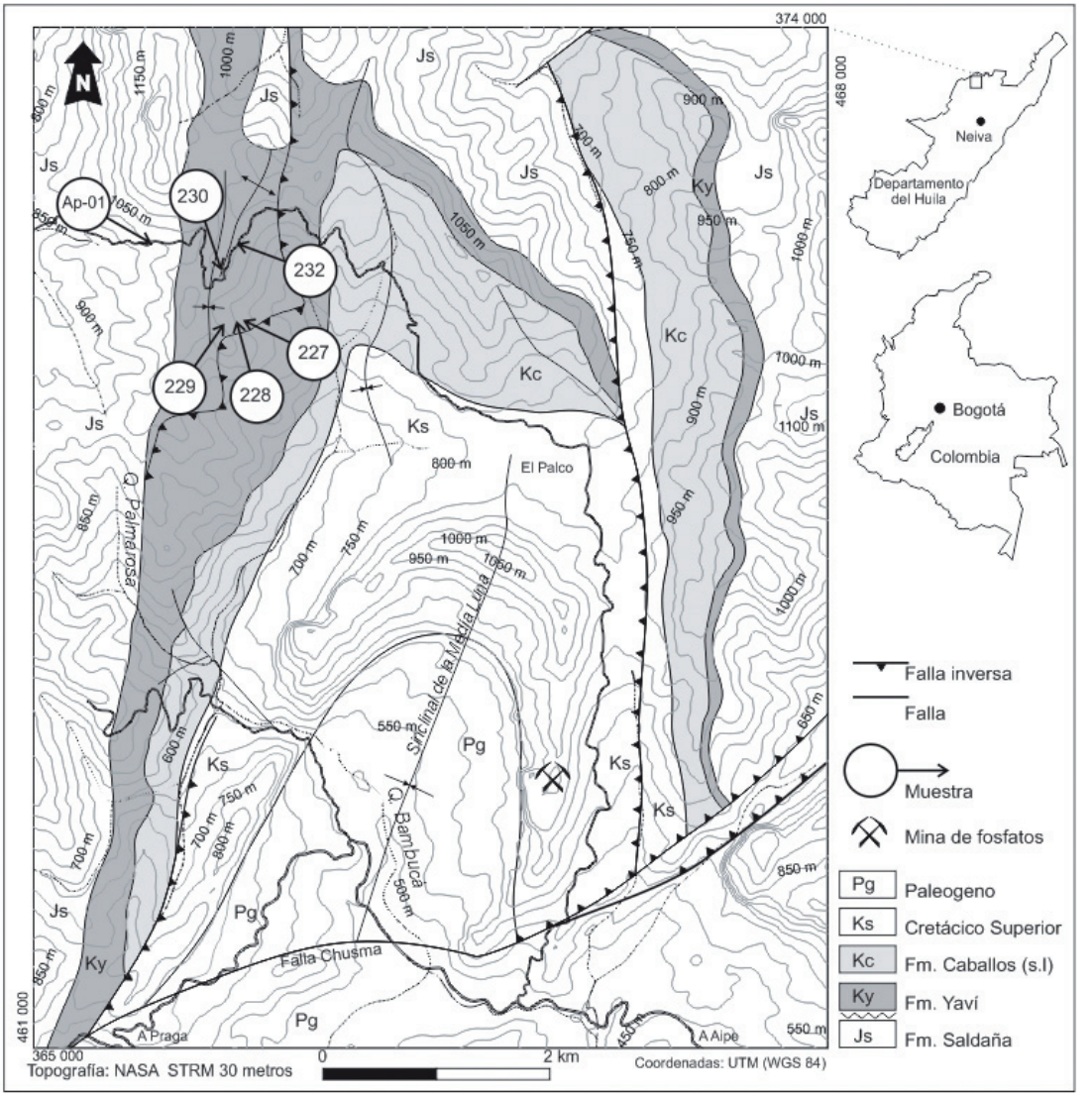

FIGURA 1. Mapa Geológico del área de estudio y los sitios de muestreo

El objeto de este trabajo es aportar nuevos datos geoquímicos de las volcanitas de la Formación Yaví. Se examina además el tipo de volcanismo con el objetivo de interpretar su marco geotectónico, y así caracterizar los procesos generaron estas rocas.

