
GEOLOGÍA, GEOCRONOLOGÍA Y GEOQUÍMICA DEL VOLCÁN MORASURCO, PASTO, COLOMBIA

GEOLOGY, GEOCHRONOLOGY AND GEOCHEMISTRY OF MORASURCO VOLCANO, PASTO, COLOMBIA

Jose Fernando Duque Trujillo^{1,2}; Gloria Elena Toro Villegas¹; Agustín Cardona Molina^{3,4}; Marta Calvache Velasco⁵.

1. Departamento de Geología. Universidad EAFIT. Medellín, Colombia.

2. Centro de Geociencias, UNAM, Querétaro, México.

3. Smithsonian Tropical Research Institute, Balboa, Republica de Panamá.

4. Corporación Geológica Ares, Bogotá.

5. Instituto Colombiano de Geología y minería INGEOMINAS. Pasto.

E-mail: jduquetr@eafit.edu.co; gtoro@eafit.edu.co

Recibido para evaluación: 9 de Noviembre de 2009 / Aceptación: 7 de Mayo de 2010 / Recibida versión final: 9 de Junio de 2010

RESUMEN

El estudio geológico y geomorfológico de las inmediaciones del Cerro Morasurco permitió cartografiar las geoformas volcánicas aun conservadas y pertenecientes a la actividad del Volcán Morasurco en el sur de Colombia. Fue posible identificar tres (3) unidades de flujos piroclásticos y al menos cinco (5) unidades lávicas. Así mismo se logró identificar dos (2) diferentes etapas eruptivas, una primera, de carácter efusivo, con erupción de grandes coladas de lavas de andesitas basálticas y una segunda, de carácter más explosivo, que genera destrucción parcial del edificio volcánico y la erupción de grandes cantidades de material piroclástico, que cubrió gran parte del área estudiada.

El primer episodio lávico tiene una composición que varía de fenoandesitas basálticas de dos piroxenos a fenoandesitas hornbléndicas, de la serie calco-alcalina, con contenido medio en SiO₂ y K₂O. La petrografía indica una importante acción de mezcla de magmas y desequilibrio de las cámaras magmáticas donde evolucionaron los magmas.

Edades de trazas de fisión en circon y K-Ar en roca total permitieron definir la actividad efusiva entre 1.8-2.2 Ma, mientras que en los depósitos correspondientes a la destrucción del edificio volcánico se obtuvo una edad de 1.94±0.13 Ma.

Las características geoquímicas indican que la composición aparentemente estuvo constante a lo largo de la evolución del volcán. Además la comparación entre estos resultados y los datos publicados para el volcán Galeras indican que los procesos magmáticos no cambiaron mucho a lo largo del tiempo y que ambos edificios podrían estar asociados a un mismo sistema magmático.

PALABRAS CLAVES: Volcanismo, Plioceno, geoquímica, Volcán Galeras, Morasurco, Pasto, Colombia.

ABSTRACT

A field study of the Morasurco volcano in southern Colombia allows the understanding of volcanic geoforms and to identify five lava flows and three pyroclastic flows from its major volcanic activity. Furthermore, the existence of two eruptive stages was established, the first, an effusive stage with eruption of large amounts of basaltic lavas, and a second stage with partial destruction of the volcanic edifice and the emission of large amounts of pyroclastic material that cover a large portion of the studied area.

The first stage has a composition which varies between two pyroxene basaltic fenoandesite and hornblendic fenoandesite of the calc-alkaline series of medium K₂O. The petrography as well as other disequilibrium textures, indicate magma mingling within the magmatic chamber. Zircon fission tracks and K-Ar ages of 2.02±0.27 Ma, 1.95±0.52 Ma and 1.94±0.28 Ma were obtained for the effusive activity and an age of 1.94±0.13 Ma was obtained for the explosive event that destroyed the volcanic cone.

Major and trace elements from five samples show constant geochemical characteristics along the volcanic evolution. The constant geochemical composition and the similarities seen when compared with published results from the Galeras Volcano suggest that these two volcanic centers may belong to the same magmatic system.

KEY WORDS: Volcanism, Pliocene, geochemistry, Galeras volcano, Morasurco, Pasto, Colombia

1. INTRODUCCIÓN

El Volcán Morasurco esta localizado en la zona andina del departamento de Nariño, extremo sur-occidental de Colombia (Fig. 1), aproximadamente 10km al noreste del volcán Galeras, cerca de la ciudad de San Juan de Pasto. Su zona de influencia, cubre un área aproximada de 80 km².

Sobre el Volcán Morasurco, y en general sobre los centros volcánicos terciarios, son pocos los estudios realizados, a pesar de la importancia que este conocimiento representa en la identificación de los estilos y ciclos eruptivos y en el estudio de la actividad volcánica actual.

El presente trabajo pretende realizar un estudio de la distribución, composición y evolución de los depósitos que componen el Volcán Morasurco. Esto con el fin de contribuir al conocimiento del vulcanismo cuaternario en el sur de Colombia, además de ampliar la base de datos cartográficos, geocronológicos y geoquímicos en el suroccidente colombiano.

2. MARCO GEOLÓGICO

En la zona suroccidental de Colombia la cordillera de los Andes presenta solo un ramal, cuyo basamento está compuesto principalmente por una mezcla de de rocas metamórficas precámbricas (Kroonenberg, S., 1983) y rocas cretácicas de afinidad oceánica obducidas al continente (Murcia y Cepeda, 1991a). Sobre este basamento se sobre-impone un magmatismo cenozoico caracterizado por una serie de pulsos magmáticos que reflejan la subducción de la Placa Nazca bajo la margen continental de Suramérica (Toussaint, J, y Restrepo, J., 1982; Alvarez, A., 1983; Aspen, et al., 1987).

En la parte suroccidental de Colombia este magmatismo incluye algunos cuerpos plutónicos oligocenos y mio-pliocenos así como importantes edificios volcánicos plio-cuaternarios (Alvarez et al. 1980 a; Alvarez et al. 1980 b; Alvarez y Linares, 1980, Cepeda, 1989).

Este vulcanismo joven es de composición predominantemente intermedia, con extensos depósitos piroclásticos y puede ser separado en volcanes activos (Galeras, Azufral, Doña Juana, Cúmbal, etc.) y volcanes inactivos (Morasurco, Bordoncillo, Campanero, Chapacual, etc.). Hace parte de la zona volcánica norte de los Andes (NVZ) (Thorpe y Francis, 1979), que se extiende desde Ecuador hasta el norte de Colombia, formando una serie de cinturones volcánicos orientados norte-sur (Cepeda, 1989; Mendez Fajury, 1989; Stern, 2004).

El volcán Morasurco, objeto de este estudio, es un volcán inactivo, localizado en el departamento de Nariño, en inmediaciones de la ciudad de Pasto y a unos 10 Km del volcán Galeras y su área de influencia cubre unos 80 Km² (Figura 1).

