

**SECUENCIA VOLCÁNICA DEL RÍO SAN FRANCISCO, PURACÉ, CAUCA:
ESTRATIGRAFÍA, PETROLOGÍA Y GEOQUÍMICA.**

Eliana Cañola Herrera

Directora:

Gloria Elena Toro Villegas, PhD.

Maestría en Ciencias de la Tierra

Departamento de Geología

Universidad EAFIT

Medellín Ant.

2011

AGRADECIMIENTOS

Sincera gratitud a todas las personas y entidades que colaboraron con el desarrollo de este trabajo.

Muy especiales a la profesora Gloria Elena Toro por su apoyo, dedicación, compañía y buena guianza.

A INGEOMINAS, por el soporte económico y apoyo con los análisis de laboratorio realizados durante el segundo año del proyecto de investigación y como represenantes directos de esta Institución Bernardo Pulgarín, Martha Calvache y María Luisa Monsalve.

A los profesores del Departamento de Geología de la Universidad EAFIT, por su buena pedagogía, colaboración y apoyo durante el período transcurrido en la universidad.

A las compañeras de estudio por compartir las discusiones durante el tiempo en la Universidad. Sandra López, Patricia Torres, Laura Téllez y Katherine Jeréz.

A María Isabel Marín-Cerón por su colaboración desinteresada y compartir todo su conocimiento.

A María Isabel Acevedo y Wilton Echavarría, por la paciencia y ayuda con las actividades logísticas del proceso.

A la Agencia Nacional de Hidrocarburos (ANH) por el apoyo con el laboratorio de Termocronología donde se realizaron todas las separaciones minerales y análisis petrográficos del proyecto.

Y por último y no por ello menos importante, a todos y cada uno de los miembro de mi familia, por su apoyo incondicional y por ser, sin lugar a duda, los mejores compañeros de camino.

TABLA DE CONTENIDO

Resumen

1	INTRODUCCIÓN	6
1.1	Antecedentes	6
1.2	Objetivos	10
1.2.1	Objetivo general	10
1.2.2	Objetivos específicos	10
1.3	Metodología	11
2	ZONA DE ESTUDIO	14
3	CONTEXTO TECTÓNICO DE LOS ANDES COLOMBIANOS	16
3.1	Características lito-estructurales Zona volcánica Norte	16
3.2	Trabajos anteriores zona de estudio	19
3.3	Generalidades sobre las rocas volcánicas	22
3.3.1	Coladas de lava	22
3.3.2	Depósitos piroclásticos	24
3.3.2.1	Componentes de los depósitos piroclásticos	24
3.3.2.2	Clases de depósitos piroclásticos	26
3.3.2.3	Características de los depósitos piroclásticos	29
4	RESULTADOS	32
4.1	Cartografía geomorfológica	32
4.1.1	Montañas de vertientes rectas (Mvr)	33
4.1.2	Cañón del río Cauca (Crc)	34
4.1.3	Cañón del río San Francisco (Crfsf)	34
4.1.4	Cañones secundarios (Cs)	35
4.1.5	Cerro Pusná(Cp)	35
4.1.6	Lomerío medio (Lm)	36
4.1.7	Vertientes largas y rectas (Vlr)	37

4.1.8	Vertientes de alta disección (Vad)	37
4.1.9	Vertientes de baja disección (Vbd)	38
4.1.10	Valle de la quebrada Ambiro (Vqa)	38
4.1.11	Colinas bajas de cimas redondeadas (Cbcr)	39
4.1.12	Superficie ondulada (So)	40
4.1.13	Superficie de depositación de ladera (Sdl)	40
4.1.14	Superficie de depositación aluvial (Sda)	41
4.2	Secuencia volcánica río San Francisco	42
4.2.1	Ignimbrita de Coconuco	42
4.2.1.1	Fase brecha co-ignimbrita	46
4.2.1.2	Variaciones en la relación fase mineral	47
4.2.2	Flujos de lava Peña Negra (Chagartón)	48
4.2.3	Depósito de flujo de ceniza y bloques de Pululó	50
4.2.4	Ignimbrita adosada de Pululó	52
4.2.5	Flujos de lava río Anambio (Pre-Puracé)	54
4.2.6	Depósito de flujo de ceniza y escoria- Miembro San Francisco	
	Formación Coconucos	55
4.3	Petrografía y geoquímica	58
4.3.1	Ignimbrita de Coconuco	65
4.3.2	Lavas de Peña Negra (Chagartón)	67
4.3.3	Deposito de flujo de ceniza y bloques de Pululó	68
4.3.4	Ignimbrita adosada de Pululó	69
4.3.5	Lavas del río Anambio (Pre- Puracé)	70
4.3.6	Deposito de flujo de ceniza y escoria- Miembro San Francisco	
	Formación Coconucos	70
4.4	Columna estratigráfica generalizada del río San Francisco	72
5	DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES	74
5.1	Discusión	74
5.1.1	Geomorfología	74
5.1.2	Secuencia volcánica río San Francisco	75
5.1.3	Petrografía, características físicas y génesis	78
5.1.4	Geoquímica y génesis	81

5.2	Conclusiones	85
6	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	88

Resumen

La zona volcánica del suroccidente de Colombia a partir de su conformación, ha permitido el emplazamiento de grandes depósitos volcánicos con variaciones en el estilo volcánico. A partir de un estudio estratigráfico, geomorfológico, petrográfico y geoquímico, sobre rocas aflorantes sobre el río San Francisco, se permitió establecer una correlación que llevo a la definición de seis unidades volcánicas, además de corroborar las variaciones en el estilo eruptivo del volcán Puracé y de estructuras volcánicas anteriores, sobre las cuales, se emplazó dicho volcán y otras estructuras actuales. Las seis unidades descritas, conforman la secuencia volcánica del río San Francisco, la cual exhibe intercalación de eventos explosivos representados por ignimbritas, brechas líticas, depósitos de flujo ceniza y bloques y más recientemente depósitos de flujo de ceniza y escoria, alternando con eventos volcánicos efusivos, representados por coladas lávicas. De base a techo, la secuencia volcánica del río San Francisco, esta conformada por Ignimbrita de Coconucos de composición andesítica y dacítica, seguida de Lavas de Peña Negra que son rocas homogéneas y andesíticas, continua el Depósito de flujo de ceniza y bloques de Pululó de composición andesítica, seguido se encuentra la Ignimbrita adosada de Pululó de composición andesítica, seguido se encuentran las Lavas del río Anambio de composición andesítica y por último se encuentra el depósito de flujo de ceniza y escoria de composición andesita basáltica. Además todas las muestras de secuencia, con excepción las rocas pertenecientes a las lavas del río Anambio, muestran un contenido en K medio, a diferencia de las lavas recientes del volcán Pre-Puracé y Puracé que muestran un contenido de K-alto.

Todas las muestras analizadas exhiben texturas de desequilibrio como bahías de crecimiento, reabsorción, zonación; entre otras, evidenciando los procesos de mezcla de magmas.

1 INTRODUCCIÓN

Este estudio se enmarca dentro del proyecto de investigación Vulcanismo Neógeno Cuaternario en el SW colombiano, sector Formación Popayán, sector poblaciones Puracé- Coconucos, río San Francisco y sector cañón del río Guachicono población Río Blanco, en el departamento de Cauca, desarrollado en convenio específico de ciencia y tecnología N. 0012006, INGEOMINAS-U. EAFIT. El objetivo central de la investigación es la caracterización geológica de las zonas volcánicas del SW colombiano, con miras a plantear el modelo evolutivo del vulcanismo desde el Neógeno hasta el Presente, mediante el levantamiento detallado de columnas estratigráficas en los sectores ya mencionados.

1.1 Antecedentes

Grandes son las variaciones en el comportamiento volcánico y en las características de los eventos eruptivos (Gill, 1981), condicionadas inicialmente por el contexto tectónico que permite la generación de los magmas, seguido por los procesos de diferenciación magmática y la obtención de unos atributos físico-químicos que permiten los diferentes estilos eruptivos y que son motivo de continua investigación alrededor del mundo.

La actual actividad volcánica en Colombia, está relacionada al ambiente de margen continental activo, generado por la subducción de la placa oceánica Nazca debajo de la placa continental Suramericana (Jordán, 1983; Pennington, 1981).