ANTECEDENTES

Flórez y Carrillo (1994), luego de revisar el origen del nombre de la Formación Caballos (*sensu lato*), dividen la unidad en tres nuevas entidades. La base, constituída por arenitas arcósicas, se incluyen ahora en la Formación Alpujarra. El sector lutítico intermedio se incluye en la Formación Ocal. Las cuarzoarenitas del techo por acomodarse a la denominacion original son entonces incluidas en la Formación Caballos en sentido estricto. La Formación Yaví es reunida con la Formación Alpujarra en el llamado "Grupo Bermejo" (Flórez y Carrillo, 1994).

Rocas volcánicas del edad Cretácico Temprano de origen proximal (ignimbritas, lavas, e intrusiones hipoabisales) son raras al este de la Cordillera Central. Sneider (1988), cita la presencia de cuarzo bipiramidal y detritos volcánicos en las rocas sedimentarias de la Formación Caballos (*sensu lato*). Etayo-Serna y Carrillo (1996), según datos petrogáficos recolectados en muestras de sedimentitas de la Formación Caballos (*sensu stricto*), sugieren que el volcanismo evidenciado en las rocas cretácicas del Valle Superior del Magadalena se extendió hasta el Albiano. Muestras de rocas volcánicas (tobas e ignimbritas) recolectadas cerca del techo de la Formación Yaví, carretera Ataco-Coyaima (Tolima), mostraron una tendencia subalcalina y toleitica (Toro-Toro *et al*., 2006). Este volcanismo sin embargo contrasta con el volcanismo alcalino asociado a extension continetal que se ha reconocido a en Ecuador (Barragán *et al*., 2005) y en la cuenca de Cundinamarca (Vásquez y Altenberger, 2005) para el Cretacico Temprano.

METODOLOGÍA

Junto con una revision de cartografía geológica de la zona se tomaron muestras en campo que fueron georeferenciadas con GPS (Garmin Colorado). Las muestras individuales fueron cuarteadas manualente para obtener fracciones para análisis químicos y fracciones adecuadas para sección delgada (análisis petrográfico).

Se escogieron seis muestras para análisis químicos. Todas las muestras se analizaron comercialmente en los Laboratorios de Ancaster (Activation Laboratories de Ancaster. Actlabs: http://www.actlabs.com/), Canadá. Los contenidos de elementos mayores, menores y elementos trazas, listados en la (TABLA1), fueron realizados por XRF (fluorescencia de rayos X) e ICP-MS (inductively couple plasma-espectrometry).

TABLA 1. Análisis Químicos de elementos mayores y trazas incluyendo las Tierras Raras. El Fe2O3 representa el Fe total

Muestras	YAVI 227	YAVI 228	YAVI 229	YAVI 230	YAVI 232
Elementos Mayores (% peso)					
SiO2	44,96	81,73	82,23	79,90	76,52
Al2O3	16,76	9,24	9,05	11,35	12,36
Fe2O3	8,00	1,82	1,16	1,20	2,42
MgO	2,52	0,21	0,21	0,41	0,49
CaO	9,59	1,04	0,86	0,03	0,25
Na2O	4,77	0,05	0,04	0,08	0,05
K2O	0,41	1,32	1,36	3,69	3,26
TiO2	0,81	0,25	0,25	0,15	0,18
P2O5	0,22	0,06	0,06	0,03	0,06
LOI	11,5	4,30	4,60	2,90	4,20
Total	99,84	99,84	99,88	99,91	99,82
Elementos trazas (ppm)					
Ba	60	1209	877	799	1437
Ga	17,1	9,3	9,1	11,7	13,8
Hf	3	5,8	6,2	3,5	3,9
Nb	5,4	10,8	10,4	11,8	13,9
Rb	12,5	25	25,7	119,5	79
Sn	<1	1	1	<1	2
Sr	105,9	42,6	43,1	24,4	57,3
Ta	0,3	0,7	0,6	0,8	0,9
Th	2,6	8,9	7,8	16	18,3
U	0,6	2	1,9	2,1	1,4
V	186	27	23	14	13
Zr	115,4	241,5	237,8	104,9	121,4
Y	15,5	24,8	27,7	17,5	15,1
La	12,6	30,4	36,5	37,7	42,6
Ce	29,4	61,4	72,7	87,8	68,3
Pr	3,68	7,31	9,09	7,24	8,37
Nd	15,9	28,6	35,4	24,2	19,2
Sm	323	509	6,2	395	277
Eu	0,87	1,1	1,32	0,79	0,53
Gd	3,14	4,4	5,3	3,1	2,07
Tb	0,49	0,73	0,85	0,5	0,36
Dy	2,7	3,81	4,66	2,85	2,1
Ho	0,53	0,8	0,92	0,54	0,44
Er	1,57	2,36	2,63	1,56	1,38
Tm	0,21	0,38	0,41	0,26	0,24
Yb	1,42	2,46	2,65	1,78	1,87
Lu	0,21	0,38	0,41	0,28	0,3