3. TÉCNICAS ANALÍTICAS

Cinco muestras fueron analizadas para elementos mayores y trazas. Los elementos mayores fueron analizados por fluorescencia de rayos-x (FRX), en el Departamento de Mineralogía y Petrología del Instituto de Geociencias de la Universidad de Sao Paulo (Brazil). Mientras que los elementos menores y tierras raras (REE) fueron analizados por el método de espectrometría de masas con plasma inductivamente acoplado (ICP-MS), en los laboratorios analíticos comerciales de ACME analytical (Canadá). Las muestras fueron trituradas usando un mortero de ágata. Los análisis de XRF se realizaron mediante la preparación de pastillas prensadas, posteriormente fundidas, analizadas mediante un espectrómetro Philips PW 2400 XRF con límites de detección del orden de 1-10 ppm para elementos traza siguiendo el procedimiento descrito por Mori et al. (1999). Los elementos traza y elementos de las tierras raras (REE), analizados por ICP-MS, fueron preparados mediante fusión con metaborato/tetraborato, y posterior dilución de 0.2g de muestra en ácido nítrico.

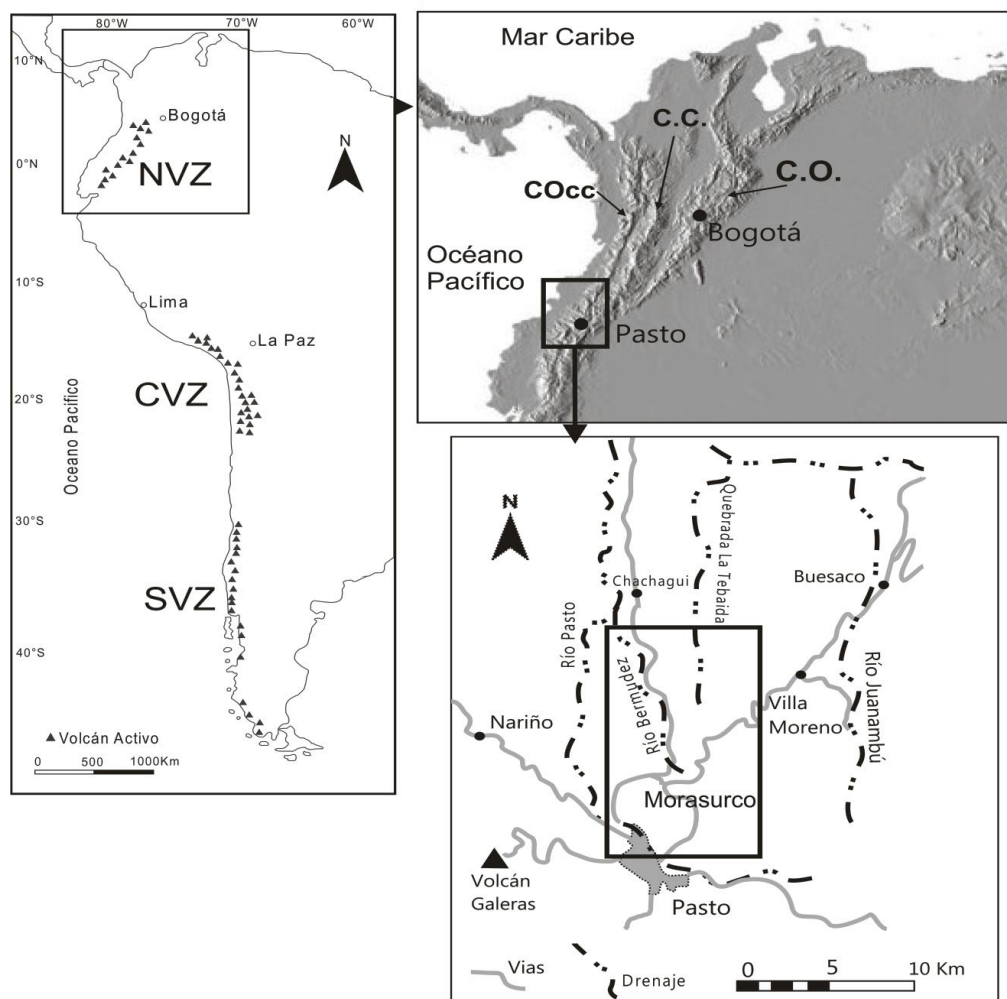


Figura 1. Ubicación de la zona de influencia del volcán Morasurco. Zona volcánica Norte (NVZ), Zona volcánica centro (CVZ), Zona volcánica Sur (SVZ).

Una muestra de roca total fue analizada por el método de K-Ar en el Centro de Investigaciones Geocronológicas de la Universidad de Sao Paulo (CPGeo-USP, Brazil). Dos alíquotas de la misma muestra fueron separadas, una para análisis de K y otra para análisis de Ar. El análisis de K se realizó en duplicado y un spike de ^{38}Ar fue adicionado al gas purificado mediante hornos de titanio y cobre. El análisis final del gas fue realizado en un espectrómetro de gases de tipo Reynold. La precisión de los análisis para el K es del 5% y para el Ar es del orden de 0.5%. Las constantes de cálculo usadas son las publicadas por Steiger y Jager (1977).

Los análisis de trazas de fisión fueron realizados en el laboratorio de trazas de fisión de la Universidad EAFIT. La separación de los circones usados se llevó a cabo mediante centrifugado y separación manual de la fracción más densa. Posteriormente estos fueron montados en láminas de teflón usando las técnicas tradicionales del método (Gallagher, et al., 1998). Para la determinación del ρ_i posterior a la irradiación se usó la técnica del detector externo y la irradiación fue realizada en el reactor nuclear La Reina en Chile.

4. ESTRATIGRAFÍA Y GEOCROLOGÍA VOLCÁNICA

La información estratigráfica levantada permitió identificar cinco unidades lávicas y cuatro unidades piroclásticas. Cuatro de las cinco unidades lávicas están concentradas hacia la base de la secuencia estratigráfica, definiendo una etapa efusiva al inicio de la actividad, la cual presenta un patrón radial con centro en el llamado alto de Daza, sitio identificado como el cráter principal del edificio volcánico (Figura 2).