Este proceso de subducción, ha estado operando desde el Oligoceno tardío-Mioceno temprano. (Mc Court et al. 1984) y es el responsable del arco volcánico localizado en la cadena montañosa de los Andes (Figura 1). A través

de estos millones de años, se han presentado cambios en la dirección, velocidad y ángulo de subducción; además de cambios en la morfología de la placa Nazca (Wilson, 1989; Gutscher et al., 1999)

A partir de las variaciones identificadas en el arco volcánico, Thorpe, 1984, define tres segmentos: zona volcánica norte, zona volcánica central y zona volcánica sur. Stern y Kilian (1996), adicionan la zona volcánica Austral (Figura 1). Esta segmentación es el resultado de diferentes características como tipo y edad del basamento pre-Andes, espesor de la corteza, evolución geológica durante el Mesozoico - Cenozoico y variaciones geométricas en la zona de subducción: dirección, ángulo y tasa de convergencia, edad de la placa oceánica subducente y entrada de dorsales asísmicas a la trinchera. (Wilson, 1989).



Figura 1 Zonas volcánicas de los Andes y contexto tectónico de la cadena montañosa. Subducción de la placa Nazca debajo de la placa Suramericana; se presenta velocidad, dirección y edad de la placa oceánica subducente. (Compilado de Thorpe, 1984, Kellog y Vega, 1995, Alemán y Ramos, 2000, Stern, 2004)

La zona volcánica de Colombia se localiza en la Zona volcánica Norte, la cual agrupa los volcanes localizados entre los 5° latitud Norte y 2° latitud Sur. Al interior de esta zona, se identifican pequeños segmentos sin representación volcánica en superficie.

En Colombia, se identificaron tres áreas volcánicas (Cepeda y Carvajal., 1991), separadas entre sí por zonas de no volcanismo (Figura 2). Actualmente, a partir de estudios geofísicos de atenuación sísmica de Ondas Qlg, (Ojeda y Ottemöller, 2002) se plantea que los segmentos volcánicos central y sur están relacionados a la misma fuente en profundidad y separadas del segmento norte del país.

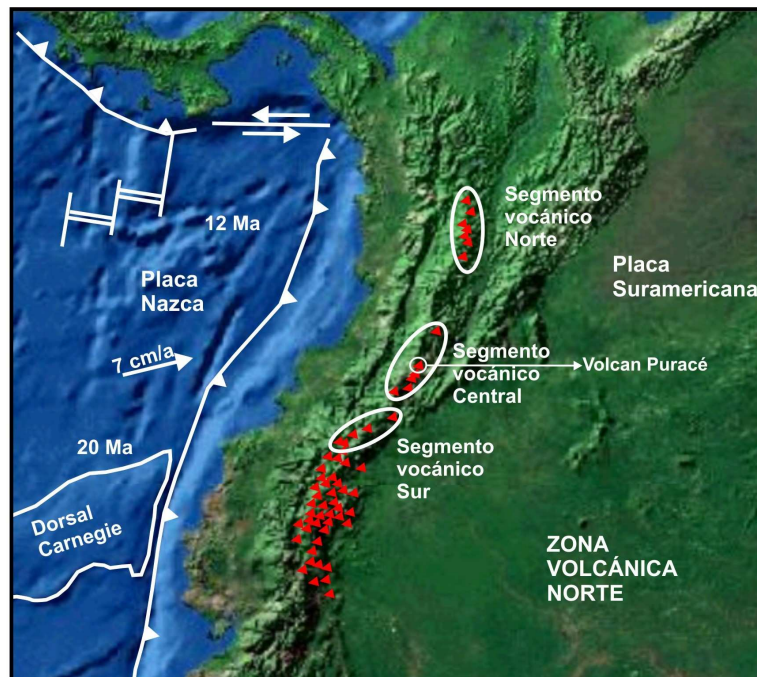


Figura 2 Zona volcánica Norte localizada entre 5° latitud N y 2° latitud S (Modificado de Cepeda y Carvajal, 1981, Stern, 2004)

El área central dentro del arco volcánico colombiano (Cepeda y Carvajal., 1991), está constituida por los siguientes centros eruptivos, de norte a sur: volcán Nevado del Huila, Cadena volcánica de los Coconucos y volcán Sotará. Los centros eruptivos mencionados, exhiben variaciones en el tiempo de actividad y estilo eruptivo.

En este trabajo, se presenta la descripción detallada de la secuencia de rocas volcánicas de una pequeña porción del área volcánica central, sobre la margen noroeste del volcán Puracé, levantada a lo largo del río San Francisco. Esta secuencia volcánica, registra eventos explosivos caracterizados por los depósitos de flujo piroclástico intercalado con eventos efusivos que registran coladas lávicas. A partir de correlaciones estratigráficas con las unidades definidas en el área en estudios anteriores, se identifica que la base de la secuencia volcánica del río San Francisco, representada por la Ignimbrita de Coconuco, fue emplazada a finales del Mioceno y la parte superior está representada por el depósito de flujo piroclástico de ceniza y escoria que conforma el Miembro San Francisco de la Formación Coconucos datado en 30.000 años. (Monsalve, 2000).

La Formación Coconucos está constituida por la intercalación e interdigitación de depósitos volcánicos provenientes de los centros eruptivos que conforman la Cadena volcánica de los Coconucos y estructuras volcánicas del valle de Paletará (Monsalve, 2000). Está limitada lateralmente por la Formación Popayán y por rocas volcánicas no diferenciadas del Neógeno y Cuaternario.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo general

Realizar una caracterización estratigráfica, geomorfológica y petrográfica de los diferentes eventos volcánicos generados en la margen noroccidental de la Cadena volcánica de los Coconucos (volcán Puracé y estructuras anteriores) y que fueron emplazados a lo largo de la cuenca del río San Francisco, municipio de Puracé, Cauca, Colombia.

1.2.2 Objetivos específicos

- Ж Describir los atributos físicos de los diferentes depósitos de flujo piroclástico y plantear la definición de posibles fases dentro de los depósitos.
- Ж Realizar correlaciones estratigráficas de los diferentes depósitos volcánicos.
- Ж Plantear posibles fuentes, acorde con la distribución y teniendo en cuenta, las estructuras volcánicas identificadas en el área en trabajos previos.
- Ж Detallar la cartografía de las unidades volcánicas en los alrededores del río San Francisco, municipio de Puracé, Cauca.
- Ж Realizar la cartografía geomorfológica como herramienta para la correlación de las diferentes unidades volcánicas.
- Ж Realizar análisis petrográfico, de minerales densos y geoquímica de elementos mayores y algunos trazas que permitan apoyar las correlaciones realizadas.

1.3 Metodología

Las actividades desarrolladas para la elaboración de mapa geológico y geomorfológico contemplaron inicialmente la revisión de la cartografía y trabajos existentes y la unificación de criterios de las unidades de acuerdo a las normas del INGEOMINAS. Se procedió luego a la fotointerpretación y análisis de las fotografías aéreas disponibles que cubren toda el área de trabajo (Tabla 1).

Tabla 1 Línea de vuelo de las fotografías aéreas de la zona de estudio. Se indica el vuelo, el sobre y la fuente.

Nº	Vuelo	Sobre	Fotos	Fuente
1	M7 - M550		7435- 7452	INGEOMINAS
2	M5 - M550		7370- 7381	INGEOMINAS
3	C 2270-25-87	S-33768	274- 285	IGAC
4	C 2401-28-89	S- 35434	144- 153	IGAC
5	C 2402-26-89	S- 35436	33- 41	IGAC

Durante del trabajo de campo se verificaron las unidades fotogeológicas, se cartografiaron y se tomaron muestras para el análisis petrográfico y se realizó el levantamiento de la secuencia volcánica de las diferentes unidades encontradas a lo largo del río San Francisco, objetivo central del presente estudio.

El posterior análisis petrográfico, estratigráfico, de fotointerpretación y geoquímica, permitió la correlación de las diferentes columnas descritas a lo largo del Río San Francisco y la elaboración de una columna que representa la evolución volcánica registrada en este sector de la zona central del arco volcánico colombiano.

Los análisis petrográficos y de minerales densos, fueron realizados en el laboratorio de Trazas de fisión de la Universidad EAFIT. En total se elaboraron 28 secciones delgadas para el estudio petrográfico.

Para las muestras con avanzado grado de meteorización y/o oxidación, de las cuales se dificultó la elaboración de una sección delgada, se procedió de la siguiente manera. Se lavó y eliminó la fracción arcilla y limo (pasante malla # 200), en una batea se concentraron las partículas de tamaño arena de minerales densos. Ésta fracción, se pasó por tamices o mallas, para obtener el tamaño de partícula ideal al observar con una lupa de 10x. En la Tabla 2 se especifican las fracciones separadas. Para el estudio de minerales densos, se tomó la fracción entre 75 μm y 150 μm .