PETROGRAFÍA

Se realizó el análisis petrográfico de las muestras más representativas del área de estudio con el objeto de estimar las características texturales y la paragénesis mineralógica de las rocas. El análisis modal se llevó a cabo utilizando un conteo de puntos; para las rocas con textura porfídica, se calcularon las proporciones modales de los fenocristales (considerando como tales los cristales de dimensiones mayores a 0.5 mm). A continuación se presentará una descripción petrográfica de los productos.

Dacitas Biotíticas

Las muestras, Yaví-01, Yaví-02, Yaví 230, y Yaví 232 macroscópicamente presentan una textura masiva; microscópicamente estas rocas poseen textura porfirítica con un contenido de fenocristales (de hasta el ~15%), representados por cuarzo (6-8%), biotita (0.6-4%), plagioclasa (0.5-2%), y anfíbol (0.1%). En general se caracterizan por la ausencia de fenocristales de plagioclasa. Los fenocristales están embebidos en una masa fundamental felsítica de agregados de cuarzo y feldespatos, y se reconocen fantasmas de hornblenda completamente oxidados (FIGURA 2).

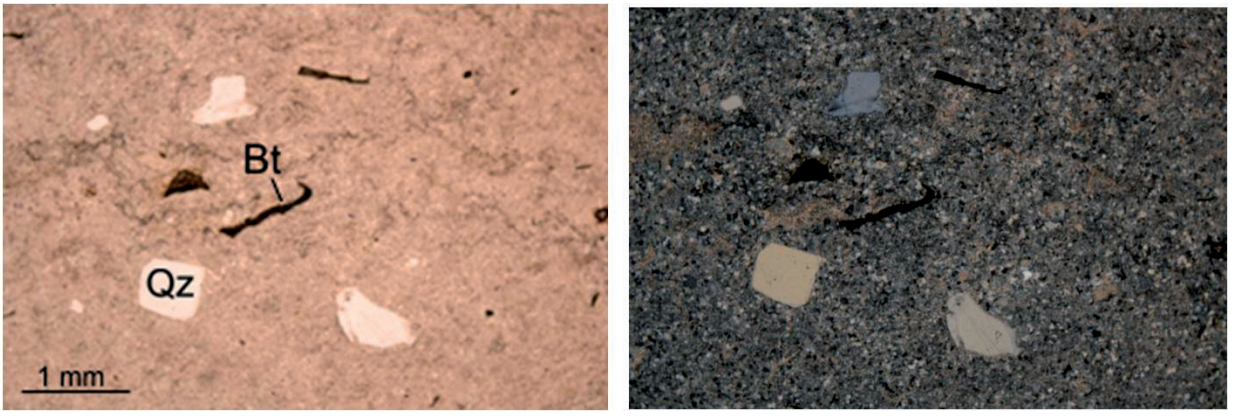

FIGURA 2. Dacita biotítica con textura felsítica y fenocristales de cuarzo (Qz) y biotita (Bt).

Los fenocristales están representados por cuarzo que alcanza tamaños de hasta 1.5 mm con formas irregulares desde euhedrales hasta anhedrales y con texturas en bahía. Los otros fenocristales corresponden a biotita con adsorción amarillo claro y café, mientras que con nícoles cruzados exhibe colores de birrefringencia altos y presenta extinción recta en las secciones longitudinales. Algunos cristales están parcialmente reabsorbidos, mientras que otros presentan bordes oxidados. Estas rocas se clasificaron como dacitas biotíticas (Le Maitre, 2002).

Basaltos Olivinicos

En la roca Yavi-227, se observan fenocristales de olivinos los cuales están completamente reemplazados por carbonatos (carbonatos en seudomorfos de olivino) en una masa fundamental con textura hipocristalina y con microlitos de plagioclasa que presentan arreglos traquíticos y hialopilíticos (FIGURA 3). Esta roca se clasificó como un basalto con olivino (Le Maitre, 2002). Los fenocristales están representados por olivinos, con tamaños entre 0,4 -1,2 mm y muestran formas variables desde euhedrales a subhedrales. Se reconocen por su hábito, forma y extinción paralela además de estar completamente reemplazados por carbonatos.