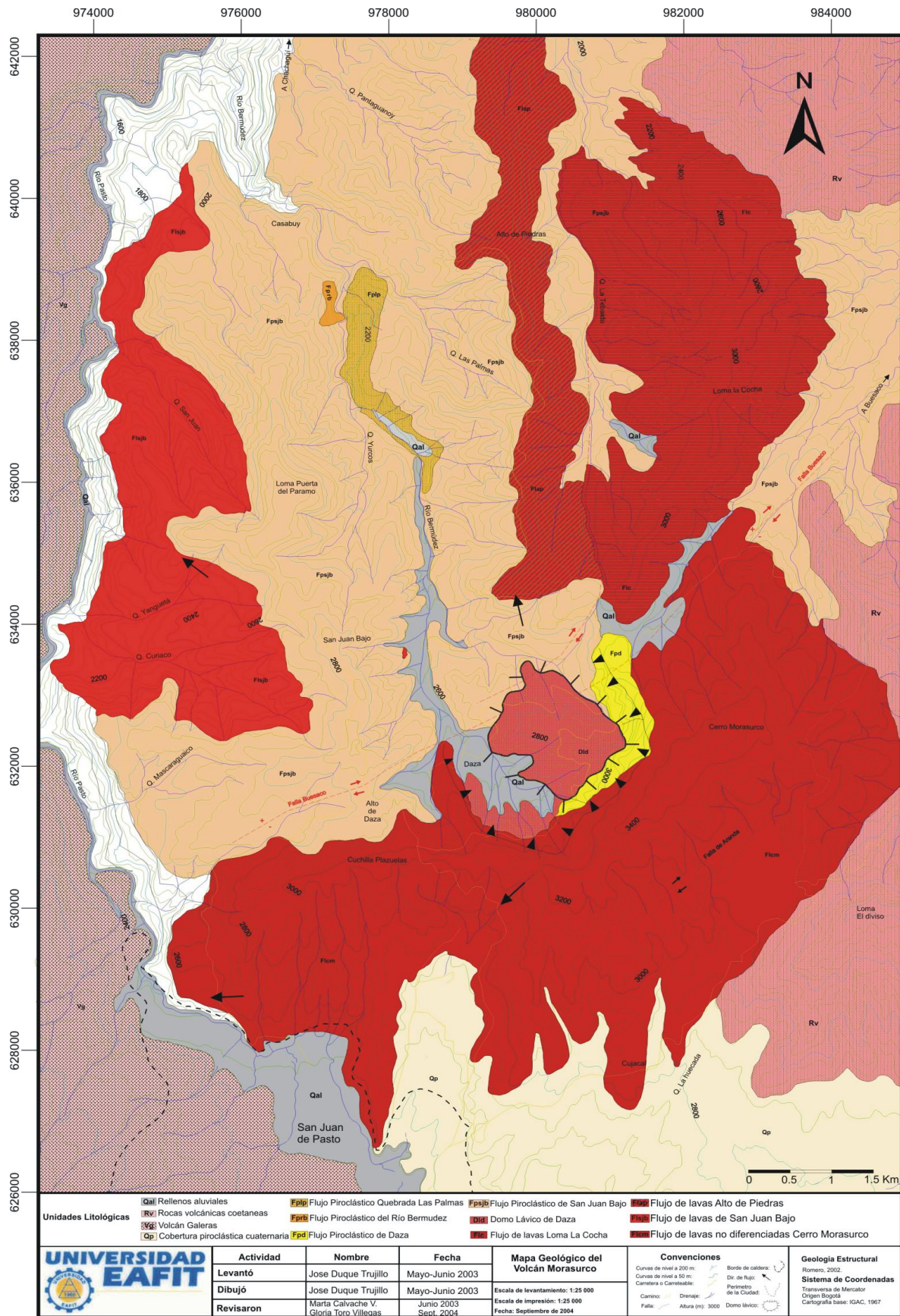


Figura 2. Mapa geológico de la zona de influencia del volcán Morasurco. Realizado a escala 1:25000. El orden de las unidades no corresponde necesariamente a la estratigrafía volcánica.

La base de la secuencia está constituida por el flujo de lavas de San Juan bajo (Flsjb), el cual aflora en la parte NW del volcán y que en su mayoría se encuentra cubierto por depósitos piroclásticos posteriores (Figura 2). De este flujo se fechó por trazas de fisión en la muestra Ms21, sobre la cual se obtuvo una edad de 2.01 ± 0.27 Ma (Figuras 2 y 3).

Posterior a este flujo vendría el emplazamiento del flujo de lavas no diferenciadas del Cerro Morasurco (Flcm) (Figura 2), el cual constituye la mayor unidad lávica de volcán. Presenta una importante extensión que va desde la parte nororiental a la parte suroccidental del volcán. Sin embargo, ésta unidad posiblemente sea compuesta por más de un flujo, que debido a la intensa cobertura piroclástica no fue posible diferenciar (por lo cual varias muestras de esta unidad fueron fechadas). Dos muestras, con posiciones estratigráficas distintas (Ms01 y Ms10) fueron fechadas por el método de trazas de fisión en circón, obteniendo edades de 1.95 ± 0.5 Ma (Ms01) y 1.94 ± 0.28 Ma (Ms10) (Figuras 2 y 3). Sobre esta misma unidad, pero usando el método de K/Ar (en roca total) se fechó la muestra Ms03, análisis que arrojó una edad de 1.6 ± 0.1 Ma (Tabla 1 y Figura 3).

Tabla 1. Resultados analíticos K-Ar en roca total.

N. de Campo	Unidad Estratigráfica	Material Analizado	Roca	% de K	error de K(%)	⁴⁰ ArRad ccSTP/g (*10-6)	⁴⁰ ArAtm (%)	Edad (Ma)
MS-3 C12	Flcm	RTOT	Andesita	1,1804	1,8753	0,08	75,44	$1,6 \pm 0,1$

