

# GEOLOGÍA DEL MIEMBRO CHAGARTON DE LA FORMACIÓN COCONUCOS

Sandra López<sup>1</sup>; Eliana Cañola<sup>1</sup>; Gloria Toro<sup>2</sup>; Bernardo Pulgarín<sup>3</sup>; Michel Hermelín<sup>2</sup>

## RESUMEN

Depósitos volcánicos de aproximadamente 230 m de espesor recubren los alrededores de Coconuco (Departamento de Cauca). La base de estos depósitos volcánicos son ignimbritas correlacionables con la Formación Popayán, cuyo origen se asocia a la actividad volcánica de la Caldera Paletará. Sobre estas ignimbritas fueron depositados aproximadamente 200 m de lavas calcoalcalinas, con alto contenido de potasio, cuya composición varía entre traquiandesitas, traquibasaltos andesíticos, andesitas basálticas y andesitas. Estos depósitos volcánicos son evidencia de una importante actividad tanto explosiva como efusiva que se asocia con al menos con tres diferentes centros de emisión: la caldera de Paletará, caldera de Chagartón y el volcán Puracé.

**Palabras clave:** Colombia, volcán Puracé, caldera de Paletará, caldera de Chagartón, petrografía, geoquímica

## STRATIGRAPHY OF THE CHAGARTON MEMBER OF THE COCONUCOS FORMATION

### ABSTRACT

About 230 m of volcanic deposits occur around Coconucos (Cauca Department). The lowermost part of these deposits is ignimbritic in character and can be correlated with the Popayan Formation, whose origin is related to the volcanic activity of the Paletará Caldera. Overlying these ignimbrites about 200 m of potassium-rich, calco-alkaline lavas occur. These include trachyandesites, trachybasalts, basaltic andesites, and andesites. These volcanic deposits evidence both, explosive and effusive activity, associated with at least three emission centers: the Paletara Caldera, the Chagarton Caldera, and the Purace volcano.

**Keywords:** Colombia, Puracé volcano, Paletara Caldera, Chagarton Caldera, petrography, geochemistry

<sup>1</sup> Universidad EAFIT, Carrera 49 N° 7 Sur -50 Medellín, Colombia - Maestría en Ciencias de la Tierra, Departamento de Geología, [slopezcl@eafit.edu.co](mailto:slopezcl@eafit.edu.co), [ecanolah@eafit.edu.co](mailto:ecanolah@eafit.edu.co)

<sup>2</sup> Universidad EAFIT, Grupo de Geología Ambiental e Ingeniería Sísmica, Departamento de Geología, Teléfono: 42619375, FAX: 42682599, [gtoro@eafit.edu.co](mailto:gtoro@eafit.edu.co); [hermelin@eafit.edu.co](mailto:hermelin@eafit.edu.co)

<sup>3</sup> INGEOMINAS - Observatorio Vulcanológico y Sismológico de Popayán, [bpulgarin@ingeominas.gov.co](mailto:bpulgarin@ingeominas.gov.co)

## INTRODUCTION

La actividad volcánica neógeno – cuaternaria en Colombia está relacionada con la interacción entre las placas Nazca y Suramérica, y presenta características geológico - estructurales típicas de una zona asociada a procesos de subducción a lo largo de la margen continental (Pennington, 1981; Wilson, 1989). Los centros de emisión asociados en Colombia a esta actividad volcánica se distribuyen desde el sur del departamento de Antioquia hasta los límites con el Ecuador, y entre ellos se encuentran los de la cadena volcánica de los Coconucos (FIGURA 1). Este artículo sintetiza los resultados del estudio estratigráfico, petrográfico y geoquímico de la secuencia de depósitos volcánicos de los alrededores del municipio de Coconuco (Cauca), en una zona ubicada al noroeste de la cadena volcánica; los resultados permiten establecer no sólo la recurrencia de eventos volcánicos, sino también sus cambios de estilo de explosivos a efusivos.

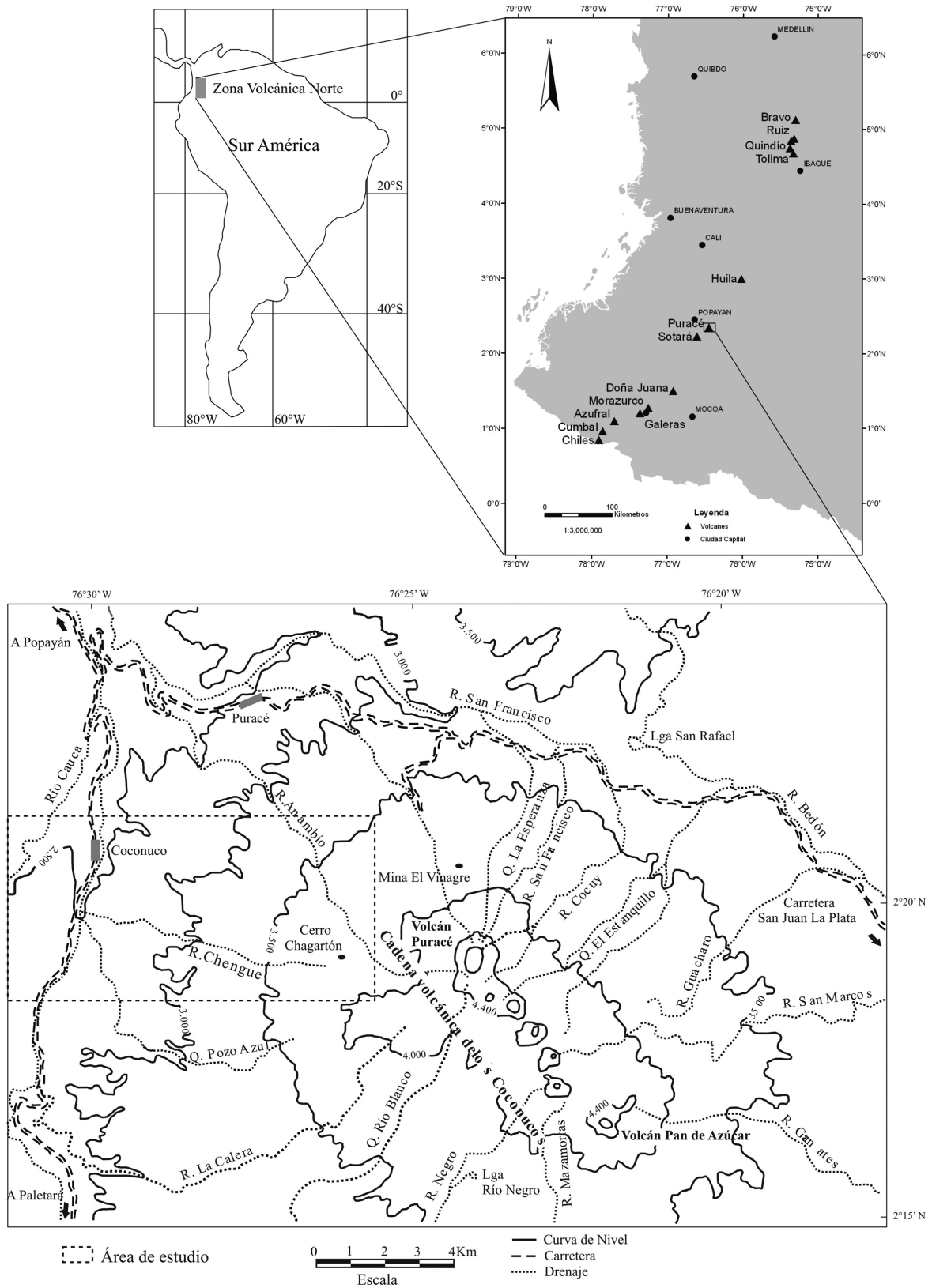
## LOCALIZACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO Y METODOLOGÍA

El volcán Puracé (Monsalve y Pulgarín, 1999) está situado en el extremo septentrional de la cadena volcánica de los Coconucos, en la cordillera Central de Colombia. La zona de estudio se localiza en la ladera occidental del volcán Puracé en los alrededores del municipio de Coconucos (FIGURA 1) y ocupa un área de 154 km<sup>2</sup>. Durante el trabajo de campo se levantaron 10 columnas estratigráficas, se elaboraron los mapas geomorfológicos y geológicos a escala 1:25.000 (Cañola *et al.*, 2007), se realizaron estudios petrográficos en secciones delgadas y la caracterización química, la cual incluyó el análisis por fluorescencia de rayos X (XRF) y absorción atómica (A.A.) en los laboratorios del INGEOMINAS, Bogotá. Para la correlación de las columnas se empleó el concepto de unidad aloestratigráfica para diferenciar los depósitos con límites discontinuos caracterizados por la heterogeneidad litológica, distinguir entre diferentes depósitos superpuestos con límites discontinuos de litología similar, o unidades con límites discontinuos separadas geográficamente de litología similar (North American Stratigraphic Code, 2005), como es el caso de los depósitos volcánicos estudiados. Estos depósitos están separados geográficamente y dispersos en las laderas tanto del volcán Puracé actual como del remanente de la Caldera de Chagarton, unos están confinados al valle del río La Calera y otros están restringidos a los valles estrechos de los cauces secundarios.