FIGURA 3. Fenocristales de olivino completamente reemplazados por carbonatos en una masa fundamental con textura traquítica.

GEOQUÍMICA

Con el propósito de establecer las características geoquímicas de las volcanitas y obtener su significado genético, se analizaron seis muestras tomadas para este trabajo. Los análisis geoquímicos aportan nueva información, que permite explicar el proceso de formación de estas rocas volcánicas.

Los datos geoquímicos fueron trabajados en el programa libre (*free software*) GLSKIT para análisis en petrología ígnea (el programa se puede descargar en la dirección http://www.gcdkit.org/download/). Por medio de diagramas fue posible interpretar los patrones de variación geoquímica de las muestras. Por su altísimo porcentaje de SiO2 una muestra (AP-03) fue descartada. Las rocas estudiadas geoquímicamente caen de acuerdo con el diagrama de Winchester y Floyd (1977) en el campo de las andesitas, traquitas-andesitas, y en el límite de riodacitas y riolitas (FIGURA 4).

Elementos traza

Las rocas analizadas muestran patrones de elementos traza que son típicos de magmas de arco continental, tales como un enriquecimiento marcado de LILE, y Sr con respecto a los HFSE (FIGURA 5), y un enriquecimiento de LREE con respecto a las HREE (FIGURA 6).

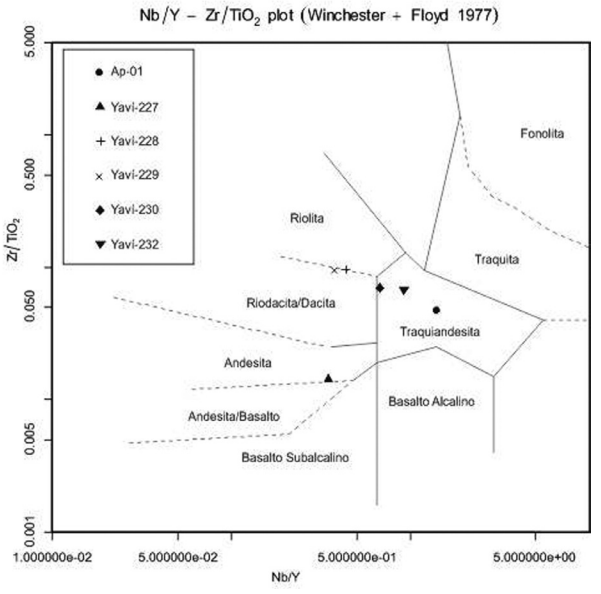

FIGURA 4. Clasificación química para las rocas volcánicas analizadas de la Formación Yaví según el diagrama de Winchester and Floyd (1977)

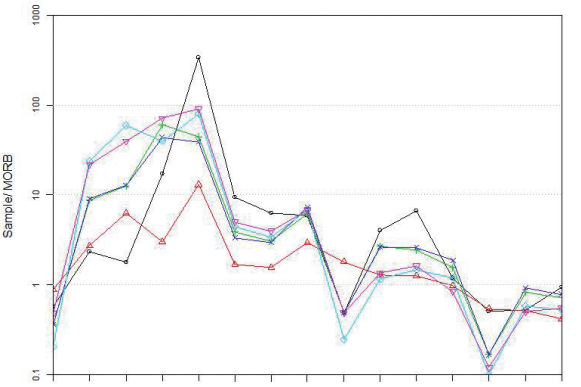

FIGURA 5. Patrones de elementos traza de las rocas volcánicas de la Formación Yaví. Valores del N-MORB de Sun and McDonough (1989).

En cuanto al contenido de tierras raras, en el diagrama normalizado a condrito (FIGURA 6), se muestra enriquecimiento en Tierras Raras Livianas (LREE) y empobrecimiento en Tierras Raras Pesadas (HREE). Una excepción a esto lo constituye una anomalía negativa de Eu, muy pronunciada para los valores de la muestra AP-01. Las anomalías de Eu son principalmente controladas por plagioclasa, particularmente en rocas félsicas.