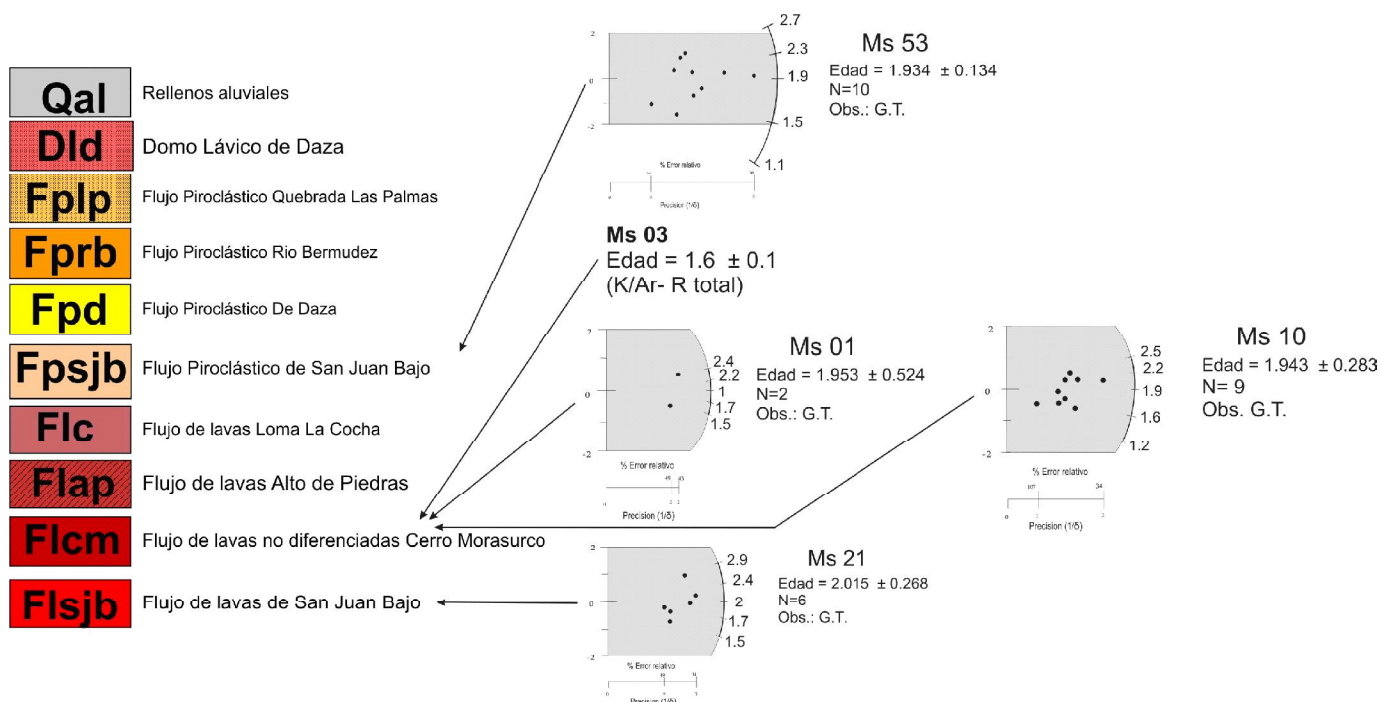


Figura 3. Columna estratigráfica esquemática del volcán Morasurco, constreñida con algunos fechamientos de ZFT y K/Ar. Los datos de los fechamientos de ZFT son representados en forma de diagramas radiales, donde la edad central corresponde a la edad principal de la población. G.T.= Gloria Toro.

Posiblemente al final de esta etapa efusiva se habría dado el emplazamiento de los flujos que componen la parte norte del edificio volcánico, y que se denominaron: flujo lávico de La Cocha (Flc) y flujo lávico del Alto de Piedras (Flap) (Figuras 2 y 3). Este último emplazado posiblemente al final de la actividad, pues presenta características petrográficas distintivas del resto de la secuencia y que posiblemente haya sido generado por un importante cambio en el tipo de actividad del volcán.

Posterior a la actividad efusiva anteriormente descrita, el volcán entra en una actividad predominantemente explosiva, la cual habría comenzado con una gran erupción lateral dirigida "lateral blast" que destruyó la parte NW del edificio volcánico, el cual posiblemente se encontrara profundamente alterado hidrotermalmente. Esto se hace evidente en la alteración que presenta el depósito flujo piroclástico de San Juan bajo (Fpsjb) (Figuras 2 y 3). Una muestra correspondiente a este depósito fue fechada por trazas de fisión en circón, y se obtuvo una edad de 1.93 ± 0.13 Ma (Ms53), lo cual sugiere que la parte NW del edificio volcánico, involucrada en la erupción lateral dirigida habría sido formada en una primera fase efusiva hacia los 2 Ma junto con los flujos lávicos de la zona S y SE del volcán (muestras Ms21, Ms10 y Ms01) (Figura 3).

Posterior a esta gran explosión, que habría cambiado drásticamente la geomorfología de la zona, le seguirían una serie de erupciones, principalmente asociadas a la destrucción de domos y/o al colapso de columnas de erupción que habrían generado una serie de flujos ignimbríticos soldados de bloques y ceniza, de los cuales se identifican tres, concentrados principalmente en la zona del cráter y en el cauce del Río Bermúdez (Figura 2). Estos flujos fueron nombrados: flujo piroclástico de Daza (Fpd), flujo piroclástico Río Bermúdez (Fprb) y flujo piroclástico quebrada Las Palmas (Fplp) (Figura 2).

Finalmente y sellando la actividad juvenil del volcán Morasurco se encuentra en la parte interna del cráter un domo lávico ligeramente alterado hidrotermalmente, fragmentado en su porción sur por un posible cráter de explosión (Fig. 2 y 3).

5. PETROGRAFÍA

Los depósitos tanto lávicos como piroclásticos del volcán Morasurco presentan una mineralogía bastante similar, compuesta por plagioclasa + piroxeno + minerales opacos ± anfíbol ± olivino ± biotita. Teniendo en cuenta la mineralogía presente las rocas fueron clasificadas en dos grandes grupos, fenoandesitas de dos piroxenos y fenoandesitas hornbléndicas (Tabla 2).

Tabla 2. Muestras analizadas petrográficamente y sus principales características mineralógicas. En negrilla las muestras carentes de retrogradación de anfíbol, correspondientes al flujo de lavas de Alto de Piedras (Flap).

Muestra	Unidad	Mineralogía	Observaciones
Ms01	Flcm	Pla, Opx, Cpx, Anf, Op	Anfíbol oxidado
Ms03	Flcm	Pla, Opx, Cpx, Ol, Anf, Op	Anfíbol oxidado
Ms05	Fpd	Pla, Opx, Op	
Ms08	Flcm	Pla, Opx, Cpx, Op, Bta	
Ms10	Flcm	Pla, Opx, Cpx, Ol, Anf, Op	Anfíbol oxidado
Ms12	Flap	Pla, Opx, Anf, Op	Anfíbol sin oxidación
Ms12b	Fplp	Pla, Opx, Cpx, Anf, Op	
Ms21	Flsjb	Pla, Opx, Cpx, Anf	Anfíbol oxidado
Ms35	Flap	Pla, Opx, Anf, Bt, Op	Anfíbol sin oxidación
Ms40	Flap	Pla, Opx, Cpx, Anf, Op	Anfíbol sin oxidación
Ms41	Flc	Pla, Opx, Cpx, Op	
Ms44	Flc	Pla, Opx, Cpx, Op	
Ms49	Flcm	Pla, Opx, Cpx, Op	
Ms52	Dld	Pla, Opx, Cpx, Op	

Las unidades lávicas principales son predominantemente porfídicas, con presencia de texturas cúmulo porfídicas y glomeroporfídicas. La plagioclasa es idiomórfica a subidiomórfica, con zonación oscilatoria y de composición labradorítica (An45-60). Algunos cristales presentan textura "spongy cell" con sobrecrecimiento posterior, indicando un desequilibrio por mezcla y una estabilización posterior del sistema (Hibbard, 1995) (Figura 4b).

El clino y orto-piroxeno son generalmente subhedrales, maclados y zonados y corresponden posiblemente a variedades hiperstena y augita. Es común encontrar núcleos de ortopiroxeno rodeados por coronas de clinopiroxeno (Figura 4a).