Tabla 2 Fracciones separadas para las muestras meteorizadas

Fracción	Tamiz o malla #(μm)	
	Retenido	Pasante
1	350	
2	200	350
3	150	200
4	75	150

Para la determinación de elementos mayores y algunos trazas, se procedió a triturar la muestra de roca fresca con un martillo o almadana hasta obtener “chips” (< a 5 mm³) que fueron lavados con alcohol etílico y secados a temperatura ambiente. Estas partículas fueron reducidos a tamaño arcilla (pasante malla # 200) usando un mortero de ágata, donde se obtuvieron 10 g para el envío al laboratorio de Geoquímica de INGEOMINAS, Bogotá.

Se realizaron 28 secciones delgadas para analizar en el microscopio petrográfico con luz transmitida, 18 montajes de minerales densos para analizar con lupa binocular y por último 20 análisis geoquímicos de elementos mayores que permiten determinar los principales óxidos (SiO₂, TiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃, FeO, MnO, MgO, CaO, Na₂O, K₂O, P₂O₅) y algunos menores y trazas (V, Cr, Co, Ni, Cu, Zn, Rb, Sr, Zr, Ba y Pb)

Se realizó el levantamiento de 15 columnas estratigráficas a lo largo del río San Francisco, en 54 estaciones de campo (Ver mapa geológico) principalmente hacia la parte media de la cuenca del río San Francisco, en cercanías a los

sectores el Hato, las Chozas, vereda Pululó, Cerro Pusná, sector Peña Negra y sector Patico.

A partir de los datos de campo, análisis de minerales densos, petrográficos y geomorfológicos, se realizó la correlación estratigráfica de las diferentes columnas, lo que permitió definir cuatro episodios volcánicos explosivos que muestran variaciones en su distribución y mineralogía y dos eventos efusivos, intercalados, evidenciando los cambios en el estilo volcánico a través del tiempo.

2 ZONA DE ESTUDIO

El volcán Puracé (4650 msnm), es un volcán activo localizado en la extremo noroccidental de la Cadena Volcánica de los Coconucos, la cual está conformada por 15 estratovolcanes que fueron emplazados sobre rocas y depósitos piroclásticos más viejos, asociadas a estructuras volcánicas erodadas y extintas. (Figura 2) (Monsalve y Pulgarín, 1995)

El río San Francisco nace en el volcán Puracé e incisa el flanco noroccidental de este centro eruptivo y fluye hacia el occidente para desembocar en el río Cauca, cerca de la vereda La Cabrera, municipio Popayán (Figura 3)

La morfología del río esta representada por un cañón de paredes verticales, que alcanzan 160 m de altura, vertientes largas, rectas, incisión baja, disección media, condición física que facilita el afloramiento de una potente secuencia volcánica conformada por depósitos de flujo piroclásticos intercalados con coladas de lava, que yacen en contacto discordante sobre el basamento cristalino. Las diferentes unidades volcánicas aquí presentadas hacen parte de la Formación Cococucos (Monsalve, 2000), con excepción de la ignimbrita de Coconuco que haría parte del denominado miembro Julumito de la Formación Popayán (Torres et al, 1992).

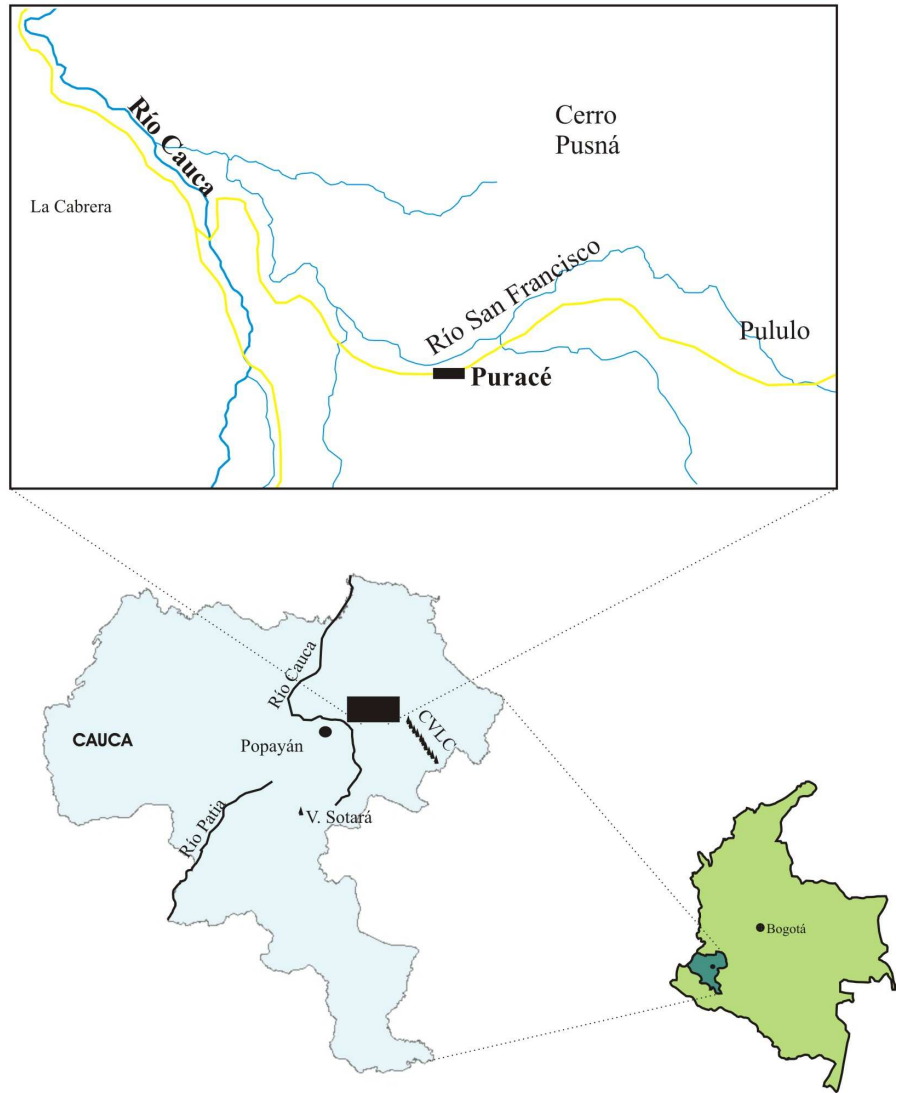


Figura 3 Mapa de localización zona de estudio (CVLC: Cadena Volcánica Los Coconucos).

3 CONTEXTO TECTÓNICO DE LOS ANDES COLOMBIANOS

La margen occidental de Sur América, es el resultado de la convergencia hacia el oriente de la placa oceánica Nazca debajo de la placa continental Suramericana (Jordán et al., 1983). Este proceso comenzó aproximadamente hace 23 Ma. (Pilger, 1984), cuando se da el fracturamiento de la paleo-placa Farallones en Nazca y Cocos. Esta nueva configuración en la geometría de la zona de subducción, generó acortamiento cortical acelerado, engrosamiento y levantamiento de los Andes del Norte, así como la reactivación de fallas de rumbo (Alemán y Ramos, 2000). Desde entonces, se ha registrado actividad volcánica asociado a un ambiente de margen continental activa, que ha permitido el emplazamiento de depósitos volcánicos en la mayor parte de la margen occidental de Sur América.

En Colombia, el volcanismo ha sido emplazado sobre un zócalo de rocas metamórficas de edad paleozoica conformado por el Complejo Cajamarca y rocas de piso oceánico de edad cretácica agrupadas dentro del Complejo Quebradagrande (Maya y González, 1995).

3.1 Características lito-estructurales Zona volcánica Norte

En la zona volcánica Norte, la velocidad de subducción es de 5 cm/a a 7 cm/a (Kellog y Vega, 1995; Stern, 2004, respectivamente), la dirección de convergencia varía de 20° a 45° y la edad de la corteza oceánica subducente es de 12 Ma (Stern, 2004).

Las características de la corteza controlan la trayectoria de los magmas que ascienden desde las zonas de deshidratación y generación de magmas a una profundidad de aproximadamente 150 km (Stern, 1998) además aportan contaminantes a los fluidos que ascienden a través de ella (Wilson, 1985). Actualmente para el suroccidente colombiano se tienen dos modelos de corteza.