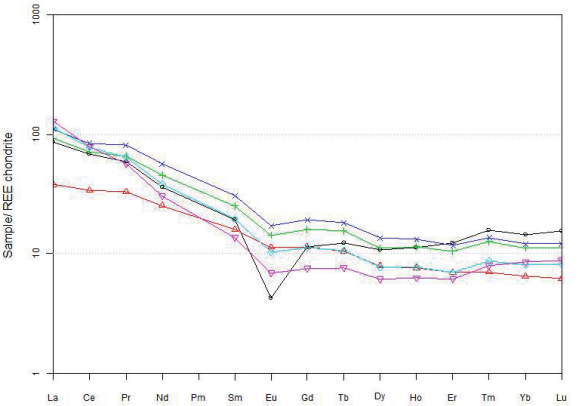

FIGURA 6. Patrones de los elementos de las tierras raras normalizadas con respecto a las condritas (Nakamura, 1974).

Los datos geoquímicos de las volcanitas de la Formación Yaví fueron trazados en el diagrama de discriminación tectónica Th-Zr/117 y Nb/16 (Wood, 1980). Este modelo puede ser aplicado para el rango completo desde rocas félsicas a máficas. Se observa en la grafica (FIGURA 7) que todas las muestras caen en el campo de las rocas volcánicas calcoalcalinas de arco y se infiere que

procesos de cristalización fraccionada pudieron haber jugado un papel importante en la alta concentración de muestras hacia el vértice del Torio (Th).

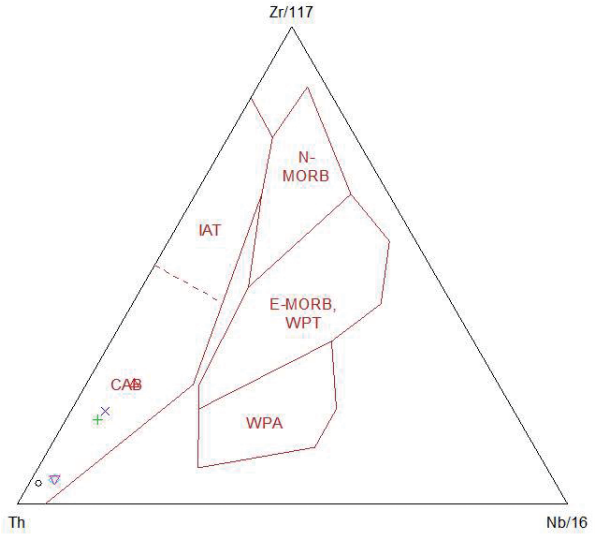

FIGURA 7. Diagrama de discriminación tectónica según Wood (1980). Se observa que todas las muestras están en el campo de las rocas calcoalcalinas de arco. Los símbolos son los mismos de la FIGURA 4.

DISCUSION DE RESULTADOS

Las rocas volcánicas de la Formación Yaví muestran un amplio rango petrográfico que va desde basaltos con olivino hasta dacitas con biotita, sin embargo su clasificación geoquímica es basaltos. La comparación de las rocas no está restringida a un solo campo ya que podemos plantear la existencia de líquidos andesíticos de fuerte tendencia calcoalcalina, y traquiandesitas con afinidades transicionales (entre calcoalcalinas y alcalinas) que indican un posible régimen subdutivo con influencia extensional. El Batolito de Ibagué, situado en el flanco este de la Cordillera Central y al oeste del área del presente estudio, es el mayor cuerpo intrusivo de edad Jurásica en Colombia. Este cuerpo ígneo de naturaleza calco-alcalina es el eje de un arco volcánico activo durante el Jurásico-Cretácico basal con subducción desde el occidente en el Océano Pacifico (Altenberger y Concha-Perdomo, 2005). Esta fase volcánica afectó áreas del Valle Superior del Magdalena y del este de la Cordillera Central. Así, los depósitos volcánicos de la Formación Yaví, localizados al este del Batolito de Ibagué, están necesariamente ligados a una cuenca de retro-arco.

Se puede establecer correspondencia entre los patrones de Tierras Raras entre las volcanitas, ya que los patrones guardan paralelismo implicando que las líneas de descenso del líquido están controladas por minerales que no fraccionan fuertemente entre una y otra roca los grupos de Tierras Raras. Existe una excepción, la anomalía negativa de Eu presente en rocas más diferenciadas, estaría relacionada a grandes cantidades de plagioclasa removidas durante la cristalización fraccionada. Los patrones de elementos normalizados con el MORB reflejan los aportes típicos de regiones orogénicas ricas en fluidos enriquecidos en elementos LILE. Se puede definir como improntas típicas de líquidos derivados de la zona de subducción las anomalías negativas en Nb, Ta y Ti retenidos en minerales de la corteza oceánica subducida, así como el enriquecimiento selectivo de K, Ba y Sr y de Tierras Livianas, fácilmente móviles en fluidos acuosos.