El olivino se presenta en muy baja proporción, se caracteriza por pequeños cristales anhedral, con bordes corroídos, generalmente asociados a minerales opacos.

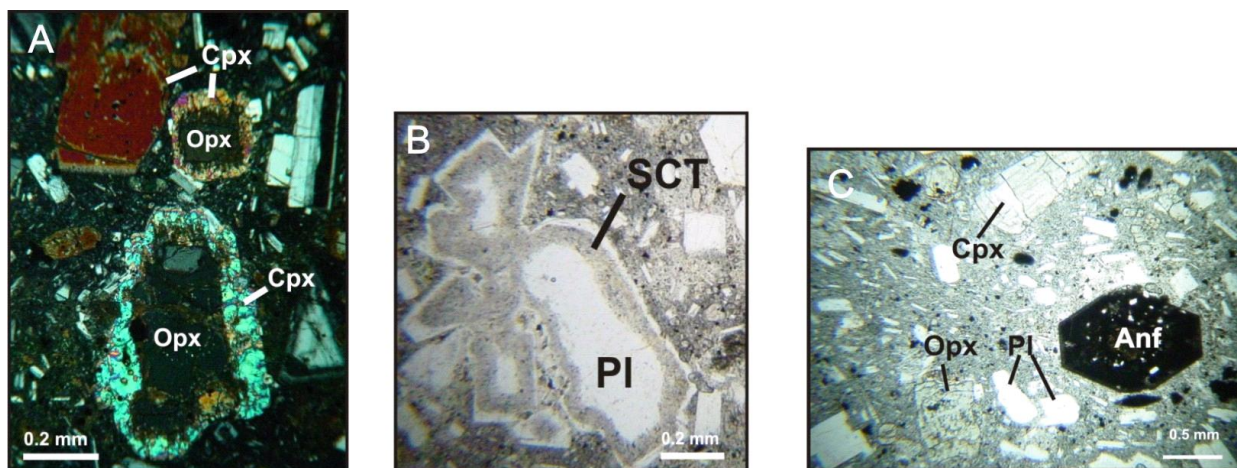


Figura 4. A) Microfotografía de un orto-piroxeno (opx) con una corona de sobrecrecimiento de clino-piroxeno (cpx). Evidencia de mezcla de magmas con composiciones variables. B) Plagioclasa con textura "spongy cell" (sct) y sobrecrecimiento de una nueva zona de plagioclasa posterior al reequilibrio del sistema. C) Pseudomorfo de anfíbol totalmente reemplazado a minerales opacos por deshidratación del magma.

El anfíbol comúnmente se encuentra en pequeños cristales euhedrales, totalmente reemplazados por minerales opacos y piroxeno, de igual manera es común encontrarlos en los bordes de los piroxenos debido a uralitización (Figura 4c).

La mayoría de las texturas encontradas indican desequilibrio tanto físico (presión-temperatura) como químico en la cámara magmática, posiblemente relacionado a procesos de mezcla de magmas durante el ascenso a niveles corticales superiores (Kuno, 1950; Hibbard, 1995). La textura de reemplazamiento del anfíbol a opacos y piroxenos, podría estar relacionada a migración y residencia del magma en cámaras magmáticas muy superficiales donde los procesos de desgasificación son importantes (Rutherford y Hill, 1993).

Evidencias similares de mezcla de magmas han sido observadas y reportadas por Droux y Delaloye (1996) para otros volcanes Plio-cuaternarios en la parte suroccidental de Colombia.

Sin embargo no todos los magmas que conforman el volcán Morasurco habrían seguido el mismo proceso de cristalización. Ejemplo de esto es el flujo lávico de fenoandesita hornbléndica, el cual presenta un contenido mayor de anfíbol que las fenoandesitas piroxénicas, además el anfíbol se encuentra en cristales euhedrales, bien preservado y apenas débilmente zonado. La plagioclasa carece de texturas de desequilibrio tal como la textura "spongy cell" encontrada en otros flujos lávicos. Y los piroxenos carecen igualmente de texturas de sobrecrecimiento.

Las unidades piroclásticas incluyen bloques que composicionalmente son similares a los flujos de lava embebidos en una matriz vitrocristalina. Los materiales pumíticos con textura "fiamme" son comunes sugiriendo la presencia de material juvenil durante las erupciones.

6. GEOQUÍMICA

Los resultados analíticos se encuentran en la Tabla 3. Las muestras analizadas presentan valores de SiO_2 que oscilan entre 59 y 61% wt, comportamiento que se repite para el MgO, cuyos valores varían entre 3.1 y 3.4 % wt.

La muestra Ms12 (correspondiente al flujo lávico del Alto de Piedras), presenta una pequeña desviación en la composición con respecto al resto de las muestras. Como lo es un contenido más bajo de MgO (1.9%) (Figuras 5 a y b). Esto correlaciona bien con algunas diferencias petrográficas observadas en este flujo, como son la ausencia de alteración del anfíbol a óxidos de Fe (Figura 4c), además de la ausencia de clinopiroxeno, mineral común en el resto de los flujos lávicos del volcán.