## ESTUDIOS ANTERIORES

Los centros de emisión cartografiados de lo que se conoce como la cadena volcánica de los Coconucos son parte de un vulcanismo resurgente que se inició en antiguas estructuras caldéricas como son las calderas del Paletará y de Chagartón (Torres *et al.*, 1999; Monsalve, 1996; Monsalve, 2000; Monsalve y Pulgarín, 1993; Pulgarín *et al.*, 1996). La denominada Formación Popayán agrupa los productos volcánicos asociados a la actividad de la Caldera del Paletará (Torres *et al.*, 2009, 2011) y la Formación Coconucos agrupa los depósitos asociados a la caldera de Chagartón (Monsalve, 2000). La Formación Coconucos (Monsalve, 2000) está constituida por la intercalación e interdigitación de depósitos de flujo de lava y depósitos de flujo de piroclástico, con un rango de edad entre 3 Ma y el tiempo actual y está constituida por cinco miembros, de acuerdo con las características litológicas y su génesis; estos miembros en orden estratigráfico son: Miembro Chagartón, Miembro Río Negro, Miembro San Francisco, Miembro Paletará y Miembro Puracé. El Miembro Chagartón agrupa los productos efusivos asociados a un centro de emisión que se localizaría al suroccidente del Puracé actual y está constituido por depósitos de flujo de lava andesítica que afloran en el área de la población de Coconuco; estos depósitos provienen de la actividad del volcán que dio origen a la Caldera de Chagartón, estructura de aproximadamente de 40 m de diámetro, de la cual actualmente solo se conservan remanentes que conforman el llamado cerro Chagartón al noroccidente del volcán Puracé (Acevedo *et al.*, 1987; Monsalve y Pulgarín, 1993).

En los estudios geoquímicos realizados entre otros por (Droux y Delaloye, 1996; Kuroda and Paris, 1978; Marín-Cerón, 2004; Monsalve, 1991), las rocas del volcán Puracé se clasifican como andesitas con variaciones a dacitas, pertenecientes a la serie calco-alcalina definida por Irvine and Baragar (1971), con un alto contenido de potasio característico de este sector (Murcia y Marín, 1981). Al igual que en otros sectores de Colombia y Suramérica, existe una estrecha relación entre el vulcanismo y las zonas de debilidad de la corteza que se presentan en los sectores donde estructuras regionales con dirección norte sur pertenecientes al Sistema de Romeral – Cauca y Cauca – Patía se entrecruzan con estructuras de tendencia norte – noroeste y norte – noreste (CHEC, 1983; Hall and Wood, 1985).



**FIGURA 1.** Localización del volcán Puracé, perteneciente a la cadena volcánica de los Coconucos, en el contexto del vulcanismo de Colombia.

## RESULTADOS

Once unidades geomorfológicas constituyeron la base para diferenciar los distintos depósitos volcánicos (FIGURA 2) presentes en la zona. Según algunos parámetros como la edad, la relación entre las unidades y las competencias de las rocas, los procesos erosivos dan origen a geoformas que se agrupan en unidades geomorfológicas, constituyen una valiosa herramienta para estimar número y edad relativa de las unidades geológicas. Las unidades desarrolladas sobre depósitos de lava e ignimbritas se presentan como colinas redondeadas y lomas alargadas; los contrastes entre las unidades están asociados principalmente a cambios de pendientes y de altura. Se diferenciaron unidades con cimas redondeadas a subredondeadas, con desarrollo de una red de drenaje subdendrítica, con incisión y disección variables. La incisión de los drenajes principales y sus afluentes dejan vertientes escarpadas paralelas a los cauces y cañones en forma de V, como es el caso del río La Calera y Cauca. La unidad de llanuras de inundación de las terrazas aluviales (Qal en la FIGURA 3), corresponde a superficies planas y homogéneas con poca diferencia topográfica respecto al nivel de los ríos la Calera y Cauca. La unidad denominada coluviones agrupa sectores ubicados a la base de las vertientes y que están asociados con depósitos de flujos de escombros y material proveniente de las zonas escarpadas y/o depósitos aluviotorrenciales asociados a zonas escarpadas (Dv en la FIGURA 3). En la parte alta de las laderas de los ríos Anambío y San Andrés se presentan superficies suaves a colinadas paralelas a los cauces de los drenajes que corresponden a morrenas laterales asociadas a procesos de deshielo de antiguos glaciares, que en algún momento cubrieron la cumbre del volcán Puracé y otros centros de emisión de la cadena volcánica de los Coconucos. Estos depósitos situados por encima de los 3400 m, se denominaron depósitos de tilita (Dt en la FIGURA 3) y concuerdan con los reportados con Monsalve (2000); son caóticos, mal seleccionados y con estrías en algunos fragmentos de roca que permiten evidenciar su origen glaciar.

La FIGURA 3 corresponde al mapa geológico de la zona de estudio y en la FIGURA 4 presenta la columna aloestratigráfica de los depósitos volcánicos para el sector; estos depósitos recubren las rocas del basamento constituida por esquistos del Complejo Cajamarca del Paleozoico y rocas volcánicas del Cretáceo, pertenecientes al Complejo Quebradagrande (Maya y González, 1995).

La base de la secuencia corresponde a unos 30 m de ignimbritas soldadas, en las que se diferenciaron dos unidades. Estas ignimbritas son vestigios de una actividad volcánica explosiva que se correlaciona con los depósitos piroclásticos de la denominada Formación Popayán por Hubach (1957), y estudiada por Torres (1999) (Dpp y Dp de la FIGURA 3, al occidente del río Cauca). La ignimbrita basal se observa en las cuencas de los ríos Chengue y Chupumbio, en la vereda Fortaleza. Corresponde a un depósito matriz soportado, mal seleccionado, con líticas de lava angulares de tamaño hasta de 1 m, donde el material juvenil volcánico es una pómez con vesículas aplastadas (textura fiammé). Este depósito soldado de composición andesítica se caracteriza por su color rojizo debido a los óxidos de hierro y su origen podría estar asociado con una destrucción de edificio según la clasificación de Fisher and Schmincke (1984). Está recubierto por un depósito oligomictico piroclástico de bloques y ceniza, de composición andesítica, meteorizado, endurecido, mal seleccionado, donde los bloques de lava están embebidos en una matriz vítrea, vesiculada, meteorizado. La textura fiammé es visible en los fragmentos vítreos de la matriz. Este depósito podría corresponder a una ignimbrita de destrucción de domo según la clasificación genética de Fisher and Smincke (1984). Estos dos depósitos se interpretan como ventanas de la Formación Popayán.

La secuencia de productos volcánicos continúa con 190 m de depósitos de lava que constituyen el Miembro Chagartón de la Formación Coconucos, como fue definida por Monsalve (2000). Por la génesis de las diferentes unidades de depósitos de lava y su distribución semiradial, no fue posible establecer una columna tipo. Con base en la correlación y caracterización petrográfica y geoquímica se propone una columna aloestratigráfica generalizada para el Miembro Chagartón de la Formación Coconucos en el área. La cronología se establece siguiendo criterios estratigráficos y/o geomorfológicos.

La unidad basal del Miembro Chagartón es el depósito de lava fenoandesítica (D11 de las FIGURAS 3 y 4), de distribución norte sur, que aflora entre los ríos Cauca y La Calera. Este depósito de lava con un espesor visible de 100 m, constituye un alto topográfico que sobresale en la zona. Entre sus rasgos característicos están las estructuras columnares en diferentes estados de desarrollo, asociadas a diferentes grados de enfriamiento dentro de la unidad de flujo, con algunos núcleos centrales masivos. El centro de emisión posible se ubica en la Caldera de Paletará.



