

VULCANITAS DEL S-SE DE COLOMBIA: RETRO-ARCO ALCALINO Y SU POSIBLE RELACION CON UNA VENTANA ASTENOSFERICA

Borrero, C. A.^{1,2}; Castillo, H.^{1,3}

RESUMEN

Las vulcanitas neógenas aflorantes al sur de la latitud 2°N en el valle superior del Magdalena, en el departamento del Huila y NW del departamento del Putumayo, conforman un retro-arco volcánico con conos y anillos piroclásticos, generalmente monogenéticos con flujos de lava asociados de extensión variable y depósitos de caída piroclásticos. La composición de las vulcanitas según el diagrama TAS varía entre basanitas, basaltos alcalinos, nefelinitas, traquiandesitas y en menor proporción andesitas basálticas. Para enmarcar el vulcanismo se compara su geoquímica con la de los volcanes cuaternarios calco-alcalinos que forman el arco frontal volcánico más sur en Colombia (volcanes Chiles, Cumbal, Azufral, Galeras, Bordoncillo - Campanero y Doña Juana). Estas vulcanitas alcalinas de retro-arco son mayoritariamente de carácter alcalino, con contenido de TiO₂ entre 1,24 y 2.46% y los diagramas Harker con respecto a SiO₂ presentan tendencias similares a las encontradas en basaltos tipo OIB, especialmente comparables con las rocas volcánicas de la Provincia Volcánica Central Europea. Este vulcanismo sería el efecto de la colisión del *Ridge* de Carnegie desde hace 8 Ma en el S de Colombia, al que estaba acoplado el *Rift* de Malpelo contra la trinchera colombiana, este choque permitió la formación de una ventana astenosférica (*slab window*) dentro de la placa subducente, Placa de Nazca, que permitió que una cuña del manto astenosférico se percolara a través de ella y fuera la fuente para los magmas tipo OIB del retro-arco del Sur de Colombia. El acople de este *ridge* modificó la estructura geodinámica del Sur de Colombia y del Norte de Ecuador evidenciada por el fuerte contraste entre el vulcanismo de los volcanes del Sur de Colombia y la continuidad del arco frontal hacia el Ecuador.

Palabras Clave: Vulcanismo alcalino, sur de Colombia, *Ridge* de Carnegie, *Rift* de Malpelo, retro-arco.

VULCANITES FROM S-SE OF COLOMBIA, ALKALINE BACK-ARC AND THEIR POSSIBLE RELATIONSHIP TO AN ASTENOPHERIC WINDOW

ABSTRACT

The Neogene volcanism outcropping to the south of 2°N Latitude at the Upper Magdalena Valley in the Huila department and the Northwestern of Putumayo department (Colombia) defines a volcanic back-arc with monogenetic pyroclastic cones and rings associated to lava flows and pyroclastic fall deposits. The composition according to the TAS classification include basanites, alkaline basalts, nephelinites, trachyandesites, and in lesser proportion basaltic andesites. The back-arc volcanism was geochemically compared with the calc-alkaline Quaternary volcanoes that define the southern Colombian front arc (Chiles, Cumbal, Azufral, Galeras, Bordoncillo - Campanero y Doña Juana volcanoes). The alkaline volcanism has contents of TiO₂ from 1,24 to 2.46% in wt. and the distribution tendency of major elements in the Harker diagrams is similar to the OIB-Type basalts, especially comparable to the volcanic rocks of the Central European Volcanic Province. This volcanism is possibly the result of the Carnegie Ridge collision since 8 Ma, with the Malpelo Rift coupled, against the Colombian Trench. This collision permitted the formation of slab window into the subducted Nazca plate, where the asthenospheric mantle passes through of this window and possibly was the source of the OIB-type magmas in the Southern Colombia. This collision modified the geodynamic structure of this area evidenced by the strong change in style of the front arc in the southern Colombia and the northern Equator.

Keywords: Alkaline volcanism, Southern Colombia, Carnegie Ridge, Malpelo Rift, Back-arc.

¹ Depto de Ciencias Geológicas, Universidad de Caldas, A.A. 275, Manizales, Colombia.

² borrero_c@yahoo.com

³ hardanyc@yahoo.com

INTRODUCCION

El vulcanismo Neógeno en los Andes colombianos tiene lugar desde el Mioceno hasta el presente conformando la parte más Norte del arco volcánico frontal de la Zona Volcánica Norte (*NVZ Northern Volcanic Zone* de Thorpe & Francis, 1979 en Bourdon et al., 2003). En el sur de Colombia, el arco volcánico neógeno tiene una tendencia NE, y corre de S a N, a través de la Cordillera Occidental, el graben Interandino y la Cordillera Central y la localización de los volcanes está fuertemente controlada por la tectónica y especialmente por las dos zonas de fallas principales, Cauca-Patía y Romeral-Dolores junto con sus fallas secundarias asociadas. Los estratovolcanes complejos cuaternarios con un paleo-volcán bien definido (Ramírez, 1982 en Droux & Delaloye, 1996) son: Chiles, Cumbal y Azufral en la Cordillera Occidental (FIGURA 1), Galeras al W del graben interandino,, Morasurco en el centro del graben, Doña Juana en el límite E del graben con la Cordillera Central y Puracé en la Cordillera Central, pero existen otra serie des volcanes que probablemente formarían parte del arco

y están localizados sobre la Cordillera Central (FIGURA 1): de S a N, La Victoria, El Encanto, Caballo Rucio, El Gallo, El Maduro y Del Medio, de los cuales no se encontró ninguna referencia bibliográfica.

Al este del arco volcánico frontal principal, en la FIGURA 1 se diferencia otra serie de volcanes, que constituirían un retro-arco por su posición, localizado en el sur del departamento del Huila en el Valle Superior del Magdalena, y al nor-occidente del departamento del Putumayo, los cuales hasta ahora no son considerados como parte de todo el sistema de subducción actual, este artículo pretende enmarcar desde el punto de vista geoquímico las relaciones entre este vulcanismo de retro-arco y el arco volcánico frontal cuaternario del sur de Colombia.