El primero, definido por Meissner et al, (1976) a partir de datos de refracción sísmica y otros datos geofísicos, plantean un modelo de corteza presentado en la Figura 4, del cual se puede concluir que el espesor de la corteza continental es de aproximadamente 35- 40 km y para la placa oceánica subducente, se deduce un espesor aproximado de 10- 15 km y lo más importante es la existencia de una porción de material de afinidad oceánica debajo de un zócalo de rocas continentales. Esta configuración es respaldada por los estudios geoquímicos de Weber et al., (2002) sobre xenolitos en rocas volcánicas en cercanías al volcán Doña Juana que muestra que la corteza inferior en este sector está relacionada con las rocas del occidente colombiano (afinidad oceánica). El proceso involucrado corresponde a crecimiento cortical lateral que involucra acreción-subducción, proceso que se llevaría a cabo durante el emplazamiento de la meseta oceánica que conforma el occidente colombiano (Kerr et al., 1997). De igual manera, recientes investigaciones de geoquímica isotópica sistemática en el arco volcánico del SW colombiano (Marín-Ceron 2007) encuentra, debajo del arco volcánico del suroccidente colombiano, una corteza inferior con un componente en Pb altamente radiogénico posiblemente asociado con las rocas de la meseta oceánica del occidente colombiano.

El segundo modelo de corteza propuesto es presentado por Kellog y Vega (1995) a partir de datos geofísicos, el cual propone un zócalo de rocas metamórficas de afinidad continental que alcanza 40 km de profundidad en la zona del arco volcánico. Esto es apoyado a partir de estudios geoquímicos e isotópicos de los diferentes eventos magmáticos registrados después de la acreción del occidente colombiano (Ordoñez y Pimentel, 2001).

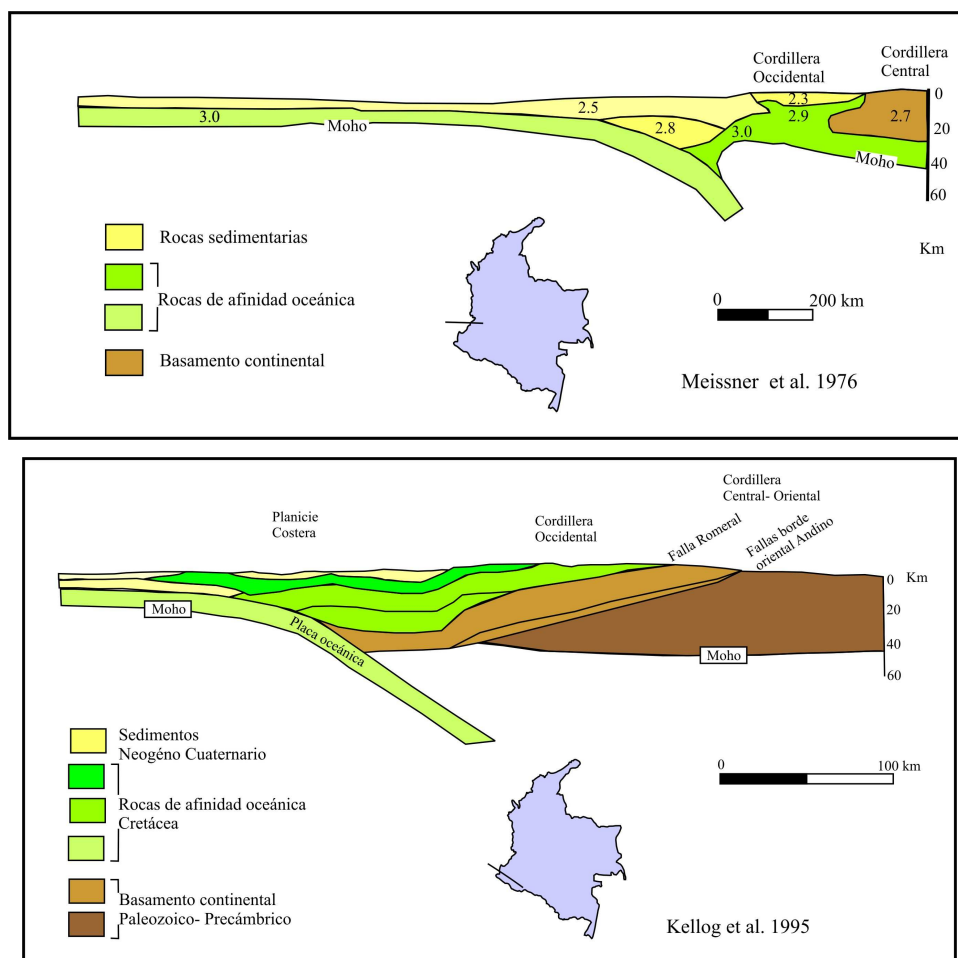


Figura 4 Modelos de corteza para los Andes colombianos (Arriba: Meissner et al., 1976. Abajo: Kellog et al., 1995)

Recientes estudios geofísicos de tomografía QLg (Ojeda y Ottemöller, 2002), han mostrado la existencia de dos zonas de alta atenuación sísmica en la margen de los Andes colombianos y que estaría indicando las zonas volcánica Parque Nacional de los Nevados y Suroccidente, separadas por una zona de baja atenuación. Esta zona de baja atenuación sísmica, corresponde a una zona de no volcanismo que refleja controles desde la placa subducente hasta las características de la litosfera. Lo anterior, permite inferir, que los segmentos volcánicos central y sur, planteados por Cepeda y Carvajal, 1991 para el arco volcánico, estarían representando un solo segmento.

En general, dentro de las zonas volcánicas de los Andes, se observa control estructural para el emplazamiento de los diferentes centros, así como para la ausencia de volcanismo. En la zona volcánica Norte, se han definido seis segmentos, teniendo en cuenta límites tectónicos transversales al arco, así

como a partir de las características morfológicas se separan tres zonas en la placa oceánica subducente (Hall y Wood, 1985) y que tiene un fuerte control en las variaciones observadas en el arco volcánico.

3.2 Trabajos anteriores zona de estudio

Kuroda y Paris (1978), plantean la existencia de un zócalo de rocas volcánicas explosivas, localizadas hacia las planicies que se localizan en los departamentos de Huila y Cauca, y que se desprenden de la zona volcánica central. Sobre éste, se construyeron los centros volcánicos actuales, que para la zona están representados por 15 centros volcánicos que definen la Cadena volcánica de los Coconucos (Monsalve y Pulgarín, 1995).

La Cadena volcánica de los Coconucos CVLC (Monsalve y Pulgarín, 1995) representada por 15 centros eruptivos, alineados a lo largo de la Falla Coconucos, en dirección N 39°W, se define como una provincia volcánica que presenta productos de mineralogía similar, en su mayoría de centros, que exhiben un comportamiento efusivo, con excepción del volcán Puracé que presenta predominio de productos piroclásticos (Monsalve y Pulgarín, 1995). Las estructuras volcánicas actuales, se han construido sobre los vestigios de grandes estructuras volcánicas que existieron y posiblemente son la fuente de algunas de las unidades encontradas a lo largo del cañón del río San Francisco. Algunas de éstas han sido documentadas en estudios previos: caldera de Cutanga o El letrero (Van Houten, 1976; Kroonenberg et al., 1981, 1982), caldera de Paletará (Torres et al., 1999), caldera de Gabriel López (INGEOMINAS, 2003), caldera de Chagartón y volcán Pre-Puracé (Monsalve y Pulgarín, 1993).

En el sector se reconocen tres etapas de actividad para el volcanismo cenozoico. La primera se desarrolló durante el Mioceno temprano y medio, con actividad principalmente lávica, cuyos productos fueron erosionados y redepositados en los valles intramontanos (Murcia, 1982). La segunda etapa se generó en el Plioceno- Pleistoceno y tiene asociados coladas lávicas e

ignimbritas, cuyas fuentes se encuentran parcialmente erosionadas y corresponderían a las calderas mencionadas (Kroonenberg et al., 1981, Torres et al., 1995) La última etapa se asocia a la actividad desde el Pleistoceno tardío y continúa en la actualidad. (Kennett et al., 1977, Murcia, 1982). La primera etapa estaría relacionada a un pulso sin-orogénico y la segunda y tercera fase, estarían representando un pulso pos-orogénico. (Cepeda, 1987), teniendo en cuenta la fase orogénica del Plioceno dentro de las fases de la Orogenia andina (Van der Hammer, 1961).

En general, se tiene registro desde el Mioceno tardío en ignimbritas de la parte alta de la cuenca del río Magdalena, que han arrojado edades de 7.1 +/-0.3 (Kroonenberg et al., 1981), del Plioceno en ignimbritas datadas en 4.2 y 2.8 +/- 0.2 (Van Houten, 1976). Estas rocas tienen una composición de riolítica a dacítica, en las que son de origen explosivo y están asociadas a depósitos de flujo de ceniza y pómez o también denominados mantos ignimbríticos por su morfología y grandes espesores.