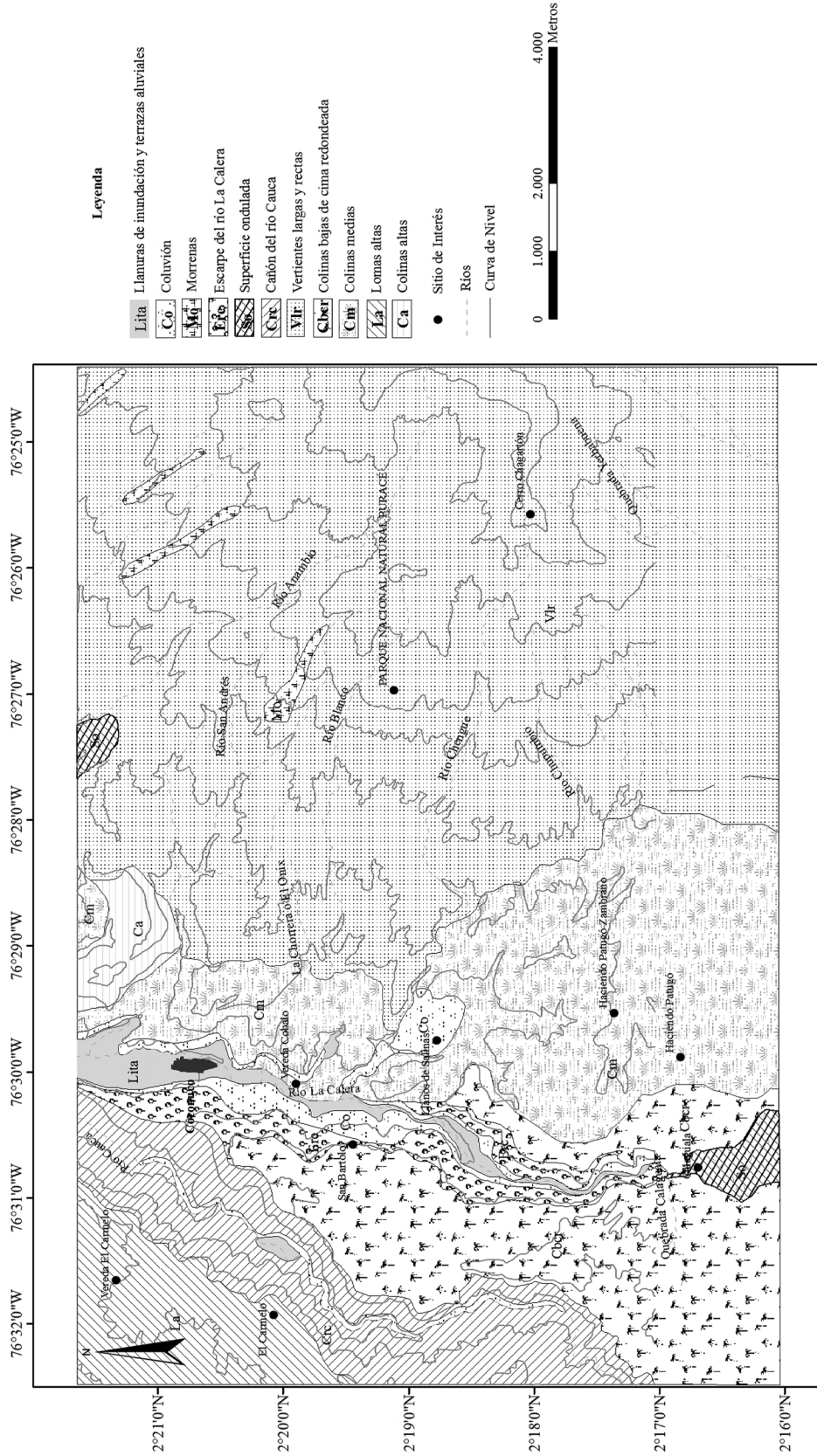


FIGURA 2. Mapa geomorfológico de los alrededores de la población de Cocomuco y el flanco noroccidental del centro de emisión Chagartón

Geología del Miembro Chagartón de la Formación Coconucos

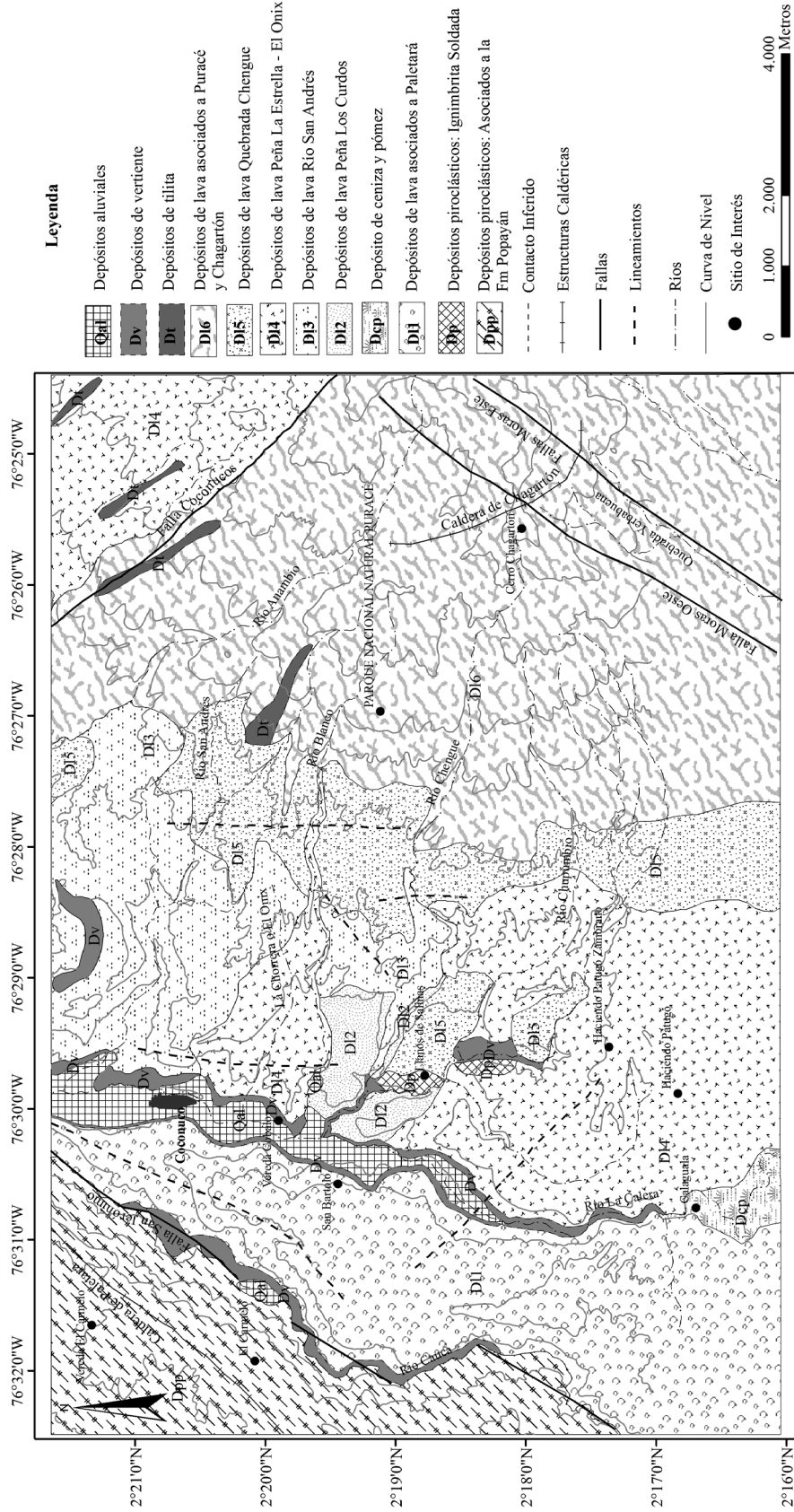
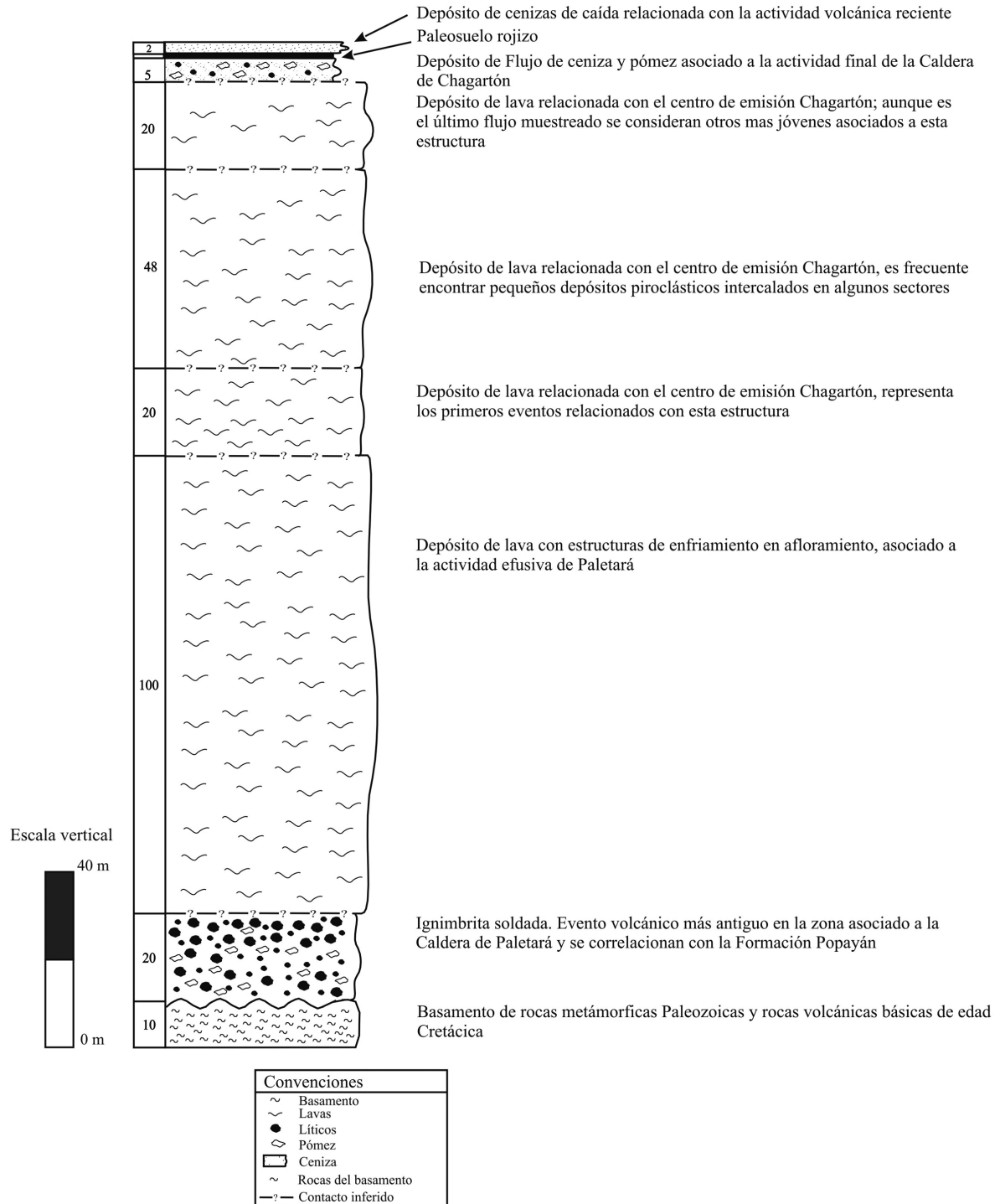


FIGURA 3. Mapa geológico de los alrededores de la población Coconuco y el flanco noroccidental del centro de emisión Chagartón



**FIGURA 4.** Columna aloestratigráfica que representa los eventos volcánicos, en el área de estudio, asociados a la caldera de Paletará, centro de emisión Chagartón y volcán Puracé, levantada alrededores de Coconuco

Estos enormes depósitos de lava con dirección norte surte (FIGURA 3) asociados a la posible actividad efusiva del Paletará están recubiertos por menos cinco depósitos de lava fenoandesíticas que tienen una

orientación este-oeste, lo que indica un posible centro de emisión asociado a la estructura del Chagartón (DI 2, DI 3, DI 4, DI 5 y DI6 de la FIGURA 3) y representarían los primeros eventos relacionados con esta estructura.