Los centros volcánicos del retro-arco más reconocidos están en los municipios el sur del departamento del Huila (Velandia et al., 2001): el Meremberg y La Palma (La Plata), El Morro y El Pensil (Argentina), el volcán San Roque (Oporapa), los centros de erupción de La Horqueta, Los Ídolos, la Guaca, Primave-

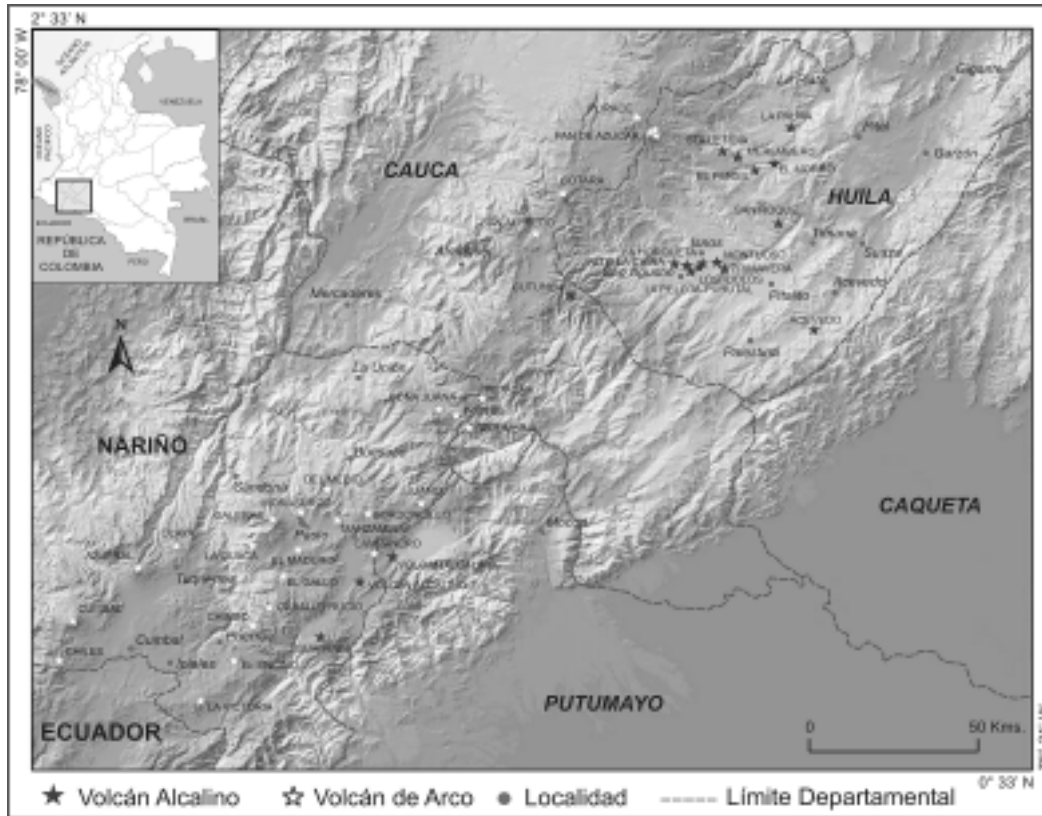


FIGURA 1. Mapa de Localización de los volcanes del Arco frontal y los del Retro-Arco.

ra, Canastos Mondeyal y Montuso (Isnos) y La Pelota, Purutal y Alto La China (San Agustín).

El Volcán Meremberg para Schmitt (1983) podría ser un estrato-volcán (?), a 2500 m.s.n.m. (FIGURA 1), con una caldera de casi 1,5 Km. de diámetro, el anillo piroclástico se proyecta solo 100 m. por encima del plan ignimbrítico que los rodea. Lavas andesíticas han sido emitidas principalmente hacia el SE, N y al SW.

En el área de La Argentina en la cuenca del Río La Plata, se localizan el volcán El Pensil a 2000 m.s.n.m. con un anillo piroclástico cratérico bajo degollado hacia el norte por una colada de lava corta, y el Volcán El Morro, el cual es un cono de escoria perfectamente fresco a 1800 m.s.n.m., un corte de carretera muestra capas de lapilli y pequeñas bombas, y está localizado al tope del flujo de lava andesítica oriental del volcán El Pensil (Velandia et al., 2001).

Los centros de erupción de San Agustín - Isnos para Schmitt (1983) tienen una orientación SW-NE (FIGURA 1), pero están bastante erodados, Kroonenberg et al. (1982) los describen como edificios cónicos pequeños, que no exceden uno ó dos km. en diámetro y están protruyendo 100-150 m. por encima del plano ignimbrítico de la Formación Guacacallo a 1750 m.s.n.m., la meteorización alcanza profundidades mayores de 10 m. y en general mal expuestos. El volcán La Horqueta es el menos meteorizado y puede representar uno de los edificios más jóvenes del área. El anillo piroclástico cratérico en el Alto de los Ídolos, es un importante sitio arqueológico donde los basaltos fueron usados para las tumbas y las estatuas.

El volcán de San Roque en Oporapa a 2000 m.s.n.m., es un cono volcánico profundamente meteorizado, al Sur de la serranía de Las Minas, Kroonenberg et al. (1982) no encontraron afloramientos sino bloques de lavas columnares basálticas en los taludes y drenajes del área.

En el flanco Occidental de la Cordillera Oriental para Kroonenberg et al. (1982) ningún centro de emisión volcánico es identificable, ni en fotografías aéreas ni en el campo, probablemente debido a la fuerte meteorización y erosión, y describe en el valle del Río Suaza una lava basáltica gruesa que rellena un valle a 1700-1200 m.s.n.m. Sin embargo, Schmitt (1983) en

el municipio de Suaza (Huila) entre Acevedo y San Adolfo, localizan los centros de erupción en La Calle y Acevedo con dirección SW-NE en las partes altas del Río Suaza, marcado como Acevedo en la FIGURA 1.

La edad de los flujos de lava y depósitos piroclásticos provenientes del vulcanismo básico se encuentran sobre las ignimbritas de la Formación Guacacallo (Kroonenberg et al. 1981 y 1982). Esta situación se observa muy claramente en la carretera San Agustín-El Estrecho en donde lavas y piroclastos de los cerros La Pelota o Purutal yacen sobre el material ignimbrítico (edad: $7,1 \pm 0,3$ Ma, K/Ar en biotita, en Velandia et al., 2001).

En el NW del Putumayo, según el mapa geológico de Ingeominas (1999), se localiza también una actividad volcánica (FIGURA 1) probablemente alcalina y los denomina volcanes alcalinos, pero no existe ningún tipo de información geoquímica de esta zona, lo cual es una de las incógnitas que todavía no se ha resuelto en el vulcanismo de Colombia; Kuch (1892 en Kroonenberg et al., 1982) describe basaltos similares en el Cerro Campanero al E de la Laguna de La Cocha, 120 Km. al SW de San Agustín y edificios volcánicos similares han sido identificados geológicamente en la zona de Mandiyaco- Villalobos (cuenca alta del Río Caquetá), y un poco más al S en el área del Guamués (cuenca alta del Río Putumayo), pero no los localiza adecuadamente en un mapa.