Para corroborar el marco tectónico se utilizó el diagrama de Wood (1980), en el cual se observa que la distribución de los valores de elementos menores Th-Zr/117 y Nb/16 sugieren un ambiente de emplazamiento enmarcado en un régimen destructivo de margen continental. La situación geográfica actual de la Formación Yaví contrasta con la posición que esta unidad pudo tener al final del Jurásico y comienzos del Cretácico. Los resultados del estiramiento de la corteza continental en Colombia y Ecuador durante el Triásico y el Jurásico pudieron haber influido en la intrusión de cuerpos básicos en las fases de estiramiento en el Cretácico Temprano (Barragán *et al*., 2005).

La edad de la Formación Yaví aún no está claramente establecida, pero muestras tomadas y analizadas por Vergara and Prössl,(1994) sugieren una edad Aptiana. La exacta posición geográfica de las muestras estudias por Vergara and Prössl (1994) no fue indicada, algo que es necesario ya que en el sector de la Quebrada Palmarosa se han reconocido una serie de fallas que repiten pequeñas secciones de la Formación Alpujarra. Desafortunadamente esta sucesión desmembrada fue usada por Vergara *et al*. (1995), para indicar que la Formación Caballos (*sensu lato*) está constituida por una sucesión estratigráfica compuesta de tres cuerpos clásticos con dos segmentos lutíticos intercalados. Estas conclusiones no concuerdan ni con la propuesta estratigráfica de Flórez y Carrillo (1994), ni con la sucesión reconocida por otros autores (e.g. Beltrán and Gallo, 1968; Moreno-Sánchez y Robles, 1987). Según lo antes referido, las muestras de polen pudieron ser extraídas de la base de la Formación Alpujarra y no de la Formación Yaví como lo afirman Vergara and Prössl (1994). Para aclarar cualquier duda sobre este asunto basta revisar la secuencia estratigráfica presente en el flanco este del sinclinal de media luna.

Las rocas magmáticas de la Formación Yaví, muestran una tendencia hacia la influencia de arcos volcánicos (subducción). Sin embargo, solo cuando se conozca con precisión la edad de la Formación Yaví será posible establecer un marco geológico de los ambientes geodinámicos de la unidad. En este proyecto se realizó una datación K/Ar en roca total de la muestra AP-01 tomada de un domo riolítico (N 3.36397, W 75.33619) que arrojó una edad de 159±5 m.a. (Jurásico Tardío), sin embargo, este domo intruye rocas sedimentarias atribuidas a la base de la Formación Yaví, pero que podrían ser relictos de secuencias volcano-sedimentarias culminantes de la Formación Saldaña tal como lo indica la edad de la roca datada.

CONCLUSIONES

Los resultados de este trabajo, lo mismo que los presentados por Toro-Toro *et al*. (2006), sugieren que esta parte de Colombia estuvo sometida a un régimen de margen de placa sometido a magmatismo de arco. El régimen volcánico en Colombia durante el Cretácico Temprano parece ser de tipo mixto: en la Formación Yaví se reportan rocas de subducción y estiramiento bajo influencia de cuencas de tras-arco. La cronología preliminar de uno de los cuerpos ígneos sugiere una edad Jurásica Tardía, sin embrago es necesaria una revisión de las edades de todos los cuerpos volcánicos ya que niveles volcano-sedimentarios de la Formación Saldaña podrían estar incluidos crípticamente en la base de la Formación Yaví.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo fue financiado por la vice-rectoría de Investigaciones y Posgrado de la Universidad de Caldas y los autores desean agradecer de manera especial a los estudiantes del pregrado en Geología Enrique Correa Valero y Andrés Felipe Pineda por sus aportes y colaboración en las campañas de campo.

REFERENCIAS

Altenberger, U., and Concha-Perdomo, A. E. 2005. Late Lower to early Middle Jurassic arc magmatism in the northern Ibagué-Batholith/Colombia, Geología Colombiana, 30: 87-97.