Se le asigna un espesor de 20 m en promedio de lavas interdigitadas con disposición radial.

La actividad esencialmente efusiva del centro de emisión del Chagartón estaría representada por depósitos de lava como el que aflora en la peña los Curdos de la vereda San Bartolo (DI2 en la FIGURA 3), con estructuras de enfriamiento, representadas por lajas horizontales y paralelas, espaciadas 0.10 – 0.12 m y por el depósito de lava Río San Andrés (DI3 en la FIGURA 3), localizado en la cuenca del río San Andrés y sus alrededores. Se trata de depósitos de lavas fenoandesíticas, porfiríticas, de textura media a gruesa, de color gris, con afloramientos masivos a columnares, con intercalaciones de pequeños depósitos piroclásticos, como el que se observa en el depósito de lava de Peña La Estrella y Cascada El Onix (DI4, en la FIGURA 3), localizadas en el escarpe oriental del casco urbano de Coconuco, donde el espesor alcanza los 40 m. En algunos sectores, se observan pequeños depósitos piroclásticos, intercalados con la roca maciza.

Entre los últimos productos asociados a la actividad efusiva del Chagartón están los depósitos de lava de la quebrada Chengue y la lava que aflora del Puracé (DI5 y DI6 en la FIGURA 3), con un espesor de 40 m. Estas lavas están recubiertas por un depósito de ceniza y pómez (Dcp) al sur de la zona de estudio, en la vía que conduce a Paletará y en el camino a Patugó. Este depósito es matriz-soportado con material pumítico, fragmentos de roca y restos de materia orgánica carbonizada. En promedio alcanza 5 m de espesor; corresponde al colapso de una columna eruptiva y representa la actividad de la Caldera de Chagartón, antes de iniciar la actividad del Pre-Puracé (estructura volcánica posterior a Chagartón). En la vía que conduce a Paletará, un paleosuelo rojizo concordante con la paleotopografía se desarrolló sobre este depósito, con un espesor de 0.3 m, el cual indica una pausa en la actividad volcánica de la zona. Sobre dicho suelo se encuentran cenizas de caída en paquetes homogéneos de color gris distribuidos aleatoriamente, asociados posiblemente a la actividad reciente del Volcán Puracé.

El estudio petrográfico permitió la caracterización y diferenciación de las rocas explosivas asociadas a la actividad de la caldera del Paletará correlacionables con la Formación Popayán y de las lavas asociadas al centro de emisión de Chagartón pertenecientes al Miembro Chagartón. La FIGURA 5 muestra detalles de algunas secciones delgadas analizadas, de muestras de estas lavas. La plagioclasa es la fase mineral más abundante, corresponde a una andesina (An32 y An40) con zonación normal, presente en los fenocristales como

en los microlitos de la matriz vítrea. La textura “sieve” y la reabsorción de los grandes cristales por el material de la matriz son características constantes observadas en todas las rocas, que indicaría estadias importantes dentro de la cámara magmática. El piroxeno está representado por cristales de augita e hiperstena, que alcanzan hasta 1,3 mm y no constituye un criterio de diferenciación para las lavas. En la matriz de los depósitos de lavas asociadas al centro de Chagartón, se presentan como microlitos acompañando la plagioclasa. De igual manera en los depósitos de lava más antiguos asociados a Chagartón se presentan crecimientos de cristales de ortopiroxeno alrededor de clinopiroxeno.

El anfíbol está ausente en las unidades explosivas de la base de la columna pertenecientes a la Formación Popayán, las cuales se asocian con la actividad explosiva de la caldera del Paletará. En las lavas que se asocian con la caldera del Chagartón, el anfíbol observado corresponde a cristales subhedrales de oxihornblenda, y su porcentaje aumenta de un 1% en la base de la secuencia, hasta un 3% en las lavas superiores. La biotita sólo se observó en las ignimbritas basales de la columna, unidades que se correlacionan con la Formación Popayán.

Los opacos se presentan como cristales aislados, formando glomero-cristales e inclusiones en todos los minerales de las rocas estudiada. Posiblemente son cristales de titanomagnetita e illmenita. Las vesículas se encuentran alargadas y achatadas, o redondeadas, y están restringidas a las rocas explosivas de la base de la columna; indican la presencia de una fase de vapor importante en el proceso de generación. Sulfatos y zeolitas rellenan algunas de estas vesículas de las ignimbritas basales.

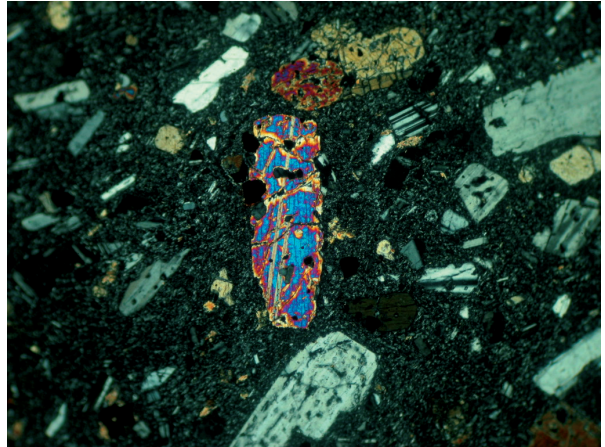
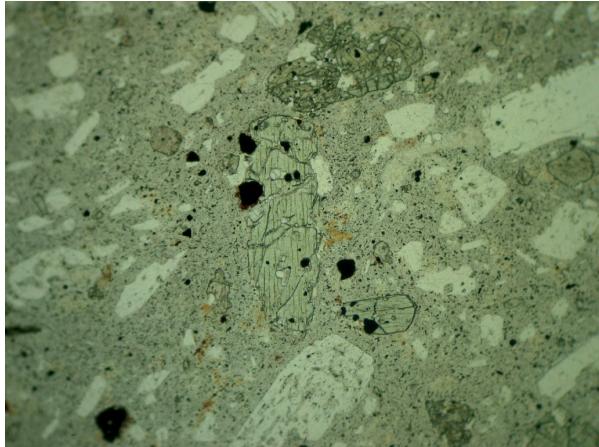
La TABLA 1 sintetiza resultados químicos de óxidos mayores y de los elementos trazas. En la TABLA 2 se retoma la información geoquímica publicada por otros autores para rocas del sector y en la FIGURA 6 se ilustra la clasificación de las rocas con base en los diagramas de  $K_2O$  vs  $SiO_2$ , de acuerdo con el concepto de Pecerillo and Taylor (1976), recomendado por Le Maitre (2002),  $Na_2O+K_2O$  vs  $SiO_2$ , según Le Bas *et al.* (1986) y los diagramas Harker para  $Fe_2O_3$ , CaO y MgO. Como se observa en la FIGURA 5 a (círculos negros), todas las rocas estudiadas pertenecen a la serie de rocas calcoalcalinas altas en potasio, situadas entre los campos de traquiandesitas, andesitas, andesitas basálticas y traquiandesitas basálticas. Unas pocas muestras están por fuera de esta tendencia y presentan composiciones basálticas y dacíticas, medias en



potasio. Los diagramas Harker (c, d y e de FIGURA 6) concuerdan con la evolución normal de procesos de cristalización fraccionada (Wilson, 1989), con una

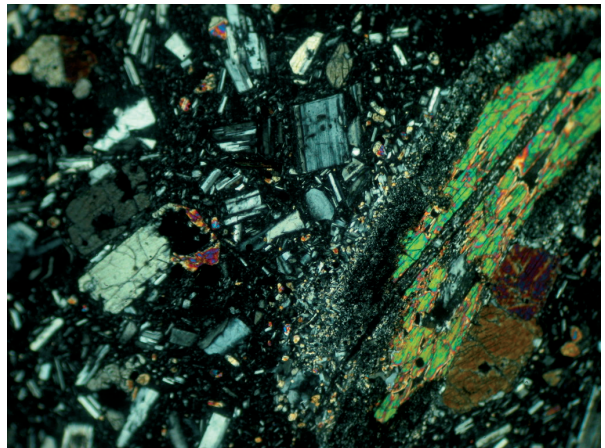
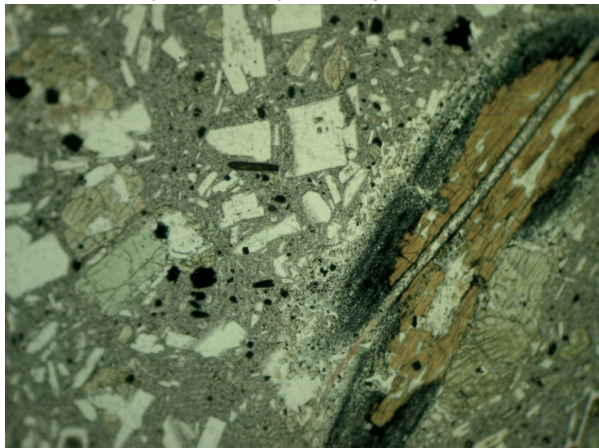
correlación positiva, donde se observa una disminución de los contenidos de  $Fe_2O_3$ , CaO y MgO al aumentar el contenido de  $SiO_2$ .