En general, este conjunto de volcanes que forman el retro-arco no tienen una dirección como la del arco volcánico frontal de la Cordillera Central, se agrupan por sectores con una tendencia general W-E, y probablemente continuarían hacia el sur en el Ecuador.

GEOQUIMICA

El vulcanismo activo calcoalcalino en el SW de Colombia es parte de la Zona Volcánica Norte (NVZ) de los Andes (Thorpe & Francis, 1979 en Bourdon et al., 2003), que se extiende desde los 5° N a los 2° S. Este vulcanismo es la manifestación de la subducción hacia el Este de la placa oceánica de Nazca de edad Mioceno Temprano la cual buza 25° - 35° por debajo de la cuña noroeste de Suramérica (Tremkamp et al., 2002). En este segmento del arco volcánico, el des-

plazamiento de la placa de Nazca es oblicua y forma un ángulo de cerca de 45° con las principales estructuras continentales. La rata de subducción varía de acuerdo con los autores desde 6,5 a 9 cm/año (Pennington, 1981 y Kellog, 1988 en Tremkamp et al., 2002). El arco volcánico activo colombiano corre paralelo a la trinchera Colombo-Ecuatoriana, la cual representa la subducción de la Placa de Nazca por debajo del continente Suramericano. De acuerdo con los datos sísmicos, la corteza Continental es del orden de 40-50 Km. de espesor y la profundidad de la Zona de Benioff bajo el arco volcánico cuaternario es en promedio de 150 Km. (Droux & Delaloye, 1996).

Con base en análisis principalmente de elementos mayores recopilados de los trabajos de Murcia & Marín (1981), Schmitt (1983), Kroonenberg et al. (1982), Droux & Delaloye (1996) y Cortés & Calvache (2002), se muestran las relaciones de los dos grupos de rocas volcánicas resaltados en el presente artículo, el arco volcánico principal cuaternario del Sur de Colombia, y el por nosotros denominado retro-arco volcánico, localizado al E del arco volcánico principal. Los resultados con base en elementos traza y algunos elementos de tierras raras (REE) no se presentan debido a inconsistencias en la calidad de los datos en la bibliografía consultada.

El diagrama K_2O vs. SiO_2 (FIGURA 2) muestra que todos los volcanes cuaternarios del arco volcánico principal se localizan en la zona de medio-K y muestran una correlación positiva en general y solo algunos del retro-arco están en la zona de alto-K siendo los más básicos y el de más alto contenido de K_2O pertenece a la Formación Guacacallo que es la más silíceo de todas las muestras y este último se coloca solo como referencia.

En el diagrama Alcalis vs. SiO_2 (FIGURA 3), los volcanes del arco frontal cuaternario del sur de Colombia son subalcalinos y solo los volcanes de retro-arco del área de Isnos – San Agustín y Acevedo son alcalinos, algunas muestras del retro-arco del área de La Argentina y el Volcán Meremberg tienen tendencia subalcalina.

En el diagrama $Na_2O + K_2O$ vs. SiO_2 (FIGURA 4), la línea punteada corresponde al límite alcalino - subalcalino de Irving & Baragar (1971) los datos de los volcanes del arco cuaternario corresponden principalmente a andesitas basálticas, andesitas y dacitas y solo los datos de los cerros Bordoncillo y Campanero corresponden a traquiandesitas, las muestras del retro-arco en el área de La Argentina corresponden a andesitas y traquiandesitas, las del Volcán Meremberg

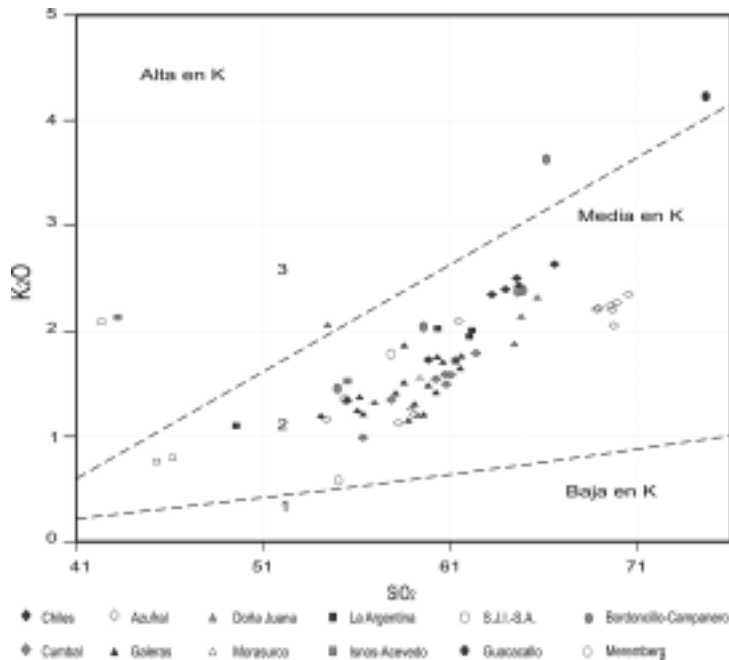


FIGURA 2. Diagrama K_2O vs. SiO_2 , límites extendidos de Gill (1981 en Hildreth et al., 2004).

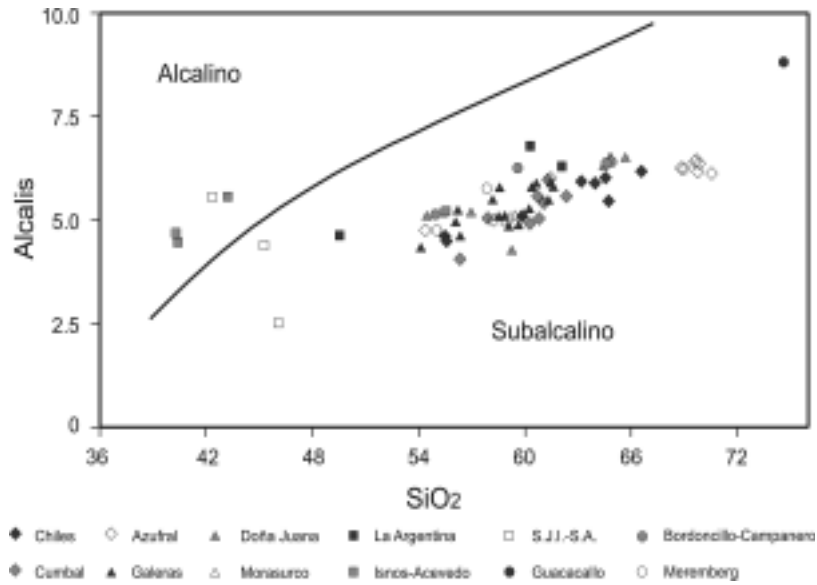


FIGURA 3. Diagrama Alcalis vs. Sílice, línea de división de Irvine & Baragar (1971).

a andesitas basálticas y el resto de muestras del retroarco corresponden a basaltos alcalinos, basanitas y nefelinitas.