Para las rocas, también de origen volcánico, pero con un estilo de emplazamiento efusivo, la composición varía de andesítica a andesitas-basálticas y con diferencias en la geoquímica que pueden estar reflejando cambios en la profundidad de la placa subducente, o diferentes espesores en la corteza (Murcia y Marín, 1981). Además las variaciones en isótopos de Sr y Nd pueden estar indicando entrada de sedimentos a la zona de subducción y/o asimilación de corteza cortical durante el ascenso del magma (James y Murcia, 1984). Una evidencia es clara cuando se comparan rasgos geoquímicos de lavas de los volcanes Puracé y Doña Juana de las lavas de los volcanes Galeras, Cumbal y Azufral (Figura 2), los cuales exhiben variaciones, reflejando una corteza continental debajo de los dos primeros centros y una corteza de afinidad oceánica debajo de los tres últimos volcanes. (Droux y Delaloye, 1996).

Estudios recientes de geoquímica isotópica sistemática en el arco volcánico del suroccidente colombiano, identifican que la fuente de los magmas que alimentan las cámaras magmáticas asociadas al proceso de volcanismo, proviene de la deshidratación de la placa oceánica subducente, que posteriormente interactúa con la corteza inferior donde adquieren su señal geoquímica, y luego es modificado por los procesos de asimilación, cristalización fraccionada (AFC) y/o mezcla, asimilación, almacenamiento, hibridación (MASH) procesos que se dan durante el ascenso a niveles más someros (Marín-Cerón, 2007).

Para la zona de la CVLC se identifica homogeneidad en los isótopos de Sr y Nd indicando una misma fuente magmática (Marín-Cerón, 2007). Esto es apoyado por estudios detallados de tomografía sísmica de atenuación de ondas coda Qc en el volcán Puracé, que permitió la identificación debajo de la CVLC una primera cámara magmática localizada entre 8 y 10 km de profundidad y una segunda cámara a 15 km de profundidad. (Barreto, 2004).

En la zona de la Cadena volcánica de los Coconucos, se han realizado investigaciones enfocadas a la caracterización de la secuencia volcánica y se ha encontrado registro de volcanismo que tuvo lugar en el Plioceno Pleistoceno que posiblemente representa la fuente de las ignimbritas de la Formación Popayán y Guacacayo, en los departamentos de Cauca y Huila respectivamente, reportado por Monsalve, (2000). Este autor, describe un volcanismo de carácter efusivo asociado a la Caldera de Chagartón, con registros que datan de 2.5 Ma. Posteriormente, se define un periodo de construcción de los centros eruptivos de Pre-Puracé y Puracé, respectivamente (Monsalve y Pulgarín, 1993).

Es importante mencionar que en los alrededores de la cadena volcánica, se encuentran indicios morfológicos y litológicos de la existencia de otras estructuras volcánicas aún no definidas e identificadas previamente (Pulgarín, comunicación oral), las cuales habrían aportaron para la formación de los

depósitos de flujo piroclástico y/o flujos de lava del sector, en especial el sector del Río San Francisco, debido a su cercanía a éstos posibles centros efusivos.

3.3 Generalidades sobre las rocas volcánicas

Para la definición y caracterización de la secuencia volcánica del río San Francisco, se siguieron los lineamientos planteados por varias investigaciones, en las cuales, se citan: Sparks et al., 1973; Wright y Walker, 1981a; Fisher y Schmincke, 1984, Wilson, 1985; Wilson y Walker, 1985; Cas y Wright, 1987; De Silva y Francis, 1989, Kamata et al., 1997; Branney y Kokelaar, 2002; Roobol et al., 1987; Michol et al., 2007.

En este trabajo, una unidad de flujo representa el depósito de un simple flujo piroclástico, limitado en base y techo y que puede presentar grandes variaciones en espesor. En general, se acumulan muchas unidades de flujo durante el curso de una misma erupción volcánica de acuerdo a lo planteado por Sparks y Walker, 1973.

3.3.1 Coladas de lava

Las coladas de lava presentan grandes variaciones que dependen principalmente de la composición del magma original y que controla directamente la geometría, morfología, estructura interna y movilidad de la colada lávica (Fisher y Schmincke, 1984).

En este trabajo, un depósito piroclástico se refiere a aquel formado por la fragmentación de magma y rocas por una explosión volcánica. Tres clases de componentes son encontrados en un depósito piroclástico: fragmentos vesiculados, cristales y líticos. (Wright y Walker., 1981b).

La pómez es un producto común en la erupción explosiva que involucra magma viscoso y representan fragmentos vesiculados de composición riolítica a andesítica (Sparks et al., 1973).

El termino *shard* vítreo hace referencia a partículas tamaño ceniza (Tabla 3), que resultan de la fragmentación de pómez vesiculada. El termino escoria es usado para describir fragmentos vesiculados de composición basáltica y andesita basáltica, los grandes fragmentos tienden a tener una textura en superficie o cobertura de corteza de pan. Los fragmentos de pómez y escoria pueden presentar una gran variedad de tamaños, incluso dentro del mismo depósito piroclástico (Sparks et al., 1973).

La zonación composicional evidenciada en los fragmentos de pómez dentro de un depósito piroclástico, representa la secuencia inversa de la zonación de la cámara magmática (Wright y Walker, 1977, 1981). Es decir, en el depósito piroclástico se observan pómez riolíticas hacia la base y pómez dacíticas y andesíticas hacia el techo del depósito, contrario a lo esperado en una cámara magmática..

Tabla 3 Tamaños de grano para fragmentos piroclásticos. Según Wright, 1980)

Tamaño de grano (mm)	Fragmento piroclástico
256	Gruesa Bloques y bombas
64	Fina Lapilli
2	Gruesa Ceniza
1/16	Fina

3.3.2 Depósitos piroclásticos

Los depósitos piroclásticos, son generados, entre otros procesos, a partir del colapso de una columna eruptiva y presentan una gran variedad dependiente de las condiciones del emplazamiento (Cas y Wright, 1987). Presentan una alta variación en los componentes que están reflejando las condiciones tanto del evento explosivo que generó los materiales, como en las circunstancias que controlaron el flujo durante el emplazamiento. (Sparks y Walker., 1973)

3.3.2.1 Componentes de los depósitos piroclásticos

Fragmentos magmáticos o juveniles

Representan fragmentos del magma que dio origen a la erupción volcánica, por lo que éstos, exhiben características que permiten reconstruir el estado de la cámara magmática previa a la erupción, así como parte del episodio volcánico. Dos de las características más importantes son la vesicularidad y la cristalinidad (Sparks et al., 1973):

La vesicularidad define el grado de espacios vacíos dentro del fragmento, varían desde densos (fragmento de lava) hasta vesiculado (pómez y escoria) Fisher y Smincke, 1984.

La cristalinidad es definida por la presencia de cristales, por lo que se encuentran fragmentos juveniles vítreos o con ausencia de cristales o por lo contrario presentar abundantes cristales (Wright y Walter, 1981a). Estos materiales juveniles con baja cristalinidad, están constituidos por material vítreo sin estructura interna y son denominados shards, y definen las partículas de vidrio resultado de la fragmentación de un magma con bajo grado de cristalinidad. El vidrio es un material amorfo, producto de la rápida solidificación de partículas magmáticas. Durante erupciones de grandes magnitudes, el material juvenil se deposita en condiciones de temperatura altas, teniendo así

un comportamiento plástico. Por la naturaleza de la erupción, los depósitos son enterrados rápidamente debido a la rápida acumulación de material proveniente de la erupción, de esta forma la carga litostática, producto de esta acumulación, hace que los shards se pueden deformar, aplanarse y soldarse (Wright y Walker, 1981b)

Dependiendo de las propiedades físicas de los shards, que estarían reflejando las condiciones de cristalización del magma durante la erupción volcánica, Heiken y Wohletz, 1987, definieron cinco tipos de shards:

- Tipo 1: Bloques con superficie curvilínea y baja vesicularidad.
- Tipo 2: Vesicular con formas irregulares
- Tipo 3: Formas convolutas, menores a 63 mm, superficie irregular, formada por la unión de muchas partículas
- Tipo 4: Esféricas aglutinadas
- Tipo 5: Aplanadas

Fragmentos líticos

Hacen referencia a los componentes densos de un depósito piroclástico y pueden ser de tres tipos de acuerdo a Wright y Walker., 1981b): Fragmentos no vesiculados magmáticos juveniles (cognatos), fragmentos de la roca encajante (accesorios) y/o clastos recogidos durante el transporte (accidentales).

La composición y propiedades del fundido, controlan la evolución del magma y permite la formación de cristales, definiendo en gran parte el estilo de la erupción y por ende el grado de vesicularidad de los fragmentos juveniles, que controlan la textura de la roca formada por el depósito piroclástico (Sparks et al., 1973)

La textura agrupa las características físicas de los componentes y es un reflejo de las condiciones de la fuente, modo de fragmentación y características durante el transporte y la depositación (tamaño de grano, redondeamiento, selección, forma y fábrica) Sparks y Walker, 1973.