Barragán, R., Baby, P., and Duncan, R. 2005. Cretaceous alkaline intra-plate magmatism in the Ecuadorian Oriente Basin: Geochemical, geochronological and tectonic evidence: Earth and Planetary Science Letters, 236 (3-4): 670-690.

Beltrán, N., and Gallo, J. 1968. The geology of the Neiva Sub-Basin, Upper Magdalena Basin, southern portion. Ninth Annual Field Conference, Field-Trips: Bogotá, Sociedad Colombiana de Geológos y Geofísicos del Petroleo, pp. 253-275.

Bernal, J. E., Carvajal, L., Sotelo, A., y Vargas, F. 1976. Estudio geológico de la región de Prado y comarcas aledañas, Departamento del Tolima, Colombia, Facultad de Ciencias Naturales, Universidad de Guayaquil y CIAF, pp. 39.

Etayo-Serna, F., y Carrillo, G. A. C. 1996. Bioestratigrafía del Cretácico mediante macrofósiles en la sección El Ocal, Valle Superior del Magdalena, Colombia: Geología Colombiana, 20: 81-92.

Flórez, M. J. N., y Carrillo, G. A. C. 1994. Estratigrafía de la sucesión litológica basal del Cretácico del Valle Superior del Magdalena, *in* Etayo-Serna, F., ed., Estudios geológicos del Valle Superior del Magdalena: Bogotá, Universidad Nacional de Colombia, pp. II1-II25.

Le Maitre, R. W. 2002. Igneous rocks: a classification and glossary of terms: recommendations of the International Union of Geological Sciences Subcommission on the Systematics of Igneous Rocks: Cambridge, Cambridge University Press, 236p.

Mojica, J., y Macía, C. 1981. Características estratigráficas y edad de la Formación Yaví, Mesozoico de la región entre Prado y Dolores, Tolima, Colombia: Geología Colombiana, 12: 7-32.

Moreno-Sánchez, M., y Robles, J. C. 1987. Análisis facial de las sedimentitas del Cretácico Inferior en el sector norte de la subcuenca de Neiva, Huila [Geology thesis]: Universidad Nacional de Colombia, 143p.

Nakamura, N. 1974. Determination of REE, Ba, Fe, Mg, Na and K in carbonaceous and ordinary chondrites: Geochimica and Cosmochimica Acta, 38: 757-775.

Renzoni, G. 1994. Yaví (Formación): Catálogo de las unidades estratigráficas de Colombia, INGEOMINAS, pp. 1-18.

Sneider, J. S. 1988. Depositional enviroment of the Caballos Formation, San Francisco field, Neiva sub-basin, Upper Magdalena Valley, Colombia [M.S. thesis]: Texas A&M University, 157p.

Sun, S. S., and McDonough, W. F. 1989. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: implications for mantle compositionand processes, *in* Saunders, A. D., and Norry, M. J., eds., Magmatism in Ocean Basins: London, Geological Society, Special Publications, pp. 313-345.

Toro-Toro, L. M., Moreno-Sánchez, M., y Gómez-Cruz, A. d. J. 2006. Volcanismo en la Formación Yaví cerca de Ataco (Tolima) durante el Cretácico Temprano y su significado geodinámico: Boletín de Geología UIS, 28 (2): 35-47.

Vásquez, M., and Altenberger, U. 2005. Mid-Cretaceous extension-related magmatism in the eastern Colombian Andes: Journal of South American Earth Sciences, 20: 193–210.

Vergara, L., Guerrero, J., Patarroyo, P., y Sarmiento, G. A. 1995. Comentarios acerca de la Nomenclatura Estratigráfica del Cretácico Inferior del Valle Superior del Magdalena: Geología Colombiana, 19: 21-32.

Vergara, L. S., and Prössl, K. F. 1994. Dating the Yaví Formation (Aptian, Upper Magdalena Valley, Colombia), palynological results, *in* Etayo-Serna, F., ed., Estudios geológicos del Valle Superior de Colombia: Bogotá, Universidad Nacional de Colombia, pp. XVIII1-XVIII13.

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.

Wood, D. A. 1980. The application of a Th-Hf-Ta diagram to problems of tectonomagmatic classification and to establishing the nature of crustal contamination of basaltic lavas of the British Tertiary volcanic province: Earth and Planetary Science Letters, 42: 77-97.

Trabajo recibido: Marzo 28 de 2011
Trabajo aceptado: Junio 7 de 2011