Los diagramas Harker (FIGURA 5), muestran las variaciones con respecto a SiO_2 , de los óxidos mayo-

res, los volcanes del arco principal cuaternario muestran una variación inversa de óxidos como MgO (6,28 – 1,04%), FeO_t (8,17 – 2,79), CaO (9,17 – 3,68%) y TiO_2 (1,31 – 0,38%) probablemente debido al papel de los minerales principales en las fases de fraccionamiento en la evolución de los magmas, y como ya lo

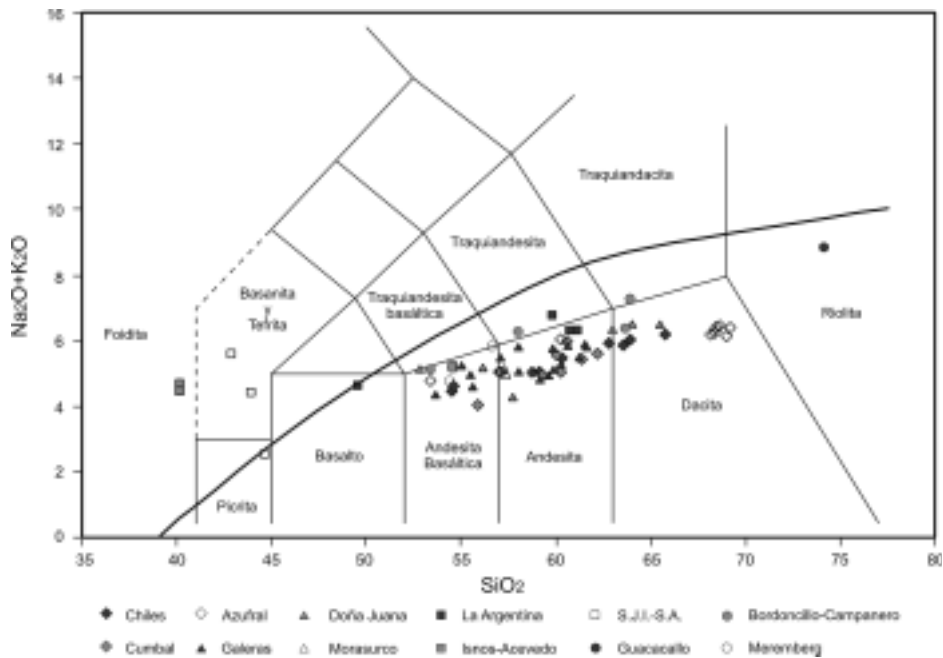


FIGURA 4. Diagrama TAS (Alcalis total vs. SiO_2) de Le Bas et al., 1986. Las líneas de división de los campos alcalino y subalcalino de Irvine & Baragar (1971).

Vulcanitas del S-SE de Colombia: Retro-Arco Alcalino y su Posible Relación con una Ventana Astenosférica

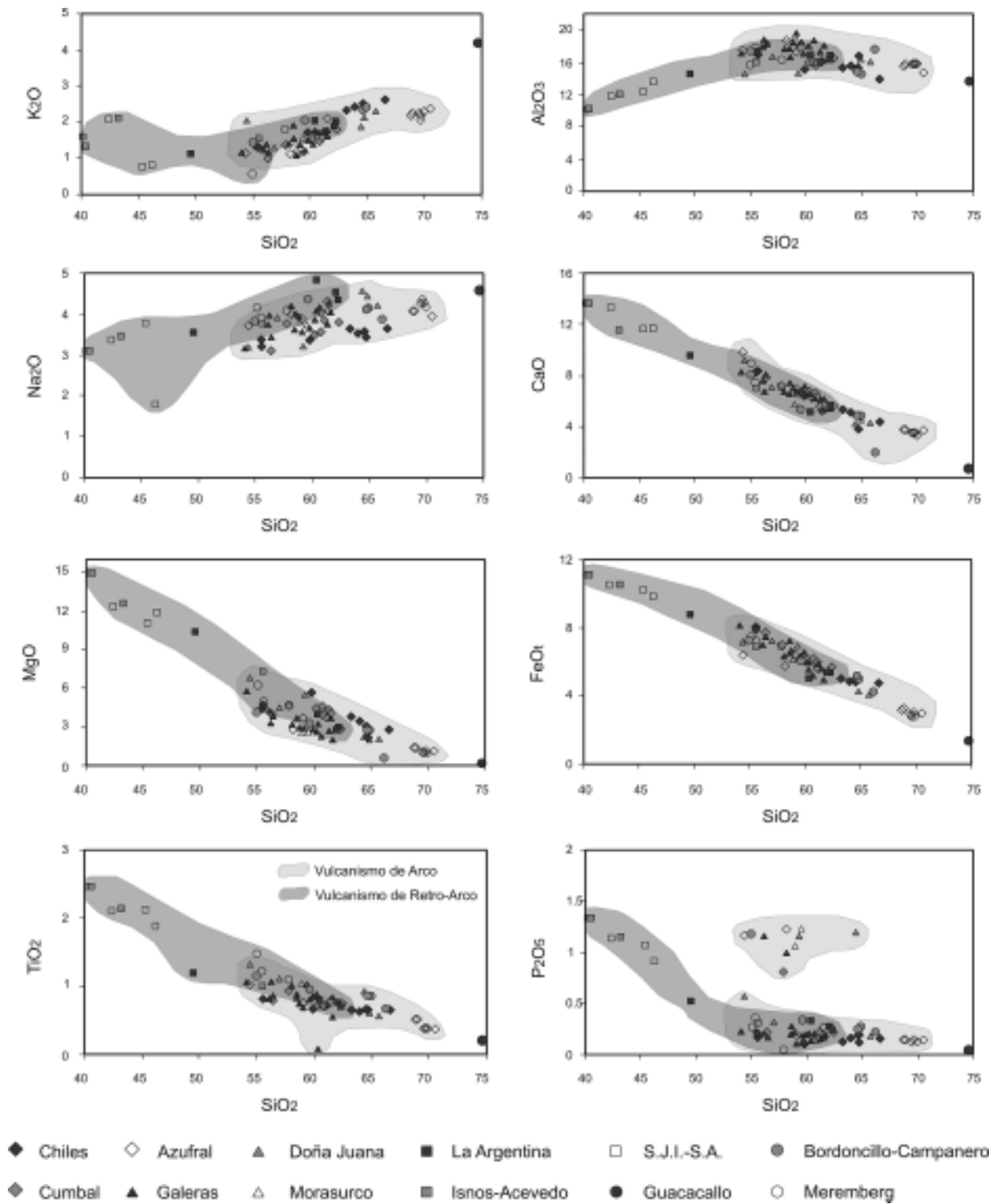


FIGURA 5. Diagramas Harker Elementos mayores vs. SiO_2 , para detalles ver el texto.