**Fenoandesita (SESW 068 a) Nicoles paralelos, Nicoles cruzados**



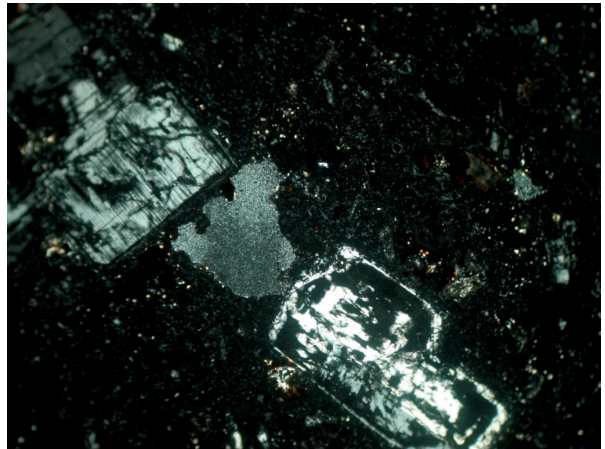
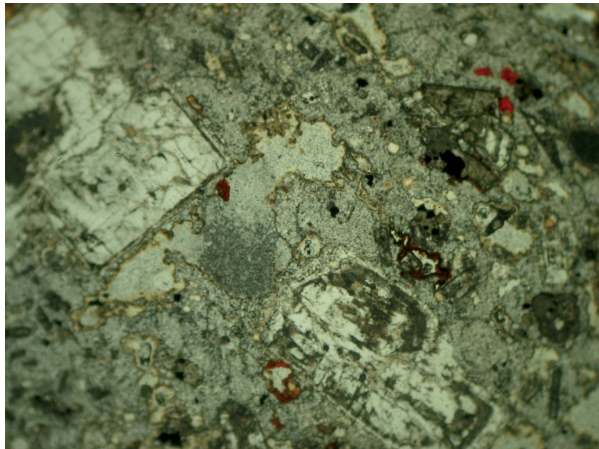
0 2mm

**Fenoandesita (SESW 062 a) Nicoles paralelos, Nicoles cruzados**



0 2mm

**Toba vítrea de composición fenoandesítica (SESW 060 a) Nicoles paralelos, Nicoles cruzados**



0 2mm

**FIGURA 5.** Microfotografía de las lavas pertenecientes al centro de emisión de Chagartón.

**TABLA 1.** Resultados químicos para los elementos mayores y algunos menores, de lavas del Miembro Chagartón de la Formación Coconucos. Los análisis fueron realizados en los laboratorios del INGEOMINAS, Bogotá.

	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO	MnO	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	LOI
SESW055b	62,74	0,53	15,86	4,46	1,53	0,10	2,75	4,84	4,10	2,45	0,45	0,20
SESW056a	61,87	0,67	16,21	5,34	0,53	0,10	2,65	5,30	4,22	2,47	0,48	0,16
SESW058a	62,45	0,82	16,68	4,88	0,33	0,08	1,80	4,07	4,14	2,84	1,38	0,54
SESW061a	62,65	0,72	16,35	2,23	2,88	0,08	1,69	4,79	4,38	2,76	1,15	0,32
SESW062a	60,05	0,72	16,23	4,33	2,08	0,12	2,90	6,15	3,91	2,33	1,02	0,16
SESW065a	60,91	0,69	16,35	3,86	2,48	0,09	2,49	5,35	4,15	2,64	0,58	0,40
SESW067a	62,09	0,70	15,70	3,89	1,68	0,10	2,82	5,60	4,14	2,62	0,60	0,06
SESW068a	61,40	0,62	16,37	5,18	0,78	0,10	2,45	5,21	4,15	2,63	0,46	0,62
SESW086a	62,41	0,68	15,99	5,37	0,48	0,09	2,20	4,04	4,12	2,61	1,49	0,52
SESW090a	62,55	0,72	15,08	5,75	0,63	0,09	2,68	4,75	4,09	2,67	0,76	0,24

	V	Cr	Co	Ni	Cu	Zn	Rb	Sr	Zr	Ba	Pb
SESW055b	108,00	16,00	12,00	10,00	48,00	40,00	73,13	636,43	227,94	1665,93	1,40
SESW056a	100,00	18,00	12,00	8,00	54,00	38,00	70,21	659,21	235,52	1829,93	1,20
SESW058a	94,00	12,00	8,00	8,00	58,00	56,00	87,49	626,11	257,99	2083,43	3,00
SESW061a	88,00	12,00	12,00	6,00	34,00	50,00	91,34	763,30	273,60	2413,79	4,20
SESW062a	122,00	8,00	12,00	6,00	36,00	36,00	71,26	711,54	243,87	1447,05	< 1
SESW065a	110,00	24,00	12,00	12,00	44,00	50,00	84,37	617,86	280,17	1426,40	1,40
SESW067a	98,00	14,00	12,00	10,00	42,00	42,00	76,34	606,49	258,08	1571,43	2,00
SESW068a	110,00	16,00	12,00	10,00	22,00	54,00	82,62	640,90	268,37	1623,64	9,00
SESW086a	96,00	16,00	12,00	10,00	30,00	48,00	82,99	649,62	292,76	2097,49	3,20
SESW090a	86,00	18,00	12,00	12,00	48,00	28,00	107,92	668,97	336,87	1868,71	4,60

**TABLA 2.** Resultados químicos para elementos mayores y algunos menores de las rocas volcánicas de la zona de estudio publicados por Murcia y Marín (1981); Kuroda and Paris (1979); Hormann y Pichler (1979); Monsalve y Pulgarín (1999); Monsalve (1991); Droux y Delalouye (1996); Ramírez (1982); Marín (2004, 2007); Marriner and Millward (1984).

**ELEMENTOS MAYORES**

Volcán - Muestra	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	CaO	MgO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	MnO	FeO*	FeO*/MgO	H <sub>2</sub> O	Autor
Puracé	61.31	16.5	0.79	5.11	2.42	4.31	1.76	0.87		5.52	2.2		Murcia y Marín, 1981
Puracé	59.39	16.28	1	4.9	2.69	4.04	1.76	1.2		5.35	2		
Puracé	60.3	16.8	0.83	5.74	2.27	4.33	2.81	0.23		5.97	2.63		Kuroda y Paris, 1979
Puracé	59.21	17.08	0.94	5.69	2.73	4.02	2.59	0.24		6.17	2.26		
Puracé	58.2	17.6	0.86	6.2	2.4	4.55	2.1	0.35		6.1	2.54		Hormann and Pichler, 1979
Puracé	59.4	17.1	0.88	5.5	2.75	3.95	2.6	0.27		5.83	2.12		
Puracé	62	15.6	0.78	5.85	3.15	3.9	2.45	0.26		5.27	1.67		
Curiquina	62.68	16.81	0.73	4.34	2.82	3.96	3.12	0.28		5.58			Monsalve y Pulgarín, 1999
Curiquina	57.36	17.57	0.89	6.58	3.81	4.04	2.23	0.04		6.72			
Curiquina	55.86	17.94	0.98	7	4.14	4.18	2.19	0.04		6.86			
Paletará	57.79	17	1.04	6.72	4.64	3.64	1.77	0.04		7.15			
Paletará	57.36	17.76	1.03	6.86	3.64	4.18	2.3	0.08		7.15			
Calambás	58.22	17.19	0.91	6.02	3.32	3.91	2.41	0.28		5.72			
Quintín	58.65	17.38	0.84	5.6	3.32	4.04	2.61	0.04		5.4	5.		
Shaka	58.22	17.19	0.84	7.14	4.48	3.91	2.01	0.3		6.86			