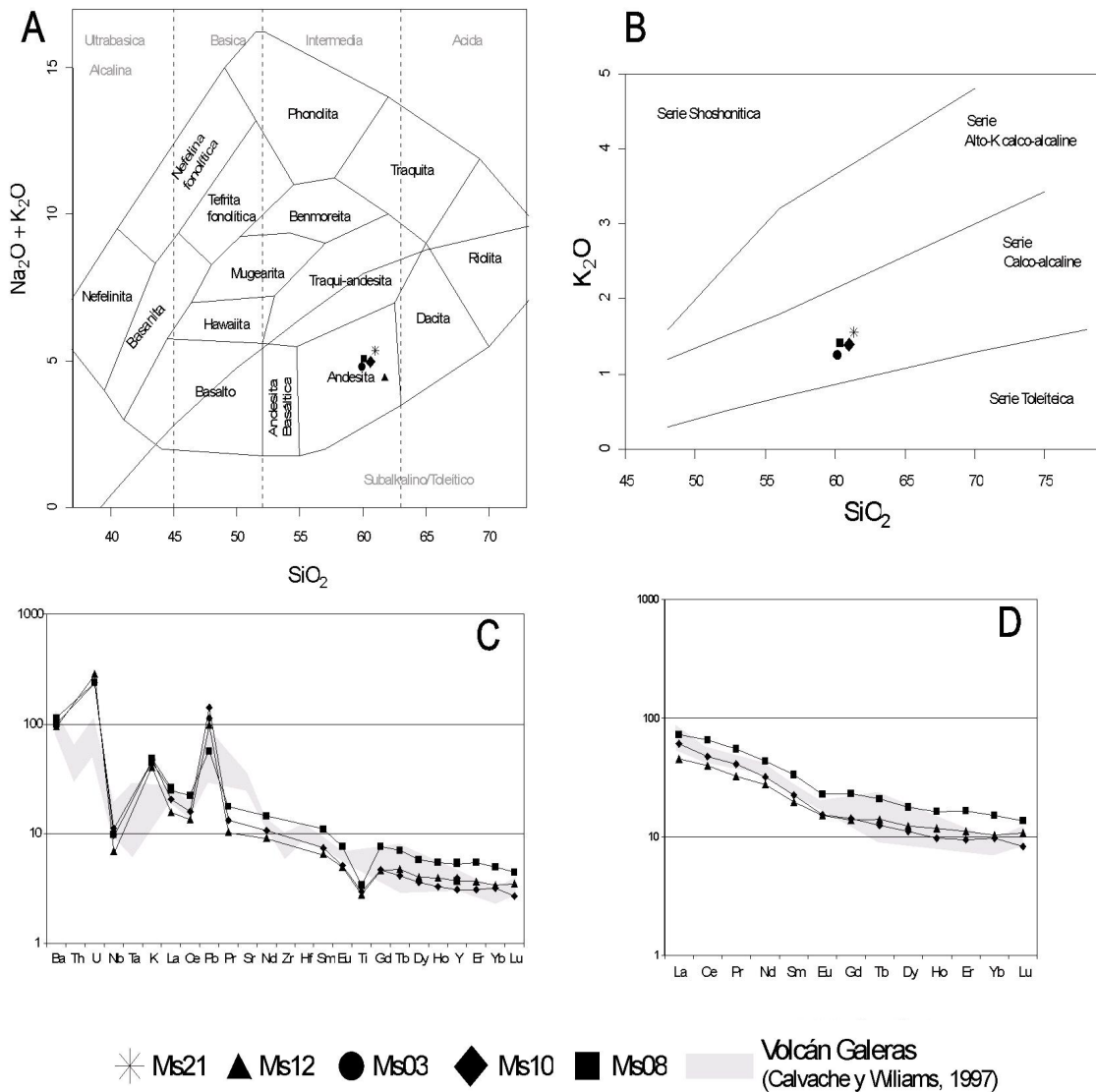


Figura 5. Diagramas de clasificación y diagramas multi-elementales de las muestras de geoquímica analizadas para el Volcán Morasurco comparados con datos geoquímicos existentes para el volcán Galeras. A) Diagrama de clasificación (Cox et al. 1979). B) Diagrama de clasificación por contenido de K₂O (Gill, 1981). C) Diagramas multi-elementales al PRIMA (Sun y McDonough, 1989). D) Spidergram de REE normalizado al PRIMA (primitive mantle) (Sun y McDonough, 1989).

Usando el diagrama de Cox et al. (1979) para la clasificación de rocas volcánicas se puede observar que las muestras caen en el campo de las rocas andesíticas (Figura 5a). En el diagrama de SiO₂ vs. K₂O (Gill, 1981) (Figura 5b), se observa como las muestras caen dentro de la serie calco-alcalina de medio potasio.

El enriquecimiento de los magmas en elementos LILE (large Ion lithophile Elements) tales como Rb, Ba, Th y Pb, y el empobrecimiento en Nb, ha sido ampliamente asociado a procesos magmáticos en zonas de subducción, esto debido a la diversa solubilidad que presentan estos elementos en fluidos acuosos (Gill, 1981, Tatsumi y Eggins, 1995; Pearce et al., 1982). Este comportamiento es fácilmente identificable en las lavas asociadas al volcán Morasurco, las cuales presentan enriquecimiento en elementos LILE, con anomalías negativas en elementos menos solubles como Nd. Este enriquecimiento es igualmente soportado por los valores positivos en relaciones como Ba/La, la cual presenta valores entre 60-30, valores similares a los obtenidos por Calvache y Williams, (1997), para el Volcán Galeras, cuyos magmas, igualmente presentan un notable enriquecimiento en elementos LILE (Figura 5c).

En cuanto a los elementos de las tierras raras (REE), las muestras analizadas son concordantes con lo encontrado en los elementos traza, y de igual manera similares a lo encontrado para el Volcán Galeras por Calvache y Williams, (1997). Las muestras presentan un enriquecimiento general de las LREE (tierras raras ligeras) en relación a las HREE (tierras raras pesadas). Con un patrón cóncavo hacia arriba y fuertemente empinado entre las LREE y las MREE (tierras raras medias) y un patrón plano a ligeramente cóncavo hacia abajo entre las MREE y las HREE (Figura 5d). La anomalía de Eu es ausente en todas las muestras (Figura 5d).

Tabla 3. Resultados geoquímicos de las muestras analizadas para el Volcán Morasurco.

Muestra	Ms 03	Ms10	Ms12	Ms21	Ms08	Ms08	RE Ms12
SiO ₂	60	60.48	61.62	60.58	59.72	60.36	-----
Al ₂ O ₃	16.55	16.47	17.38	16.83	16.94	17.07	-----
Fe ₂ O ₃	3.52	3.26	2.87	3.17	3.04	3.03	-----
FeO	3.17	2.93	2.58	2.85	2.74	2.73	-----
MgO	3.2	3.43	1.94	3.16	3.41	3.43	-----
CaO	6.11	6.28	5.29	6.3	6.39	6.4	-----
Na ₂ O	3.51	3.58	3.41	3.69	3.39	3.52	-----
K ₂ O	1.4	1.42	1.19	1.44	1.33	1.32	-----
TiO ₂	0.729	0.635	0.599	0.714	0.73	0.724	-----
P ₂ O ₅	0.171	0.142	0.133	0.169	0.171	0.176	-----
MnO	0.113	0.106	0.099	0.081	0.108	0.109	-----
Suma	98.473	98.733	97.111	98.984	97.969	98.869	-----
LOI	0.32	0.14	2.28	0.47	0.64	0.59	-----
TOT/C	0.01	0.02	0.01	0.04	0.02	0.01	-----
TOT/S	0.06	0.05	0.05	0.05	0.01	0.03	-----
	99.75	99.69	99.92	99.68	99.76	99.75	-----
Ba	710	732	662	785	695	702	-----
Co	107	56	72	42	61	63	-----
Ga	18	17	18	19	18	19	-----
Nb	8	7	5	7	7	7	-----
Rb	32	34	28	32	30	31	-----
Ta	435	440	366	499	449	447	-----
Th	bld	bld	bld	bld	bld	bld	-----
U	5	5	6	5	5	5	-----
V	154	142	137	152	173	165	-----
Y	18	14	17	17	24	25	-----
La	24	14.2	10.7	18	16.9	23	11.5
Ce	-----	28.4	23.8	-----	39.5	-----	23.1
Pr	-----	3.64	2.87	-----	4.85	-----	2.94
Nd	bld	14.4	12.4	26	19.5	29	12.5
Sm	-----	3.3	2.9	-----	4.9	-----	2.8
Eu	-----	0.86	0.84	-----	1.28	-----	0.86
Gd	-----	2.81	2.73	-----	4.54	-----	3.18
Tb	-----	0.45	0.51	-----	0.76	-----	0.47
Dy	-----	2.67	2.98	-----	4.29	-----	2.9
Ho	-----	0.54	0.65	-----	0.9	-----	0.62
Er	-----	1.49	1.76	-----	2.63	-----	1.74
Tm	-----	0.21	0.24	-----	0.37	-----	0.26
Yb	-----	1.58	1.68	-----	2.44	-----	1.85
Lu	-----	0.2	0.26	-----	0.33	-----	0.25
Cu	29	31	17	26	47	45	-----
Pb	8	10	7	4	bld	bld	-----
Zn	79	74	75	88	146	146	-----
Ni	25	31	7	18	21	20	-----
Ce	bld	31	bld	37	34	39	-----
Cl	bld	32	91	bld	bld	bld	-----
Cr	69	79	20	53	54	56	-----
F	76	285	186	101	257	500	-----
S	bld	bld	bld	bld	bld	bld	-----
Sc	17	16	20	16	19	17	-----