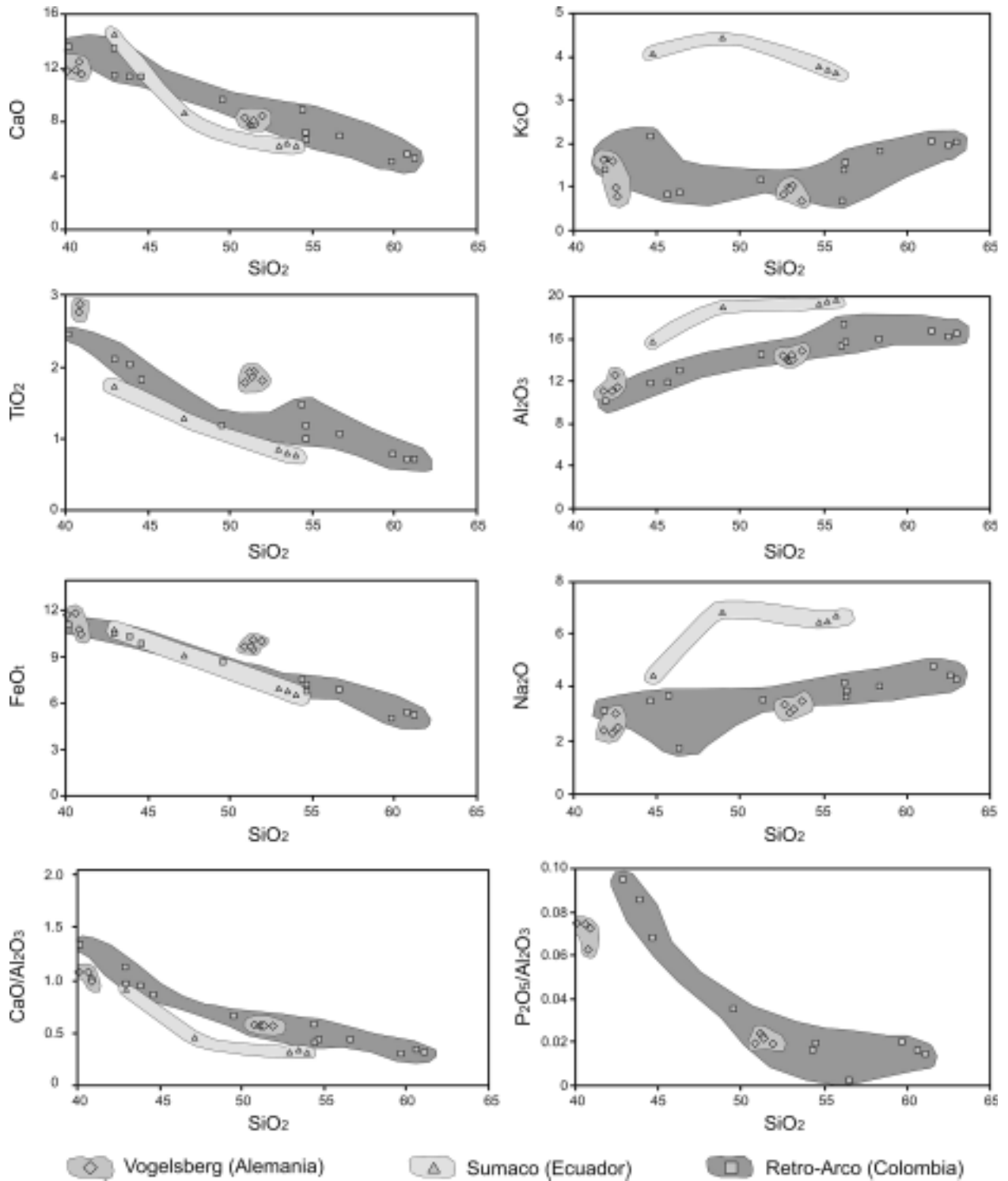


FIGURA 6. Diagramas Harker para comparar el vulcanismo de Retro-arco al sur de Colombia, con el Volcán Sumaco (Ecuador) y la provincia basáltica de Vogelsberg (Alemania Central).

habíamos notado en la FIGURA 3, el K_2O (1,2 – 2,35%) exhibe una correlación lineal positiva con la sílice. El Al_2O_3 (14,45- 19,19%) y el Na_2O (3,22 – 4,35%) no presentan una tendencia especial, con respecto al P_2O_5 (0,57 – 0,14%) tienen una variación inversa la mayoría de las muestras con excepción de algunas muestras de los volcanes Cumbal, Galeras, Doña Juana y Morasurco que muestran datos más altos alrededor del 1, 17% debido a probables diferencias en el grado de fusión parcial de los diferentes tipos de magmas.

Evidencias petrográficas y geoquímicas (Galeras: Cortés & Calvache, 2002, Cumbal, Azufral, Chiles: Droux & Delaloye, 1996) sugieren que la génesis de las lavas de los volcanes de arco puede ser atribuida a una fusión parcial de un fragmento de la corteza oceánica en la astenosfera, lo que condujo a un enriquecimiento del magma en Ba, y probablemente en otros elementos del grupo del K. El magma, así producido evolucionó en distintas etapas de asimilación y cristalización fraccionada (ACF) a distintas profundidades de la corteza. En la cámara magmática de los niveles superiores de la corteza, la mezcla de un magma basáltico primitivo ascendente, con la de un magma andesítico-dacítico, conjuntamente con los procesos de cristalización fraccionada y de contaminación cortical producen la serie andesítica típica de cada volcán (Droux & Delaloye, 1996).