Volcán - Muestra	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	CaO	MgO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	MnO	FeO*	FeO*/MgO	H <sub>2</sub> O	Autor	
Shaka	58.65	17.38	0.8	6.58	3.48	4.58	2.26	0.17		6.43				
Shaka	60.97	18.13	0.8	5.04	3.48	4.18	2.85	0.27		5.86				
Shaka	60.76	17.94	0.81	4.9	3.48	4.12	2.81	0.37		5.72				
Machángara	59.29	17.19	0.89	6.16	3.32	4.18	2.42	0.04		6.43				
Machángara	59.26	16.24	0.92	4.9	3.98	4	3.11	0.34		6.29				
Machángara	61.4	16.81	0.88	4.76	3.48	4.08	3.14	0.3		6				
Killa	59.72	17	0.85	5.74	3.32	4.45	2.43	0.31		6				
Pan Azúcar	63.11	17.38	0.75	4.2	2.98	4.18	3.1	0.28		5.43			Monsalve y Pulgarín, 1999	
Pan Azúcar	62.07	17	0.82	5.6	2.82	4.31	2.6	0.04		5.58				
Pan Azúcar	62.04	17.38	0.76	4.06	2.82	4.18	3.13	0.26		5.43				
Pan Azúcar	58.43	17.38	0.95	8.16	3.98	4.45	2.13	0.18		8.43				
Pukará	59.48	16.43	1.1	5.32	2.85	4.21	2.92	0.27		5.29				
Pukará	58.66	17.44	0.79	6.26	3.13	4.37	3.31	0.3		5.98				
Pukará	57.98	17	0.9	6.02	3.27	4.21	2.7	0.29		6				
Pukará	53.08	17.57	1.12	8.4	5.64	4.04	1.8	0.34		8.29				
Amancay	55.86	18.04	0.91	7.28	3.65	4.45	1.87	0.39		7.01				
Piki	59.08	17.19	0.83	6.02	3.15	4.18	2.51	0.04		8.29				
Puracé	59.13	16.5	0.86	5.84	3.41	4.09	2.43	0.28		5.89			Schmitt, 1983. Tesis doctoral en Monsalve y Pulgarín, 1999	
Pan Azúcar	60.71	16.88	0.73	5.01	2.79	4.23	2.63	0.26		5.89				
Coconucos	59.51	16.66	0.75	5.41	3.24	4.18	2.38	0.27		6.58				
Coconucos	61.96	16.95	0.59	4.26	2.02	4.45	2.42	0.21		6.23				
Coconucos	58.48	16.16	0.72	5.32	3.14	3.73	2.35	0.26		6.09				
E1 (ML-702)	59.17	17.26	0.81	6.27	3.19	4	2.34		0.16	6.81			Monsalve, 1991	
E2 (ML603B)	58.45	17.28	0.88	6.3	3.74	4	2.18		0.12	7.05				
E2 (ML-643)	58.93	17.21	0.87	6.17	3.69	4.05	2.2		0.11	6.77				
E2 (ML420A)	59.52	16.96	0.88	6.31	3.34	3.71	2.29		0.11	6.87				
E3 (ML661A)	60.85	17.12	0.78	5.52	3.03	4.02	2.56		0.11	6				
E3 (ML425A)	61.4	17.28	0.81	5.8	3.47	4.02	2.44		0.11	4.67				
E4 (ML-651)	61.82	16.71	0.73	5.22	3.07	4.2	2.55		0.09	5.62				
E4 (ML710C)	63.67	16.84	0.57	4.87	2.43	4.44	2.55		0.07	4.55				
PU2	60.16	16.69	0.78	5.49	2.87	3.58	2.66	0.25	0.13	5.82		1.65	Droux and Delalouye, 1996	
PU3	54.87	16.51	1.22	7.51	5.78	3.81	1.18	0.36	0.12	7.69		0.82		
PU72	61.63	16.62	0.71	5.37	2.94	4.26	2.51	0.25	0.09	5.17		0.18		
PU74	60.38	16.64	0.77	5.34	2.91	3.89	2.63	0.26	0.1	5.73		0.46		
PU75	58.91	17.18	0.85	6.11	3.53	4.05	2.17	0.28	0.11	6.12		0.23		
COL-36	60.15	17.44	0.78	5.52	3.22	3.87	2.36	0.22	0.09	3.06		0.94	Ramírez, 1982	
COL-37	60.62	17.74	0.81	4.79	3.81	3.74	2.28	0.23	0.07	2.01		1.18		
COL-45	63.94	15.81	0.667	4.23	3.92	4.03	2.4	0.11	0.07	2.44		0.82		
COL-65	62.12	16.86	0.63	4.96	3.61	4.17	2.42	0.2	0.08	2.33		0.4		
COL-66	63.08	16.66	0.62	4.71	3.1	4.2	2.55	0.2	0.08	2.54		0.4		
COL-67	59.55	16.93	0.91	5.99	4	4.03	1.88	0.25	0.1	3.4		0.53		
COL-68	56.87	17.63	1.01	6.78	4.43	4.06	1.73	0.27	0.12	4.19		0.89		
COL-69	61.9	17.16	0.67	4.69	3.05	4.28	2.42	0.24	0.07	2.63		1.2		
COL-71	62.28	16.8	0.65	4.74	4.02	4.24	2.45	0.19	0.07	2.67		0.3		
COL-72	60.94	17.66	0.75	5.53	2.95	4.19	2.27	0.26	0.09	3.1		0.39		
QU-02	59.881	16.590	0.810	5.903	3.399	4.184	2.341	0.303	0.102	6.071		0.417	Marín-Cerón, 2007	
CU-02	58.436	16.668	1.073	6.912	3.938	4.051	1.694	0.306	0.103	6.171		0.645		



Geología del Miembro Chagarton de la Formación Coconucos

Volcán - Muestra	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	CaO	MgO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	MnO	FeO*	FeO*/MgO	H <sub>2</sub> O	Autor
SHA-03	60.006	15.997	0.773	6.375	4.042	3.779	2.072	0.224	0.110	6.465		0.160	
PPU-01	59.733	16.532	0.833	5.483	3.268	3.903	2.362	0.256	0.099	6.444		1.082	
PA-03	61.791	16.234	0.734	5.077	2.967	4.086	2.528	0.224	0.090	5.567		0.699	Marín-Cerón, 2007
T-01	62.904	14.923	0.751	4.227	2.690	3.829	3.528	0.153	0.102	6.188		0.706	
T-05	58.452	16.913	0.789	6.316	3.352	3.486	1.680	0.231	0.129	7.667		0.985	
T-03	58.269	16.918	0.892	6.087	3.409	3.705	2.262	0.273	0.115	7.078		0.996	
T-01	62.48	14.82	0.75	4.2	2.67	3.8	3.5	0.15	0.1	6.15		0.2	
T-03	56.89	14.82	0.89	5.91	3.24	3.78	2.45	0.25	0.11	7.19		1.5	
PPU-01	57.23	16.03	0.8	4.93	2.92	3.88	2.38	0.23	0.09	6.39		4.15	
PU-01	57.4	16.04	0.83	5.45	3.04	3.99	2.57	0.23	0.1	6.44		3.48	
PU-02	59.91	15.42	0.9	5.04	2.95	3.83	2.38	0.13	0.09	5.22		3.66	
QU-01	58.98	16.52	0.85	4.79	2.94	3.64	2.48	0.19	0.09	5.74		2.93	
QU-02	58.99	16.39	0.82	5.73	3.29	4.29	2.49	0.27	0.1	6.34		0.22	
PA-01	58.9	16.44	0.84	5.65	3.17	4.16	2.52	0.23	0.1	6.42		0.63	
PA-02	60.34	16.09	0.76	5.27	3.01	4.21	2.64	0.22	0.1	6.01		0.18	
PA-03	60.95	16.39	0.72	5.15	2.72	4.31	2.67	0.21	0.09	5.63		0.12	
PA-04	60.5	16.52	0.73	5.3	2.78	4.31	2.67	0.21	0.09	5.77		0.16	
PA-05	58.45	16.52	0.87	5.76	3.69	4.53	2.17	0.31	0.1	6.26		0.07	Marín-Cerón, 2004
CU-01	60.66	15.96	0.74	5.17	2.91	4.28	2.69	0.21	0.09	5.77		0.24	
CU-02	57.55	16.61	1.06	6.73	3.69	4.27	1.81	0.29	0.11	6.35		0.52	
CU-03	58.27	16.75	0.88	6.16	3.43	4.1	2.44	0.24	0.11	6.93		0.11	
CU-04	60.82	16.3	0.75	5.14	2.7	4.14	2.89	0.22	0.09	5.96		0.26	
PK-01	59.74	16.75	0.77	4.69	2.7	3.84	2.41	0.23	0.08	5.47		2.55	
PK-02	62.25	16.37	0.69	4.79	2.61	4.45	2.72	0.21	0.08	5.28		0.18	
PK-03	57.38	16.87	0.93	6.36	3.59	4.29	2.41	0.28	0.11	7.09		0.24	
SHA-01	59.64	16.9	0.76	5.72	3.01	4.41	2.52	0.25	0.1	5.97		0.17	
SHA-02	59.71	16.83	0.76	5.66	3	4.37	2.55	0.25	0.1	5.99		0.09	
SHA-04	59.41	16.72	0.79	5.65	3.1	4.34	2.54	0.25	0.1	6.2		0.44	
SHA-05	59.1	16.6	0.89	5.95	3.39	4.14	2.41	0.24	0.1	6.67		0.08	
SHA-03	58.99	16.08	0.75	6.18	3.65	4.02	2.27	0.21	0.11	6.45		0.21	
P4	60,3	17,1	0,87	5,28	2,70	4,09	2,70	0,27	0,09	5,6			Marriner and Millward, 1984
P12	56,3	17,2	1,00	6,92	3,68	3,90	1,90	0,36	0,12	6,81			
PC84	63,0	17,4	0,80	4,10	1,89	4,19	3,18	0,23	0,07	4,96			

ELEMENTOS TRAZAS

Volcan - Muestra	Ba (ppm)	Ce	Cr (ppm)	Nb	Ni (ppm)	Pb	Rb (ppm)	Th	Sr (ppm)	V (ppm)	Y (ppm)	Zr (ppm)	Hf	Rb/Sr	Ta	Autor
Puracé	700		30		15		75		848	100	10	70		0.088		Murcia and Marín, 1981
Puracé	700		20		10		84		770	100	10	100		0.109		
PU2	1105		22		9		75		641	144	15	155	5			Droux and Delalouye, 1996
PU3	625		134		64		25		614	200	15	109	4			
PU72	1053		25		12		71		746	98	16	146	5			
PU74	941		20		9		76		631	112	15	163	5			
PU75	934		15		16		55		687	139	16	140	5			
T-01	1092	45	26	9	17	13	121	17	503	169	3468	200				Martín- Cerón 2004
T-03	1019	31	24	8	20	11	66	9	701	194	4000	150				
PPU-01	1119	29	57	11	32	7	65	10	699	170	2760	140				