Dentro de una unidad de flujo, los fragmentos de pómez pueden estar inversamente gradados mientras que los clastos líticos pueden mostrar gradación normal (Sparks y Walter, 1973).

Algunas veces contienen fumarolas o pipes y madera carbonizada.

Los depósitos gruesos y de pequeño volumen se encuentran rellenando valles, mientras que depósitos de gran volumen pueden formar grandes depósitos ignimbríticos. Algunas veces, pueden mostrar una o más zonas de soldamiento. (Sparks y Walter, 1973; Wright y Walker, 1981b).

Gradación lateral, es controlada para los grandes clastos líticos que son arrastrados por el flujo piroclástico y dadas condiciones topográficas locales serán segregados del flujo piroclástico. Esta separación depende de: a) tamaño y densidad de los clastos y b) densidad o viscosidad de la matriz fluidizada por los finos.

De acuerdo a la recopilación realizada por Walker, 1981; Fisher y Smincke, 1984; Cas y Wright, 1987; hay tres tipos de depósitos piroclásticos.

3.3.2.2 *Clases de depósitos piroclásticos*

Deposito piroclástico de caída

Estos son producidos cuando el material producto de la explosión volcánica es eyectado desde el vent hacia la atmósfera, produciendo una columna eruptiva en forma de pluma conectiva. La pluma se expande y los piroclastos caen por efectos de la gravedad, el viento, variando la distancia de la fuente. La geometría y el tamaño del depósito reflejan la altura de la columna eruptiva la

velocidad y la dirección del viento atmosférico. Los fragmentos más grandes son lanzados con trayectoria balística, y no serán afectados por el viento. Otras partículas muy finas son elutriadas del moviente flujo piroclástico, formando nubes de ceniza. Son depósitos bien seleccionados, con estratificación plana interna o laminación debido a las variaciones en el comportamiento de la columna eruptiva. En la Figura 5 se presenta una ceniza de caída reciente asociada a la actividad actual del volcán Puracé.



Figura 5 Ceniza de caída depositada sobre una brecha de lava asociada a la estructura de Chagartón. Obsérvese la disposición de la ceniza concordante con la topografía

Depósitos de flujo piroclástico

Los flujos piroclásticos involucran el movimiento de piroclastos controlados por la gravedad, a altas temperaturas, con alta concentración gas/ sólidos y pueden estar parcialmente fluidizados. Topográficamente controlados, llenando valles y depresiones (Figura 6). En estructura, son generalmente masivos y de pobre selección, gradación de los clastos más grandes, la pobre selección es atribuida a la alta concentración de partículas y no turbulencia. La superposición de un número de unidades de flujo puede dar la apariencia de estratificación interna. Aunque ocasionalmente una laminación difusa es observada dentro de cada unidad de flujo, la cual es debido a la cizalla interna desarrollada durante el transporte. Se emplazan a altas temperaturas, una prueba de esto es: a) madera carbonizada, b) coloración rojiza, debido a la oxidación térmica del hierro, o color oscuro debido a la cristalización de

microlitos finos diseminados de magnetita u otro mineral de hierro que se oxida a hematita produciendo un color rosado. c) zona de soldamiento y d) magnetismo térmico remanente.

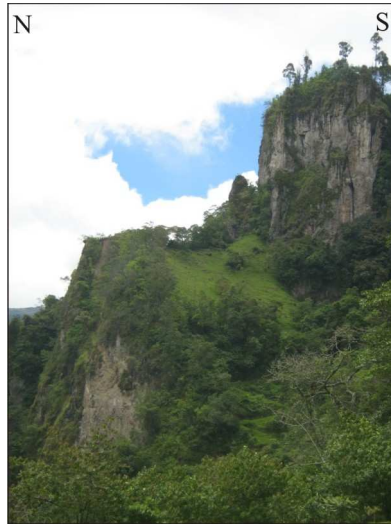


Figura 6 Depósito de flujo piroclástico rellenando valle del río San Francisco, hacia el centro se observa zona altamente soldada, que presenta mayor resistencia a los efectos erosivos.

Depósito de oleada piroclástica

Se transporta de manera turbulenta, con baja concentración de partículas. Son depósitos topográficamente controlados y tienden a acumularse en las depresiones. Muestran estratificación cruzada de bajo ángulo, forma de dunas y son enriquecidos en líticos densos y cristales.

Durante la erupción formante de un flujo piroclástico, muchas de las partículas fragmentadas del magma eyectado explosivamente, pueden no ser incluidos en el resultante flujo piroclástico. Hay (1959), mostró que un enriquecimiento en cristales tomo lugar en un pequeño flujo piroclástico andesítico basáltico de una erupción de Soufrière St Vincent y el autor atribuye ésto a la selectiva perdida de ceniza vítrea. Walker (1972), Sparks y Walker (1977) han demostrado que el enriquecimiento en cristales es una típica característica de ignimbritas y debe reflejar la cantidad de la perdida sustancial del componente vítreo del

magma original. Mucha parte de esta ceniza es elutriada del flujo en movimiento por corrientes de gas que salen del flujo.

3.3.2.3 Características de los depósitos piroclásticos

Los depósitos piroclásticos están asociados a procesos explosivos magmáticos donde los volátiles disueltos en el magma no solo afectan la viscosidad y la temperatura de cristalización y fusión, sino también la naturaleza de las explosiones volcánicas. El principal componente volátil es el agua y CO₂. La solubilidad de los gases es controlada por la presión de confinamiento y decrece con el ascenso del magma. (Sparks y Walker, 1973).

La erupción volcánica puede ser desencadenada por el fenómeno de mezcla de magmas y la evidencia en el registro es que la pómez contiene laminado lineal de componentes siálico y máfico. En esencia, dos magmas a diferentes temperaturas y con diferente contenido de volátiles entran en contacto en una cámara magmática sub-superficial. (Cas y Wright, 1987). Entre las causas de la erupción se encuentran:

La adición de un volumen de magma a una cámara puede causar que la presión de fluido en la cámara exceda el mínimo del esfuerzo principal y la deformación de la roca encajante, fracturando el techo y liberando magma. Si la combinación de volátiles de los magmas es suficientemente alta, entonces, la liberación de la presión de confinamiento conlleva a la exolución y crecimiento de burbujas para producir una erupción explosiva.

Sí un magma riolítico con un contenido moderado de volátiles, es inyectado por un magma básico desde abajo, el supercalentamiento de la parte baja, induce al ascenso de este magma, incrementando la presión de vapor a causa de los volátiles.

Una unidad de flujo, es el producto de un simple flujo piroclástico. Una erupción volcánica explosiva, pueden tener un sinnúmero de flujos piroclásticos (Fisher y Schmincke, 1984). Una ignimbrita esta compuesta por un compendio de unidades de flujo de la misma secuencia eruptiva. Cada unidad, representa variaciones en las condiciones de la explosividad del evento volcánico (Sohn y Chough, 1989)

Las coladas de lavas andesíticas típicamente ocurren como domos y pequeños flujos blocosos, presentando alta viscosidad durante su emplazamiento, debido al alto grado de cristalización en el momento de la extrusión. (Sigurdsson, 1981 en Cas y Wright, 1987), describe el frente del flujo de una lava en el volcán Soufrière St Vincent (Figura 7), como un lóbulo columnar rodeado por una capa gruesa irregular de lava escoriácea y brechosa. Internamente es usualmente masiva con fracturamiento por enfriamiento y con frecuencia desarrollan estructura de capas sucesivas.