En cambio, las muestras relacionadas con los volcanes de retro-arco, con respecto al K_2O , no presentan una tendencia definida con valores muy variables (0,58 – 2,08%), el Na_2O muestra una correlación positiva (1,2 – 4,79%) al igual que el Al_2O_3 (10,27- 16,71%), los demás óxidos tienen una variación inversa pero con valores muchos más altos que los volcanes del arco volcánico cuaternario: CaO (13,64–5,36 %), MgO (14,83– 2,94 %), FeO_t (11,04 - 5,26%), TiO_2 (2,37 -0,73%) y P_2O_5 (1,33 - 0,04%).

Comparación del Retro-arco de Colombia con el Volcán Sumaco (Ecuador) y Provincia Basáltica de Vogelsberg (Alemania Central)

Como se mostró en la FIGURA 3, los diagramas de Harker son los únicos que por el momento nos permiten hacer una diferenciación entre los volcanes de arco y el retro-arco colombiano, para enmarcar esta diferencia en la FIGURA 6, se muestran solo los datos del

retro-arco y se comparan con datos del Volcán Sumaco, Ecuador (Bourdon et al., 2003) y productos volcánicos de la zona de Vogelsberg, Alemania (Jung & Masberg, 1998).

El Volcán Sumaco se localiza en la zona ecuatorial al Este en la provincia amazónica del Ecuador en la zona de piedemonte de los Andes y, forma parte del retro-arco actual de la Zona Volcánica Norte (NVZ) y se localiza al Sur del retro-arco colombiano propuesto en este trabajo y está constituido por lavas subsaturadas ricas en K. (Bourdon et al., 2003). Un interrogante planteado por estos autores es si las lavas del Volcán Sumaco están relacionadas a un punto caliente intra-continental o un rifting sobre un manto antiguo enriquecido (como otras provincias shoshoníticas de Suramérica) y no a procesos de subducción.

La provincia basáltica de Vogelsberg (Alemania Central), que forma parte de la *Central European Volcanic Province (CEVP)* cubre un área de 2.500 Km² al NW de Frankfurt y su parte más sur está traslapando la depresión del Rin Superior, está compuesta principalmente por toleitas cuarzosas a olivínicas intercaladas con basanitas y nefelinitas, la fuente mantélica inferida puede ser similar a la de los basaltos de islas oceánicas (OIB) (Jung & Masberg, 1998) o de MORB (Basaltos de Ridge Medio-oceánicos) enriquecidos y algunos OIB (Jung et al., 2005) y siempre sugieren una fuente del manto profundo para su origen.

Como puede notarse en los diagramas Harker de la FIGURA 6, el Volcán Sumaco presenta valores más altos en Na_2O y K_2O , valores más bajos en TiO_2 , y valores similares en CaO y FeO_t que los volcanes del retro-arco colombiano y la provincia basáltica de Vogelsberg, lo cual permitiría inducir a pensar que el retro-arco volcánico de la zona ecuatorial en Ecuador tiene un origen diferente a las lavas del retro-arco colombiano, y el modelo propuesto para Ecuador por Bourdon et al. (2003) no continúa en Colombia. En cambio las vulcanitas de la provincia basáltica de Vogelsberg tienen las mismas tendencias que las del retro-arco colombiano, en especial la relación de CaO/Al_2O_3 y P_2O_5/Al_2O_3 con respecto a SiO_2 , lo cual probablemente podría reflejar cantidades pequeñas de asimilación cortical y significaría un origen similar a partir de un manto astenosférico.

MODELO: VENTANA ASTENOSFERICA

Hasta hoy en día la única interpretación tectónica del volcanismo de retro-arco para esta zona de Colombia estaba relacionada con la composición de los basaltos alcalinos y la ocurrencia de nódulos de peridotita con espinela que fuertemente sugerían un origen mantélico para estos magmas (Kroonenberg et al., 1982), para la época de publicación del artículo citado, la asociación de este tipo de magmas con una zona de subducción resultaba contradictoria. Para ellos la distribución sugería que las fracturas que posibilitaron el ascenso de los magmas de basaltos alcalinos desde el manto estaban de alguna manera relacionadas a procesos de subducción, aunque la formación del magma en si mismo parecería ser independiente de ello.

Para explicar las provincias alcalinas relacionadas a zonas de subducción, se relacionan con procesos que involucran a la placa subducente: ventanas astenosféricas (*slab window*), desgarramiento dentro de la placa (*slab tearing*) o desprendimiento dentro de la placa (*slab detachment*), cualquiera de estos procesos permite el ascenso de fuentes mantélicas tipo OIB desde una zona por debajo de la placa subducente (*sub-*

slab) o desde una zona por encima de éste (*supra-slab*). La mayor implicación del crecimiento de una ventana libre de placa subducente y la migración espacial de provincias magmáticas y tectónicas en el bloque continental suprayacente se documentan por ejemplo en el área del punto triple de Chile (Bourgeois & Michaud, 2002 y Guivel et al., 2006), a lo largo de la porción continental de Baja California en Méjico (Bellon et al., 2006) y Sur de Costa Rica (Abratis & Wörner, 2001). Por lo tanto, para discutir el origen de los basaltos alcalinos del retro-arco del sur de Colombia, se propone un modelo preliminar de ventana astenosférica (*slab window*).

El modelo tectónico más ampliamente aceptado para el NW de Suramérica sugiere que una reorganización de placas importante tuvo lugar hace casi 25 Ma, rompiéndose la placa Farallón en las placas Cocos y Nazca al Sur y la Placa Juan de Fuca más hacia el Norte. Lonsdale (2005, especialmente en su Figura 11) sugiere que el Ridge de Malpelo es una continuación primaria del Ridge de Cocos separado por el movimiento dextral a lo largo de la zona de falla N-S de Panamá. Los Ridges de Malpelo y Carnegie separados uno del otro durante un período de *rifting* y ex-