Volcan - Muestra	Ba (ppm)	Ce	Cr (ppm)	Nb	Ni (ppm)	Pb	Rb (ppm)	Th	Sr (ppm)	V (ppm)	Y (ppm)	Zr (ppm)	Hf	Rb/Sr	Ta	Autor
PU-01	1013	38	16	9	17	9	79	12	661	170	3461	168				
PU-02	996	21	22	9	15	10	74	11	631	147	2093	155				
QU-01	1117	33	21	8	16	10	75	12	682	154	2514	162				
QU-02	1108	40	30	9	22	10	73	10	813	161	3020	163				
PA-01	1073	40	38	7	24	12	75	12	726	176	3234	160				
PA-02	1166	37	43	8	25	11	81	13	708	161	2704	161				
PA-03	1192	38	36	7	22	13	82	13	728	146	2635	160				
PA-04	1153	37	29	8	21	12	82	13	730	147	2650	160				
PA-05	1169	40	92	11	44	10	52	8	920	169	2791	154				
CU-01	1179	42	40	7	26	11	83	13	748	157	2582	160				
CU-02	789	32	87		0	333		2603	49	0	14	20				
CU-03	1007	38	35	7	20	10	71	12	706	192	3835	160				
CU-04	1125	41	26	9	19	12	92	15	680	156	3033	178				
PK-01	1159	38	61	7	33	11	69	10	868	139	2235	160				
PK-02	1246	35	46	9	25	11	83	13	759	141	2272	169				
PK-03	1013	42	25	11	21	7	68	12	875	201	3978	163				
SHA-01	1125	47	31	10	19	10	76	12	824	159	2799	167				
SHA-02	1123	43	33	9	21	11	77	13	810	153	2900	165				
SHA-04	1120	37	33	10	19	10	77	11	809	168	2936	173				
SHA-05	958	37	63	9	25	7	73	13	719	187	3449	159				
SHA-03	1003	30	66	7	22	9	69	11	724	173	3202	148				
P4	1265		27	13	16		81	10,77	766	133	22	178	4,94		0,86	
P12	1060		31	9	21		51	7,66	1001	180	21	134	1,54		0,42	Marriner and Millward, 1984
PC84	1455		9	12	9		96	7,37	744	104	18	196	5,41		0,69	

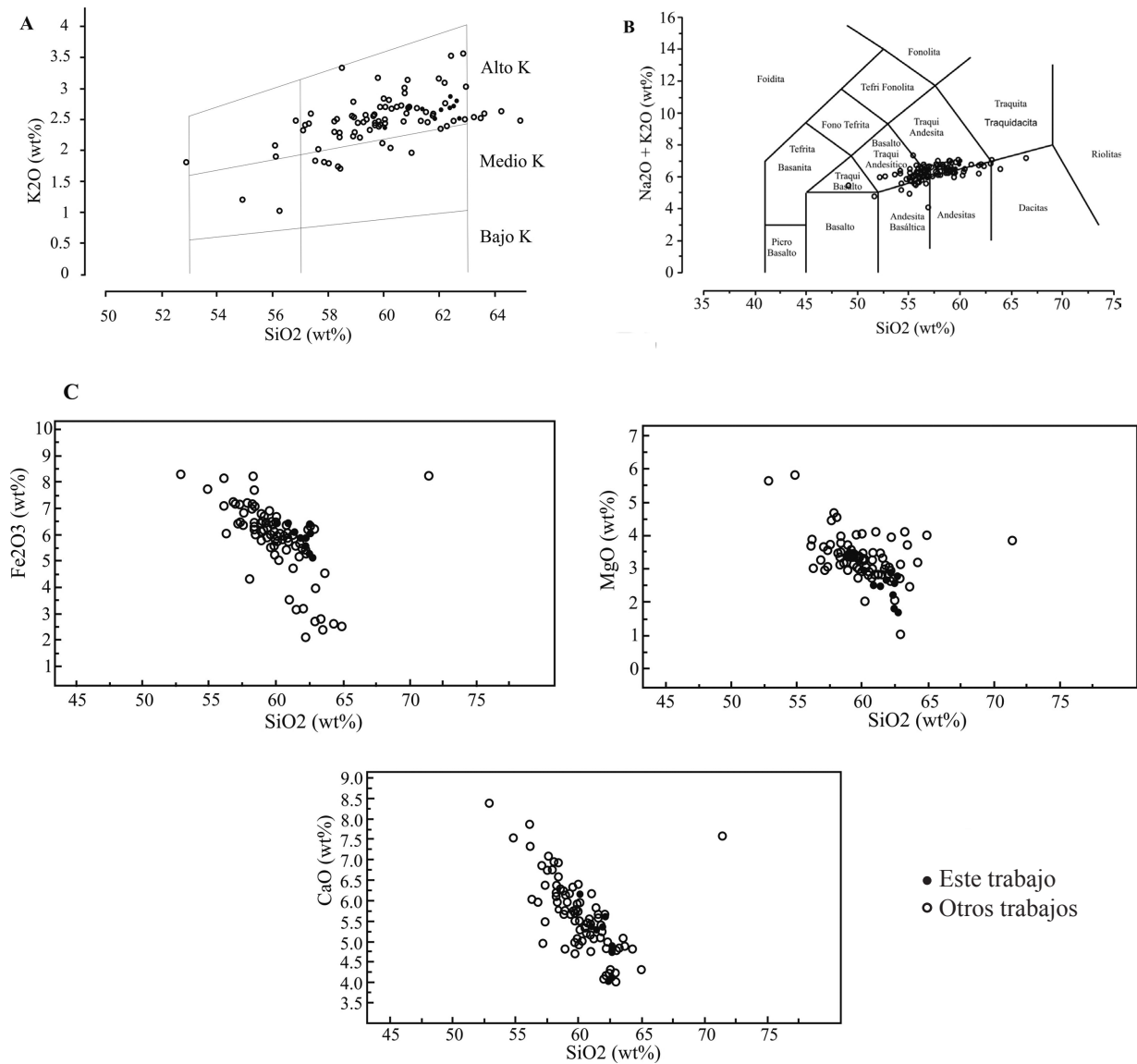
#### TIERRAS RARAS

Volcan - Muestra	La	Ce	Nd	Sm	Eu	Gd	Dy	Er	Yb	Lu	Autor
PU2	25,73	53,94	18,85	4,34	0,91	3,78	2,6	1,38	1,46	0,25	
PU3	17,5	38,6	21,6	4,9	1,33	4	2,9	1,4	1,4	0,17	
PU72	26,72	51,87	21,58	4,15	1,06	3,48	2,59	1,35	1,26	0,26	Droux and Delalouye, 1996
PU74	25,72	48,87	20,21	4,16	1,13	4,03	2,81	1,58	1,44	0,31	
PU75	22,66	49,46	20,65	4,34	1,37	3,09	2,5	1,28	1,4	0,24	
P4	40,30	59	40,96	7,54	1,79				2,03	0,29	
P12	27,55	48,24	26,64	5,23	1,42	5,29			1,54	0,22	Marriner and Millward, 1984
PC84	29,61	55,22	27,23		1,29				1,57	0,23	

## DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

La base de la secuencia de los depósitos volcánicos estudiados en los alrededores del Municipio de Coconucos, en el departamento del Cauca corresponde al menos a 30 m se ignimbritas vítreas, vesiculadas, con biotita, que se correlacionan con los depósitos de la Formación Popayán. Estas ignimbritas están recubiertas

por un depósito de lava de al menos 100 m de espesor, con una orientación norte sur, la cual se asocia a una actividad intracalderica de la caldera del Paletará, anterior al inicio del volcanismo efusivo que caracteriza la Formación Coconucos.



**FIGURA 6.** Diagramas discriminatorios de análisis geoquímicos de las muestras de roca analizadas tanto en este trabajo como por otros autores, en muestras de la cadena volcánica de los Coconucos, entre ellas, las correspondientes al Miembro Chagartón: **A.** Diagrama TAS de clasificación (Después de Le Bas, *et al.*, 1986). **B.** Diagrama de variación de  $\text{SiO}_2$  vs  $\text{K}_2\text{O}$  (según Gill, 1981). **C.** Diagramas Harker de variación de óxidos mayores con respecto a sílice (Los datos de otros estudios hacen referencia a los mencionados en el marco teórico).

Al menos cinco 5 unidades de depósitos de lava intercalados con depósitos piroclásticos de menor dimensión se asocian al centro de emisión de la caldera de Chagartón.

Las rocas del Miembro Chagartón y en general de la cadena volcánica de los Coconucos se caracterizan por un enriquecimiento en potasio, lo que para autores como Droux y Delaloye (1996) tendría una relación con un aporte cortical a los magmas y reflejaría posiblemente la asimilación de material heterogéneo representado por

rocas precámbricas y paleozoicas de la cordillera Central en la corteza superior. Para Kuroda and Paris (1978) y Marín-Cerón (2004), el aumento de potasio se explicaría como respuesta a un incremento en el arco volcánico del suroccidente colombiano, como una variación normal identificada en otros arcos volcánicos de las márgenes continentales activas. La falta de estudios isotópicos no permite aportar nuevos datos en cuanto a la fuente de los magmas y al papel que juega la corteza y/o en manto en la generación de estos magmas.