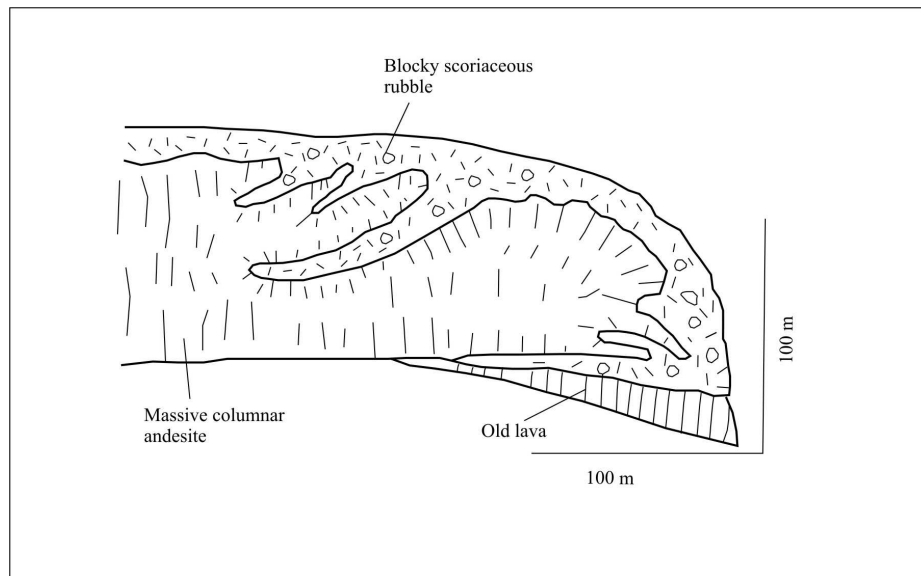


Figura 7 Sección frontal de un flujo de lava andesítico expuesto en el cráter norte de Soufriere St Vincent (Sigurdsson, 1981 en Cas y Wright, 1987)

La composición petrográfica de la matriz de la brecha co-ignimbrítica, es similar a la ignimbrita generada por la explosión volcánica, mostrando un emplazamiento y acumulación sincrónica de ambas fases; así la brecha co-ignimbrítica, estaría representando la fase gruesa de la ignimbrita (Branney y Kokelaar, 2002).

El desarrollo de estructura columnar, dentro de un depósito ignimbrítico, representa las fracturas desarrolladas por las contracciones del material durante la fase de enfriamiento, posterior al emplazamiento (de Silva y Francis, 1989)

La intensidad del soldamiento es controlada por factores que incluyen: reología del fundido, temperatura de emplazamiento, contenido de volátiles, masa de flujo durante la depositación, historia de enfriamiento, espesor del depósito, permeabilidad, distribución y tamaño de las partículas (Sparks et al 1999; Quane et al, 2005)

En los depósitos de ignimbritas, la pómez se deforma más fácil y con mayor intensidad que la matriz. Lo anterior, es por la baja viscosidad efectiva debida a la alta porosidad y por lo tanto alto contenido de agua. Los fragmentos de pomez colapsan hasta forman fiamme al alcanzar más viscosidad que la matriz que la rodea; subsecuentemente la deformación es preferencialmente absorbida por la matriz más que por las fiamme. (Ragan y Sheridan, 1972; Sheridan y Ragan, 1976).

La coloración marrón, el endurecimiento del depósito, fase mineral dentro de la matriz, son evidencias directas de la cristalización de la fase vapor dentro de la ignimbrita (Sparks et al., 1999)

El abundante contenido de líticos dentro de una ignimbrita o del depósito de flujo piroclástico pumítico, afecta el desarrollo del soldamiento (Eichelberger y Koch, 1979 En Cas y Wright, 1987)

Las brechas líticas masivas son una litofacie proximal de los depósitos pumíticos (Sparks, 1976; Wilson y Walker, 1982; Walker, 1985; Roobol, et al., 1987).

4 RESULTADOS

A partir de: fotointerpretación detallada, trabajo de campo con levantamiento de columnas estratigráficas, análisis de laboratorio y sumado al análisis de la información proveniente de estudios anteriores; se elaboraron los mapas de geología y geomorfología en los alrededores del río San Francisco. Como resultado principal, se plantea la columna estratigráfica volcánica generalizada para el sector, con el planteamiento de la secuencia volcánica del río San Francisco, la cual esta conformada por seis unidades que representan algunos de los eventos eruptivos registrados en la zona.

4.1 Cartografía geomorfológica

Las formas de terreno del sector, están asociadas a un ambiente de tipo agradacional, relacionado al emplazamiento de los diferentes depósitos generados por la actividad volcánica del sector.

La actividad volcánica desde el Neógeno hasta el presente, ha estado intercalada con períodos de silencio o quietud volcánica. Durante éstos últimos, los procesos morfodinámicos, estuvieron controlados por erosión, remoción y depositación de material detrítico; lo que permitió la generación de cañones y escarpes erosivos. Lo anterior, es producto de la importante interacción entre el levantamiento regional al que están sometidos los Andes y los procesos denudacionales que modifican las geoformas iniciales.

Importantes escarpes que alcanzan hasta 60 m de espesor, han sido esculpidos en ignimbrita, como lo es el cañón del río San Francisco, donde se observan laderas verticales, rectas de baja incisión y con unas condiciones de endurecimiento importantes, evidenciado por la estabilidad de las mismas.

Algunos escarpes menores, se desarrollan sobre depósitos de lavas que definen su forma de lóbulo depositacional, bordeados por un escarpe conservado.

En este aparte se describen las 14 unidades geomorfológicas definidas de acuerdo a los rasgos morfológicos predominantes en cada una de ellas. Se sigue un orden cronológico, inferido a partir de la evolución del paisaje, de acuerdo a la génesis de las diferentes unidades, iniciando con la más antigua (Ver mapa geomorfológico). La edad relativa de las unidades, fue determinada a partir de las características evolutivas desarrolladas dentro de ella, como lo es la formación de escarpes y la forma e intensidad de la evolución del drenaje. Además, por la relativa corta edad de las unidades litológicas, se facilita definir las geoformas hasta las zonas fuentes.

4.1.1 Montañas de vertientes rectas (Mvr)

Se localizada sobre la margen derecha del río San Francisco, en la parte alta de la cuenca, en los alrededores de la Vereda de Peña Cuaré.

Esta unidad se caracteriza por la presencia de montañas de cimas semiredondeadas, vertientes largas y rectas de pendiente alta, con patrón de drenaje subparalelos de baja disección y alta incisión, desarrollando cañones en forma de v cerrada y estrecha. En general, se desarrolla sobre coladas de lavas y en menor proporción sobre depósitos de flujo piroclástico (Figura 8).



Figura 8 Vista al norte desde sector Patía, se observan montaña de vertientes rectas sector de Peña Quinta linda.

4.1.2 Cañón del río Cauca (Crc)

Esta unidad esta representada por los escarpes del río Cauca desde el extremo suroeste del área de estudio hasta la altura del sector Patico.

Se caracteriza por presentar vertientes largas y rectas, con fuerte inclinación, drenaje subparalelo de baja incisión y disección media. Las rocas sobre las cuales se esculpe esta unidad, están asociadas a depósitos de flujos de lavas y depósitos piroclásticos, y en algunos sectores sobre pequeñas ventanas del basamento rocoso, representado en el sector por basaltos de piso oceánico del Complejo Quebradagrande.

4.1.3 Cañón del río San Francisco (Crsf)

Esta unidad comprende el área de escarpes alrededor del río San Francisco, desde el extremo oriental del área de estudio, hasta el sector donde entrega las aguas al río Cauca. Bordea el cauce del río.

Las vertientes en esta unidad son largas y rectas, con fuerte inclinación y el drenaje es subparalelo con disección media. El basamento sobre el que se desarrolló esta unidad esta representado por diversas unidades litológicas: Ignimbrita de Coconuco, Depósitos de flujo de ceniza y escoria, ceniza y pómez y flujos de lavas (Figura 9).



Figura 9 Vista hacia el occidente desde sector Tabío, cañón del río San Francisco. Obsérvese sus vertientes escarpadas.

4.1.4 Cañones secundarios (Cs)

Esta unidad agrupa los cañones de los ríos Vinagre y Anambio, afluentes ambos del río San Francisco por su margen izquierda a la altura de la población del Puracé.

Exhiben vertientes largas y rectas en su mayoría escarpadas, con un patrón de drenaje subparalelo de disección baja. Esta unidad ha sido desarrollada sobre flujos de lavas (Figura 10).

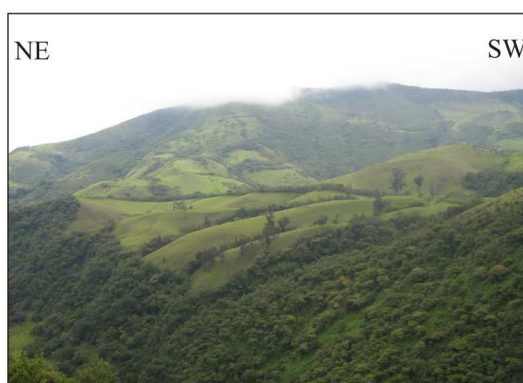


Figura 10 Vista de la vertiente sur del río Anambio. Obsérvese el escarpe que limita las vertientes de baja disección.

4.1.5 Cerro Pusná(Cp)

El cerro Pusná es una protuberancia en la topografía (Figura 11), que resalta sobre la margen derecha del río San Francisco, en los alrededores del sector Tabío y Vereda Peña Cuaré.