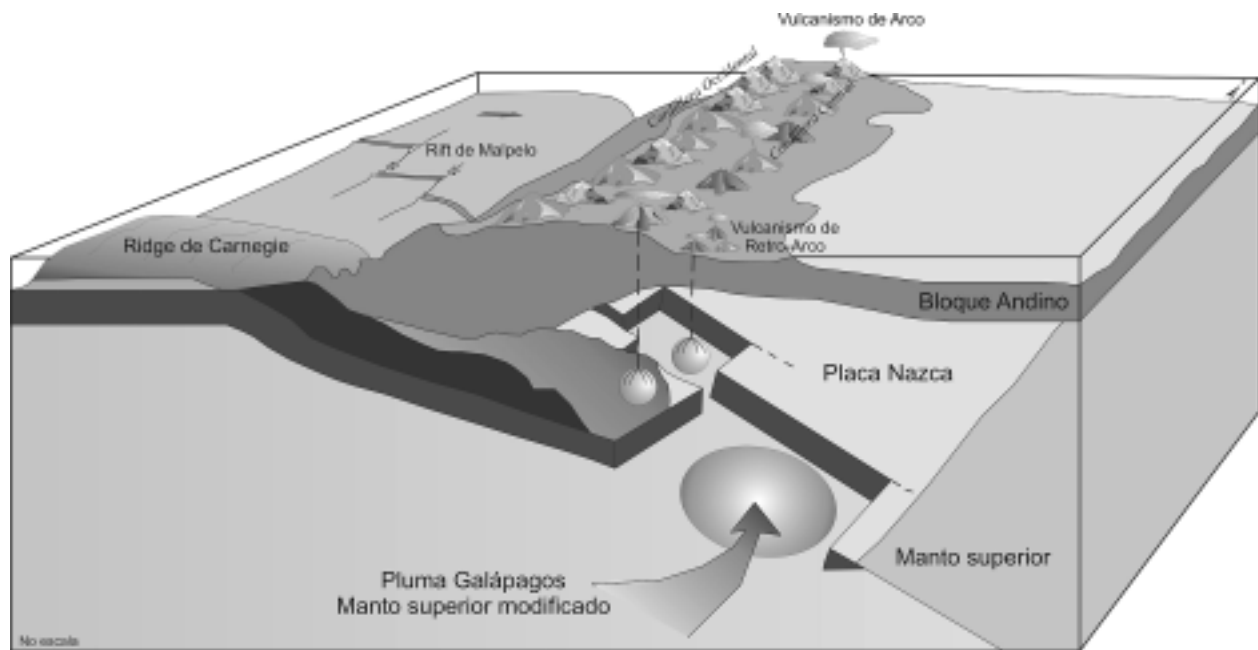


FIGURA 7. Modelo propuesto de la Ventana Astenosférica producida por la subducción del Rift de Malpelo que estaba acoplado al Ridge de Carnegie, hace ~ 8- 9 Ma.

pansión del fondo oceánico desde hace 17 o 18 Ma. Las expresiones del extinto *Rift* de Malpelo y segmentos adyacentes de éste, así como también las fallas transformantes que lo dividen son visibles claramente en la morfología del fondo oceánico, entonces se plantea en este trabajo la posibilidad de que este *Rift* de Malpelo aún activo pudo subducir por debajo de la trinchera colombiana y dar origen a la probable ventana astenosférica, la fuente de los magmas es la pluma de Galápagos.

Se propone que siempre hubo un acoplamiento entre el *Ridge* de Carnegie y el *Rift* de Malpelo, ósea que su historia de colisión fue muy similar, ya que el contexto geodinámico para estas dos estructuras era muy similar desde el Mioceno. Si se hubiera sucedido la colisión del *Rift* de Malpelo, como lo proponemos de manera preliminar en este trabajo, entonces es probable que en la placa subducente de esa época se hubiere formado una ventana astenosférica que está relacionado con la formación de los magmas que dieron lugar al vulcanismo de retro-arco planteado para el Sur de Colombia en este trabajo, ver FIGURA 7, la no continuidad de esta ventana astenosférica puede estar relacionada a que la actividad de expansión se terminó alrededor de 8 Ma, lo que coincide con la única edad de Velandia et al. (2001): $7,1 \pm 0,3$ Ma, K/Ar en biotita, la cual representa una edad mínima para el vulcanismo de retro-arco.

CONCLUSIONES

Se propone un retro-arco volcánico localizado al E del arco volcánico frontal en el sur del departamento del Huila en el Valle Superior del Magdalena, y al noroccidente del departamento del Putumayo, los volcanes del retro-arco se agrupan por sectores con una tendencia general W-E y no tienen una dirección preferente como la del arco volcánico frontal de la Cordillera Central, y probablemente continuarían hacia el sur en el Ecuador.

Se enmarca desde el punto de vista geoquímico las relaciones entre este vulcanismo de retro-arco y el arco volcánico frontal cuaternario del sur de Colombia. Los volcanes del arco cuaternario corresponden principalmente a andesitas basálticas, andesitas y dacitas y en menor proporción traquiandesita, las

muestras del retro-arco corresponden a basaltos alcalinos, basanitas y nefelinitas, andesitas basálticas y en menor proporción andesitas y traquiandesitas.

Los diagramas Harker muestran las variaciones con respecto a SiO_2 , de los óxidos mayores, los volcanes del arco principal cuaternario muestran una variación inversa de con respecto MgO , FeO , CaO y TiO_2 , el K_2O exhibe una correlación lineal positiva con la sílice. El Al_2O_3 y el Na_2O no presentan una tendencia especial, y el P_2O_5 tiene una variación inversa la mayoría de las muestras. En cambio, las muestras relacionadas con los volcanes de retro-arco, el K_2O no presenta una tendencia definida con valores muy variables, el Na_2O muestra una correlación positiva al igual que el Al_2O_3 , los demás óxidos tienen una variación inversa pero con valores muchos más altos que los volcanes del arco volcánico cuaternario: CaO (13,64–5,36 %), MgO (14,83– 2,94 %), FeO (11,04 - 5,26%), TiO_2 (2,37 -0,73%) y P_2O_5 (1,33 - 0,04%).

Para enmarcar los datos geoquímicos de los volcanes del retro-arco se comparan con datos del Volcán Sumaco, Ecuador (Bourdon et al., 2003) y productos volcánicos de la zona de Vogelsberg, Alemania (Jung & Masberg, 1998), donde las vulcanitas de esta última zona tienen las mismas tendencias que las del retro-arco colombiano, en especial la relación de $\text{CaO}/\text{Al}_2\text{O}_3$ y $\text{P}_2\text{O}_5/\text{Al}_2\text{O}_3$ con respecto a SiO_2 , lo cual probablemente podría reflejar cantidades pequeñas de asimilación cortical y significaría un origen similar a partir de un manto astenosférico de magmas tipo OIB.

Para discutir el origen de los basaltos alcalinos del retro-arco del sur de Colombia, se propone un modelo preliminar de ventana astenosférica (*slab window*). Se propone que siempre hubo un acoplamiento entre el *Ridge* de Carnegie y el *Rift* de Malpelo, ósea que su historia de colisión fue muy similar, ya que el contexto geodinámico para estas dos estructuras era muy similar desde el Mioceno. Si se hubiera sucedido la colisión del *Rift* de Malpelo, como lo proponemos de manera preliminar en este trabajo, entonces es probable que en la placa subducente de esa época se hubiere formado una ventana astenosférica que está relacionado con la formación de los magmas que dieron lugar al vulcanismo de retro-arco planteado para el Sur de Colombia, la fuente sería la pluma de Galápagos.