Con base en la asociación de minerales se plantean algunas consideraciones sobre las temperaturas posibles de los magmas. Según Gill (1981) la biotita es poco común en rocas con <63% de SiO<sub>2</sub>, y usualmente se restringe a andesitas ácidas altas en K, con temperatura de enfriamiento entre 800 y 950 °C; casi siempre coexiste con hornblenda; por otro lado, se ha establecido que el anfíbol reemplazado parcial y/o totalmente es un buen indicador de que los magmas alcanzaron condiciones donde los anfíboles no eran estables, lo cual corresponde a presiones menores a 2 kbar y temperaturas de 900°C (Rutherford and Hill, 1993). De este modo, se puede considerar una temperatura de formación de alrededor de 900° C para los magmas estudiados. Los piroxenos por su parte, no indican características especiales de las condiciones físicas de su formación, ya que la augita y el ortopiroxeno precipitan simultáneamente en algunas andesitas en un rango de presiones, aunque el ortopiroxeno preceda la augita en muchos casos; durante el ascenso del magma, puede darse el crecimiento de ortopiroxeno sobre augita Gill (1981). Se considera además que mientras el magma se desplaza hacia arriba y alcanza niveles someros, empiezan a cristalizar piroxenos y óxidos de Fe y Ti. Las inclusiones de material fundido y en general de otros minerales dentro de las plagioclasas, son características relevantes e indicadoras de mezclas de magmas (Gill, 1981), y según Marín-Cerón (2007) indicarían un suministro constante de magma desde la corteza inferior. Gill (1981) indica que la presencia de oxihornblenda ocurre sólo en flujos o intrusiones cerca de la superficie, y son más comunes en flujos internos oxidados; por otra parte la presencia de vidrio en bajas proporciones en las matrices de las muestras analizadas, indica que el enfriamiento del magma se dio en cercanías a la superficie; sin embargo se conserva la microestructura que evidencia el flujo magmático de acuerdo con Vernon (2004) estas líneas pueden ser definidas por concentraciones de cristalitos y microlitos, como es el caso de las muestras estudiadas.

## AGRADECIMIENTOS

Este trabajo se realizó gracias al proyecto “Vulcanismo Neógeno – Cuaternario del SW Colombiano, sectores Formación Popayán, sector poblaciones Puracé – Coconucos, río San Francisco y sector cañón del Río Guachicono – población Río Blanco”, enmarcado en el Convenio Específico de Ciencia y Tecnología entre la Universidad EAFIT e INGEOMINAS. Se recalca igualmente el apoyo de COLCIENCIAS y de la Agencia Nacional de Hidrocarburos (ANH) para el fortalecimiento del laboratorio de huellas de fisión de la Universidad EAFIT donde se realizó además el trabajo mineralógico y petrológico.

## REFERENCIAS

- Acevedo, A.P., Monsalve, M.L. y Cepeda, H. 1987. Petrografía de algunas lavas de la cadena Coconuco. Informe interno, INGEOMINAS, Popayán, 8p.
- Cañola, E., López, S., Toro, G., Pulgarín, B. y Acosta, S. 2007. Vulcanismo Neógeno y Cuaternario en el Suroccidente colombiano, sector Formación Popayán, sector poblaciones Puracé - Coconucos, Río San Francisco y sector cañón del Río Guachicono, población de Río Blanco: Sector poblaciones Puracé - Coconucos, Río San Francisco. Informe interno, INGEOMINAS Bogotá.
- CHEC. 1983. Investigación geotérmica del Macizo volcánico del Ruíz. Central Hidroeléctrica de Caldas, 2: 112p.
- Droux, A. and Delaloye, M. 1996. Petrography and Geochemistry of Plio-Cuaternary Cal-Alkaline volcanoes of southwestern Colombia. *Journal of South American Earth Science*, 9: 27-41.
- Fisher, V. and Schmincke, H. 1984. *Pyroclastic rocks*. Berlin, Springer-Verlag, 472p.
- Gill, J. 1981. *Orogenic Andesites and Plate Tectonics*. Springer-Verlag, 390p.
- Hall, M. and Wood, C. 1985. Volcanic-tectonic segmentation of the northern Andes. *Geology*, 13: 203-207.
- Hubach, E. 1957. Contribución a las unidades estratigráficas de Colombia. Informe No. 1212. Informe Interno, INGEOMINAS, pp. 3 – 9.
- Irvine, T. and Baragar, W. 1971. A guide to the chemical classification of the common volcanic rocks. *Canadian Journal of Earth Sciences*, 8: 523-548.
- Kuroda, N and Paris, G. 1978. Petrographical notes on some Dacites and Andesites of Puracé Volcano, Cauca, Colombia. *Rep. Andean Studies*, Shizuoka University, Spec., pp. 21-32.
- Le Bas, M., Le Maitre, R., Streckeisen, A. and Zanettin, B. 1986. A chemical classification of volcanic rocks based on the total alkali-silica diagram. *Journal of petrology*, 27: 745-750.
- Le Maitre, R., 2002, *Igneous rocks. A classification and glossary of terms*. Cambridge, Cambridge University Press, 236p.

- Marín-Cerón, M. 2004. Geochemical variation of late Cenozoic volcanic rocks in time and space, SW Colombia. Sin publicar: Tesis de Maestría, Universidad de Shimane, Japón. 105p.
- Marín-Cerón, M. 2007. Major, trace and multi-isotopic systematics of SW Colombian volcanic arc, northern Andes: Implications to the stability of carbonaterich sediment at subduction zone and the genesis of andesite magmas. Sin publicar: Tesis de Doctorado, Universidad de Okayama, Japón, 161p.
- Marriner, G.F. and Millward, D. 1984. The petrology and geochemistry of Cretaceous to Recent volcanism in Colombia: the magmatic history of an accretionary plate margin. *Journal of Geological Society of London*, 141: 473 – 486.
- Maya, M. y González, H. 1995. Unidades litodémicas en la Cordillera Central de Colombia. *Boletín geológico INGEOMINAS*, 35: 43-53.
- Monsalve, M.L. 1991. Geoquímica y dataciones de episodios tipo San Vicente en el Volcán Puracé. *Boletín Geológico INGEOMINAS*, 33: 3-16.
- Monsalve, M.L., 1996. Depósitos piroclásticos asociados a la actividad explosiva del volcán Puracé actual (Colombia), VIII Congreso Colombiano de Geología, Manizales, Tomo III.
- Monsalve, M.L., 2000. Catalogo de las Volcanitas Neógenas de Colombia. *INGEOMINAS*, 32p.
- Monsalve, M.L. y Pulgarín, B. 1993. Mapa preliminar de Amenaza Volcánica Potencial del Volcán Puracé. Memoria explicativa. *Revista INGEOMINAS*, 2: 3-27.
- Monsalve, M.L. y Pulgarín, B., 1999. Cadena Volcánica de los Coconucos (Colombia): Centros eruptivos y productos recientes. *Boletín Geológico*, 37 (1-3): 17 – 51.
- Murcia, L.A. y Marin, P. 1981. Petrología y petroquímica en lavas recientes de algunos volcanes en Colombia. *CIAF*, 6: 349-363.
- North American Stratigraphic Code. 2005. North American Commission on Stratigraphic Nomenclature. *AAPG Bulletin*, 89: 1547-1591.
- Pecerillo, A. and Taylor, S.R. 1976. Geochemistry of Eocene cal-alkaline volcanic rocks from the Kastamonu area, northern Turkey. *Contr. Mineral and Petrol.*, 58: 63-81.
- Pennington, W.D. 1981. Subduction of the Eastern Panama basin and seismotectonics of northwestern South America. *Journal of Geophysical Research*, 86: 10753-10770.
- Pulgarín, B., Monsalve, M.L., Torres, M.P. y Cepeda, H. 1996. La cadena volcánica de los Coconucos (CVLC): ¿productos de vulcanismo resurgente?. Informe interno INGEOMINAS, 12p.
- Ramírez, C. 1982. El vulcanismo Neogénico y Cuaternario de Colombia: cronología y caracterización químico-petrográfica. Tesis de grado. Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, 207p.
- Rutherford, M.J. and Hill, P.M. 1993. Magma ascent rates from amphibole breakdown: An experimental study applied to the 1980 – 1986 Mount St Helens eruption. *Journal of Geophysical Research*, 98: 19667 – 19685.
- Torres, M.P., Monsalve, M.L., Pulgarín, B. y Cepeda, H. 1999. Caldera de Paletará: Aproximación a la fuente de las Ignimbritas del Cauca Huila (Colombia). *Boletín Geológico INGEOMINAS*, 37: 1-51.
- Torres, P., Jeréz, K., Toro, G. y Pulgarín, B. 2009. La Formación Popayán, Departamento del Cauca, nuevas consideraciones. *Memorias XII Congreso Colombiano de Geología*, Septiembre del 9-12, Paipa.
- Torres, M.P., Monsalve, M.L., Pulgarín, B. y Toro, G. 2011. Caldera de Paletará: Fuente de un voluminoso vulcanismo riolítico en la Cordillera Central de Colombia. *Memorias XIV Congreso Latinoamericano de Geología XIII Congreso Colombiano de Geología*, 29 de Agosto al 2 de Septiembre, Medellín, Colombia, pp.188.
- Vernon, R.H. 2004. A practical guide to rock microstructure. Cambridge University Press, 594p.
- Wilson, M. 1989. Igneous petrogenesis. A global tectonic approach. Netherland, Springer, 466p.

---

---

Trabajo recibido: Abril 25 de 2011  
Trabajo aceptado: Junio 13 de 2011