7. DISCUSIÓN

La evolución del volcán Morasurco está marcada por dos eventos principales. Un evento inicial, caracterizado por la erupción de importantes flujos lávicos, distribuidos de manera radial al alto de Daza, y que habría comprendido el cráter volcánico. Esta actividad magmática posiblemente habría cambiado hacia el final de la etapa efusiva con la llegada de un magma rico en agua y que estaría representado por el flujo de lavas del Alto de Piedras (Flap), flujo de lavas que difieren petrográficamente y geoquímicamente del resto de las lavas que componen el volcán y que posiblemente haya generado un importante cambio en el estilo eruptivo del volcán Morasurco debido a su alto contenido de agua.

Dicho cambio posiblemente haya dado paso a la segunda etapa evolutiva del volcán, la cual habría estado marcada principalmente por un carácter explosivo, con formación de grandes depósitos piroclásticos, de los cuales, el más importante habría destruido la parte NW del edificio volcánico, posiblemente bastante alterado hidrotermalmente antes de la erupción.

De las cinco unidades lávicas encontrados en el volcán Morasurco, cuatro fueron clasificados como fenoandesitas basálticas de dos piroxenos y solo una fue clasificada como fenoandesitas hornblendica. Esta indicando un importante cambio en las condiciones magmáticas y de estilo eruptivo del volcán.

La mineralogía de estas estaría caracterizada por plagioclasa + piroxeno + minerales opacos ± anfíbol ± olivino ± biotita. Algunas evidencias tales como texturas "spongy cell" en plagioclasa y sobre-crecimientos de clino-piroxeno en orto-piroxeno, indican mezcla de magmas y desequilibrios físicos y químicos en las cámaras magmáticas durante el ascenso de los magmas a la superficie.

Sin embargo ciertas características y diferencias petrológicas entre los diferentes flujos de lava nos permiten sugerir que no todos los magmas habrían seguido la misma trayectoria evolutiva. El ejemplo más importante de esto es la diferencia mineralógica y la ausencia de alteración en los anfíboles del flujo de lavas Alto de Piedras (Flap) (Ms12). Lo cual podría estar indicando, que todos los magmas, menos el formador del flujo de lavas Alto de Piedras (Flap), habrían tenido un tiempo considerable de residencia en una cámara magmática somera ($P < 4\text{Kb}$ y $T 900\text{-}1000\text{ }^\circ\text{C}$) que permitiera la desgasificación del magma y por ende la deshidratación del anfíbol y su transformación a magnetita, plagioclasa y piroxenos (Gill, 1981; Rutherford y Hill, 1993) (Figura 4).

Químicamente los productos del volcán Morasurco fueron clasificados como andesitas orogénicas de la serie calcoalcalina, de alto SiO_2 y medio K_2O . Condiciones que habrían permanecido estables a lo largo de la historia evolutiva del volcán. Características similares a lo observado por Droux y Delaloye, (1996) para el volcanismo del SW colombiano, caracterizado por volcanes como Galeras, Chiles y Azufra.

En cuanto a los elementos traza y REE, estos están caracterizados por un enriquecimiento en elementos LILE y LREE, características de magmatismo asociado a un proceso de subducción (Gill, 198; Wilson, M., 1989). Igualmente la ausencia de anomalía negativa de Eu estaría indicando que la cristalización fraccionada no habría tenido una acción importante en la formación de estos magmas o que por lo menos la plagioclasa no fue uno de los productos durante este fraccionamiento.

Los productos analizados del volcán Morasurco presentan características químicas muy similares entre ellos, especialmente los correspondientes a andesitas basálticas de dos piroxenos (Ms03, Ms08, Ms10, Ms21), no obstante la muestra analizada, correspondiente al flujo de lavas Alto de Piedras (Flap) presenta valores que difieren un poco del resto. Sin embargo el observar estos valores, no presentan una tendencia asociable a un proceso de diferenciación, pues este presenta menores contenidos de FeO, MgO, CaO y Na_2O a medida que aumenta el grado de diferenciación (SiO_2 y Al_2O_3). Por lo cual se sugiere que estas características pudieran estar insinuando procesos de mezcla.

Las edades obtenidas en los diferentes depósitos del volcán Morasurco permiten ubicar la actividad efusiva inicial del volcán hacia los 2.0 Ma, actividad que se habría extendido hasta unos 1.6 Ma o incluso más. La edad obtenida para el depósito piroclástico de San Juan Bajo (Fpsjb), (1.9 ± 0.13 Ma), es más antigua de lo esperado para su posición estratigráfica, por lo cual esta podría estar reflejando en mayor medida la edad del material que habría sido involucrado en la erupción y que al igual que la parte S del volcán habría estado dominado por materiales con edades cercanas a los 2.0 Ma.

Las edades obtenidas para parte de la actividad del Volcán Morasurco concuerdan bastante bien con que luego que terminara la actividad volcánica en Morasurco, comenzara la actividad del aun activo Volcán Galeras, para el cual se han obtenido edades de 1.1 ± 0.1 Ma para el comienzo de su actividad (Ramirez, 1981 en Cepeda, 1985). Además con una actividad lávica petrográficamente bastante similar a la encontrada en el volcán Morasurco, lavas andesíticas de dos piroxenos con relictos de anfíbol oxidado.

8. CONCLUSIONES

El estudio de los depósitos correspondientes al volcán Morasurco permitió identificar este como un volcán antiguo, cuya actividad habría comenzado hacia los 2.0 Ma con una actividad netamente efusiva, con la erupción de grandes coladas lávicas de andesitas basálticas de dos piroxenos, magmas que posteriormente habrían cambiado a andesitas horbléndicas, más ácidas y con un contenido mayor de agua que las anteriores, lo cual habría cambiado el estilo eruptivo del volcán a erupciones más explosivas, incluso destruyendo la porción NW del edificio volcánico.