AGRADECIMIENTOS

A los geólogos A. Pinilla y P. Ríos por la ayuda en la investigación bibliográfica, al geólogo C. Ossa de la Universidad de Caldas por su ayuda con los diagramas geoquímicos.

REFERENCIAS

- Abratis, M. and Wörner, G. (2001), Ridge collision, slab window formation, and the flux of Pacific asthenosphere into the Caribbean realm. *Geology* v. 29 no. 2: 127-130.
- Bellon, H., Aguillon-Robles, A., Calmus, T., Maury, R.C., Bourgois, J. and Cotton, J. (2006), La Purísima volcanic field, Baja California Sur (Mexico): Miocene to Quaternary volcanism related to subduction and opening of an asthenospheric window. *Journal of. Volcanology and Geothermal Research*. 152: 253-272.
- Bourdon, E., Eissen, J.P., Gutscher, M.A., Monzier, M., Hall, M. and Cotton, J. (2003), Magmatic response to early aseismic ridge subduction: the Ecuadorian margin case (South America), *Earth and Planetary Science Letters*. 205: 123-138.
- Bourgois, J. and Michaud, F. (2002), Comparison between the Chile and Mexico triple junction areas substantiates slab window development beneath northwestern Mexico during the past 12-10 Myr. *Earth and Planetary Science Letters* 201: 35-44.
- Cortés, G. P. y Calvache, L.M. (2002), Formación Los Pastos, Catálogo de las Unidades Litoestratigráficas de Colombia Neógeno, Cordillera Central Departamento de Nariño, INGEOMINAS Bogotá, 43 pp.
- Droux, A. and Delaloye, M. (1996), Petrography and Geochemistry of Plio-Quaternary Calc-Alkaline volcanoes of Southwestern Colombia, *Journal of South American Earth Sciences* Vol 9 Nos.1/2: 27-41
- Guivel, C., Morata, D., Pelleter E., Espinoza, F., Maury, R., Lagabriele, Y., Polve, M., Bellon, H., Cotten, J., Benoit, M., Suarez, M., and De La Cruz, R.(2006). Miocene to Late Quaternary Patagonian basalts (46-47°S): Geochronometric and geochemical evidence for slab tearing due to active spreading ridge subduction. *Journal of. Volcanology and Geothermal Research* 149: 349-370.
- Gutscher, M.A., Malavieille, J. and Collot, J.-Y. (1999), Tectonic segmentation of the North Andean margin: impact of the Carnegie Ridge Collision, *Earth and Planetary Science Letters* 168: 255-270.
- Hildreth, W., Fierstein, J, Siems, D. F., Budahn, J. R. and Ruiz, J. (2004), Rear-arc vs. arc-front volcanoes in the Katmai reach of the Alaska Peninsula: a critical appraisal of across-arc compositional variation, *Contrib Mineral Petrol* 147: 243-275 DOI 10.1007/s00410-004-0558-2.
- Ingeominas (1999), Mapa Geológico Esc: 1:500.000, tomado del Atlas Colombiano de Información Geológica-Minera para inversión (ACIGEMI), CD-ROM.
- Irvine, T.N. and Baragar, W.R.A. (1971), A guide to the chemical classification of the common volcanic rocks. *Canadian Journal of Earth Sciences* 8: 523-548.
- Jung, S. and Masberg, P. (1998), Major-and trace-element systematics and isotope geochemistry of Cenozoic mafic volcanic rocks from the Vogelsberg (Central Germany) Constraints on the origin of continental alkaline and tholeiitic basalts and their mantle sources. *Journal of. Volcanology and Geothermal Research* 86: 151-177.
- Jung, S., Pfänder, J.A., Brugmann, G. and Stracke, A. (2005) Sources of primitive alkaline volcanic rocks from the Central European Province (Rhön, Germany) inferred from Hf, OS and Pb isotopes, *Contrib Mineral Petrol* 150: 546-549.
- Kroonenberg, S., Leon, A., Pastana, J.M. y Pessoa, M. (1981), Ignimbritas Pliopleistocénicas en el Suroeste del Huila, Colombia y su influencia en el desarrollo morfológico, Mem. Primer Seminario sobre el Cuaternario en Colombia, *Revista CIAF* Vol 6. Nos. 1-3: 293-314.
- Kroonenberg, S., Pichler, H and Diederix, H.,(1982), Cenozoic alkalibasaltic to ultrabasic volcanism in the uppermost Magdalena valley, Southern Huila department, Colombia, *Geología Norandina* 5: 19-26.
- Le BAS, M.J., Le MAITRE, R.W., STRECKINSON A. and ZANETTIN, B.(1986) A chemical classification of volcanic rock based on total alkali-silica diagram. *Journal of Petrology* 77: 24-37.
- Lonsdale, P. (2005) Creation of the Cocos and Nazca plates by fission of the Farallón plate, *Tectonophysics* 404: 237-264.
- Murcia, A. y Marín, P. (1981). Petrología y petroquímica de lavas recientes de algunos volcanes en Colombia.

Mem. Primer Seminario sobre el Cuaternario en Colombia,
Revista CIAF Vol 6, Nos. 1-3: 349-363.

■ Schmitt, C. (1983), Petrologische untersuchungen junger vulkanite in Südkolombien. Dissertation zur Erlangung des Grades eines Doktors der Naturwissenschaften der Geowissenschaftlichen Fakultät der Eberhard-Karls-Universität Tübingen 207 p.

■ Spikings, R.A., Winkler, W., Hughes, R.A. and Handler, R. (2005), Thermochronology of allochthonous terranes in Ecuador: Unravelling the accretionary and post-accretionary history of the Northern Andes, *Tectonophysics* 399: 195-220.

■ Trenkamp, R., Kellog, J.N., Freymueller, J.T. and Mora, H. (2002), Wide plate margin deformation, southern Central America and northwestern South America, CASA GPS observations, *Journal of South America Earth Sciences* 15: 157-171.

■ Velandia, F., Nuñez, A. y Marquinez, G. (2001), Memoria explicativa del mapa geológico del Departamento del Huila Esc: 1:300.000 INGEOMINAS, 153 pp.

Trabajo recibido: septiembre 29 de 2006

Trabajo aceptado: noviembre 10 de 2006