La mineralogía de las rocas que componen el volcán Morasurco comprende: plagioclasa + piroxeno + minerales opacos \pm anfíbol \pm olivino \pm biotita. Minerales que en muchos casos muestran evidencias de desequilibrio tanto químico como físico en las cámaras magmáticas, posiblemente generado por diferentes inyecciones de magmas en dichas cámaras.

La petrogénesis de las lavas del volcán Morasurco indica que antes de llegar a la superficie estos magmas se estacionaron en una cámara magmática superficial, con condiciones adversas para la estabilidad del anfíbol, generando desestabilización de éstos. Sin embargo este no es el caso de todos los magmas, pues uno de los flujos no presenta esta oxidación del anfíbol, indicando un ascenso más rápido directamente a la superficie.

Las lavas del volcán Morasurco concuerdan bastante bien con la definición de Gill (1981) de andesitas orogénicas de la serie calco-alcalina, de alto SiO_2 y medio K_2O . Con un enriquecimiento en elementos LILE y LREE, que sugieren un origen de magmatismo de arco donde la acción de fluidos hidrotermales y el reciclaje de sedimentos en la zona de subducción jugaría un papel importante. Posteriormente estos magmas habrían sufrido procesos de mezcla y homogenización parcial del material asimilado durante su ascenso en la corteza terrestre y a niveles de la cámara magmática.

El análisis de datos geoquímicos y petrográficos sugieren una importante similitud con las observaciones y datos obtenidos por Calvache y Williams (1997) para el volcán Galeras, lo cual podría indicar una estrecha relación genética entre ambos edificios volcánicos, posiblemente compartiendo un mismo sistema magmático que habría cambiado de centro eruptivo pero cuyos procesos petrogenéticos han sufrido muy pocos cambios a lo largo del tiempo.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen cordialmente a todos los integrantes de la regional Pasto del INGEOMINAS (Instituto Colombiano de Geología y Minería) y a este instituto por el apoyo logístico durante el proceso de campo. Al Dr. Umberto Cordani por facilitar el análisis K-Ar en el Centro de Pesquisas Geocronológicas de la Universidad de Sao Paulo. Al personal del laboratorio de fluorescencia de rayos x del Instituto de Geociencias de la Universidad de Sao Paulo por su colaboración durante los análisis. A los dos revisores anónimos por sus acertados comentarios y dedicada lectura del manuscrito.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Álvarez, A., 1983. Geología de la Cordillera Central y el occidente Colombiano y petroquímica de los intrusivos granitoides Mesocenozoicos. Boletín Geológico de INGEOMINAS. V. 26, No. 2, pp. 175.
- Alvarez, J. y Linares, E., 1980. Edad K/Ar del stock granitoide de la quebrada Las Minas, Municipio de la Vega, Cauca. Boletín de Ciencias de la Tierra Vol. 5 - 6, pp. 109-112.

- Alvarez, J., Botero, G., Marulanda, N. y Linares, E., 1980a. Edad K/Ar del stock de San Cristóbal, Nariño. *Boletín de Ciencias de la Tierra* Vol. 5 - 6, pp. 79-82.
- Aspen, J., McCourt, J. y Brook, M., 1987. Geometrical control of subduction-related magmatism: the Mesozoic and Cenozoic plutonic history of Western Colombia. *Journal of the Geological Society, London*, vol. 144, pp. 893-905.
- Calvache, M. y Williams, S., 1997. Geochemistry and petrology of the Galeras Volcanic complex, Colombia. *Journal of Volcanology Geothermal Research*, Vol. 77, pp. 21 - 38.
- Cepeda, H., 1985. Anotaciones acerca de la geología del Volcán Galeras, Colombia, S.A. 6th Congreso Latinoamericano de Geología, Bogota, Book 1, pp. 339-383.
- Cepeda, H., 1989. Investigaciones petrológicas en el ámbito de las planchas 429 - Pasto y 410 - La Unión, con énfasis en el complejo volcánico Galeras. *Boletín Geológico*, Vol. 30, pp. 45 - 113.
- Cox, K., Bell, J. y Pankhurst, R., 1979. *The Interpretation of Igneous Rocks*, George Allen and Unwin, London, 445 P.
- Droux, A. y Delaloye, M., 1996. Petrology and Geochemistry of Plio-Cuaternary Calc-Alkaline volcanoes of southwestern Colombia. *Journal of South American Earth Science*, Vol. 9, pp. 27-41.
- Gallagher, K., Brown, R. y Jhonson, C., 1998. Fission track analysis and its applications to geological problems. *Rev. Earth Planet. Sci.* V.26, pp. 519-572.
- Gill, J., 1981. *Orogenic Andesites and Plate Tectonics*, Springer-Verlag, 390 P.
- Hibbard, M., 1995. *Petrography to petrogénesis*. Prentice Hall, 587 P.
- Kroonenberg, S., 1983. A Grenvillian granulite belt in the Colombian Andes and its relations to the Guiana Shield, *Geol. Mijnbouw*, V. 61 No. 4, pp. 325-333.
- Kuno, H., 1950. Petrology of Hakone volcano and the adjacent areas, Japan. *GSA Bulletin*; September, V. 61, no. 9, pp. 957-1020.
- Mendez-Fajury, R., 1989. *Catálogo de volcanes activos de Colombia*. INGEOMINAS. Bol. Geol. 30(3), Ingeominas, Bogotá, 75 P.
- Murcia, A. y Cepeda, H., 1991. Mapa geológico de Colombia, Plancha 429 Pasto, Escala 1: 100.000, INGEOMINAS. 18 P.
- Pearce, J., Harris, N. y Tindle, A., 1982. Trace element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitic Rocks. *Journal of Petrology*. V. 25, No. 4, pp. 956-983.
- Rutherford, M. y Hill, P., 1993. Magma ascent rates from amphibole breakdown: An experimental study applied to the 1980-1986 Mount St. Helens eruption. *J. Geophys. Res.* V. 98. No. 19, pp. 667-19.
- Stern, C.R., 2004. Active Andean Volcanism: its geologic and tectonic Setting. *Revista Geológica de Chile*, V. 31, No. 2, pp. 161-206.
- Steiger, R. y Jager, E., 1977. Subcommittee on geochronology: Convention on the use of decay constants in geo- and cosmochronology. *Earth and Planetary Science Letters*, V. 36, No. 3, pp. 359-362.
- Sun, S. y McDonough, W., 1989. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: implications for mantle composition and processes. *Geological Society, London, Special Publications*; V. 42; pp. 313-345.
- Tatsumi, Y. y Eggins, S., 1995. *Subduction zone magmatism*. Blackwell Science. 211 P.