Esta unidad se caracteriza por ser un cerro alto, de vertientes alargadas de longitud media a alta con pendientes moderadas y un drenaje de incisión media. La constitución litológica del cerro es compleja, exhibiendo rocas tipo hipoabisales con avanzado grado de cristalización y depósitos de flujo de cenizas y bloques. Los rasgos estructurales, sugieren un control tectono-estructural en las laderas, evidenciado por lineamientos localizados hacia la base del mismo.



Figura 11 Vista al oriente desde Mina Conexpe al Cerro Pusná. Vertientes moderadas con incisión media

4.1.6 Lomerío medio (Lm)

Se localiza en el extremo norte de la zona de estudio, sobre las estribaciones norte del Cerro Pusna.

Esta unidad se caracteriza por la presencia de lomas medias con crestas redondeadas a subredondeadas, con vertientes rectas y pendientes de suaves a moderadas. El patrón de drenaje es subparalelo, de alta incisión y disección moderada, favoreciendo el desarrollo de valles en forma de v cerradas formando cañones. Esta unidad se desarrolla sobre coladas de lava. (Figura 12)

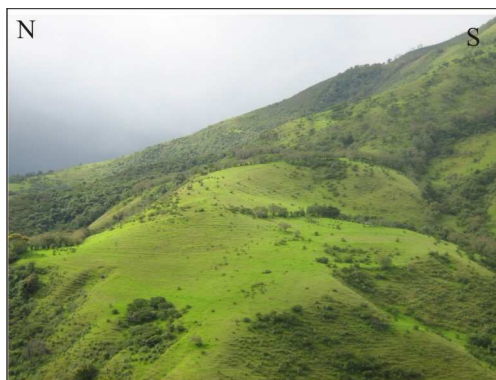


Figura 12 Vista al Norte desde el cerro Pusná. Lomerío medio de cimas redondeadas.

4.1.7 Vertientes largas y rectas (Vlr)

Esta unidad se localiza sobre la margen derecha del río San Francisco en los alrededores de la llegada al río Cauca, abarcando la cuenca de la quebrada Carpintería.

Exhibe vertientes largas y rectas, de pendientes altas a moderadas y de cimas agudas. El drenaje es subparalelo, con diferentes grados de incisión y disección. Se desarrolla sobre depósitos de flujos de lavas y depósitos piroclásticos (Figura 13). }

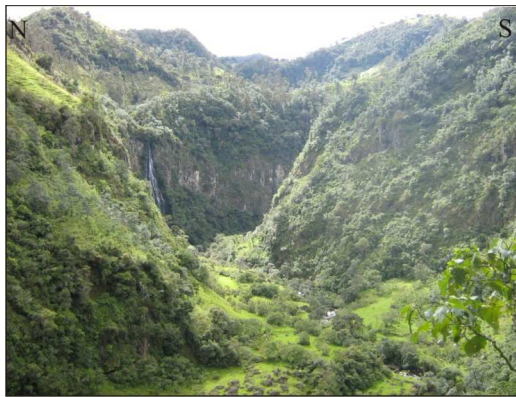


Figura 13 Vista hacia el sector de Quintana desde el Cerro Pusná, donde se observan las vertientes largas y rectas.

4.1.8 Vertientes de alta disección (Vad)

Se localiza sobre la margen izquierda del río Cauca en los alrededores de la vereda El Carmelo cerca de la población de Coconuco.

Dentro de esta unidad geomorfológica, resalta la presencia de lomas altas con cimas redondeadas, de vertientes cortas con pendientes moderadas de forma convexas. El drenaje es subdendrítico, de alta disección y baja insición, lo que origina valles en forma de v abierta.

Esta unidad se desarrolla sobre depósitos de flujos de ceniza y bloques (Figura 14)



Figura 14 Vista hacia el Sur. Vertientes de alta disección cerca de la población de Coconuco.

4.1.9 Vertientes de baja disección (Vbd)

Se localiza sobre la margen derecha del río Cauca en los alrededores del río San Andrés, cerca de la población de Coconuco.

Se caracteriza por la presencia de lomas altas con cimas agudas, de vertientes cortas con pendientes moderadas y de forma convexas. El drenaje es subdendrítico, de baja disección y alta insición, lo que origina valles en forma de v abierta y cerradas.

Esta unidad se desarrolla sobre depósitos de flujos de ceniza y bloques y coladas de lava. (Figura 15)



Figura 15 Vista hacia el sur, cercanías el río San Andrés, Vertientes de baja disección.

4.1.10 Valle de la quebrada Ambiro (Vqa)

Se localiza sobre la margen derecha del río San Francisco, sobre las estribaciones suroccidentales del Cerro Pusná.

Se caracteriza por una superficie suave, con un patrón de drenaje subparalelo a dendrítico de incisión y disección baja, lo que genera valles en forma de V abierta. Es un valle colgado, que presenta un desnivel con el río San Francisco de aproximadamente de 100 m (Figura 16). Se desarrolla sobre depósitos de flujo piroclásticos.



Figura 16 Vista al sur desde el cerro Pusná. Valle de la quebrada Ambiro con disección baja. .

4.1.11 Colinas bajas de cimas redondeadas (Cbcr)

Se localizan en el extremo suroriental del área de estudio, sobre la margen izquierda del río Cauca cerca de la hacienda Cristales y vereda Tabío.

Exhibe colinas bajas de cimas redondeadas en su mayoría, presenta vertientes cortas y rectas de pendientes moderadas; el drenaje es subparalelo, con una incisión media a baja y una disección media. Esta unidad se desarrolla sobre coladas de lavas (Figura 17).

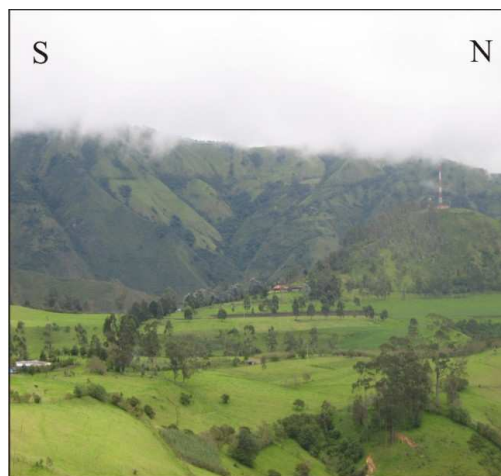


Figura 17 Colinas bajas de cimas redondeadas. Vista hacia el sector de Ispala.

4.1.12 Superficie ondulada (So)

Esta unidad se localiza en la quebrada Ispala y en la margen izquierda del río Anambio. Se caracteriza por presentar un patrón de drenaje paralelo, con incisión y disección baja; la superficie ondulada, desarrolla vertientes cortas y está construida sobre depósitos de flujo piroclásticos y cenizas de caída (Figura 18)

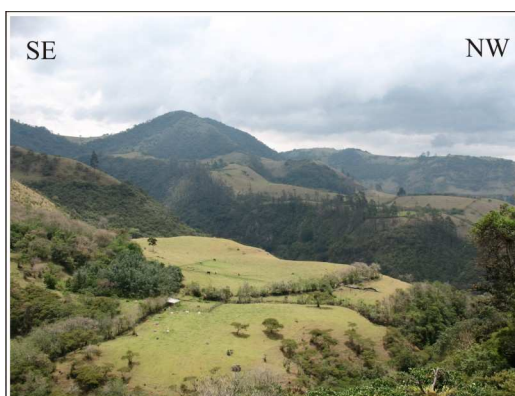


Figura 18 Vista al oriente desde vereda Ispala, en primer plano la superficie ondulada en la quebrada Ispala.

4.1.13 Superficie de depositación de ladera (Sdl)

Esta unidad se localiza sobre la margen derecha del río San Francisco a la altura de la vereda Peña Cuaré.

En general son superficies de baja disección e incisión, que presentan una pendiente moderada a baja con inclinación hacia el drenaje principal. Se desarrollan sobre depósitos de flujo piroclástico (Figura 19).

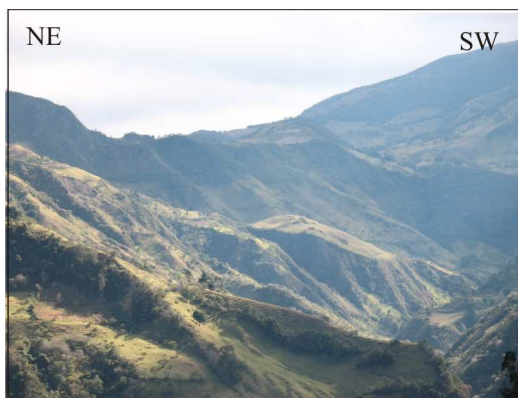


Figura 19 Superficie de depositación de ladera. Sector de Pululó.

4.1.14 Superficie de depositación aluvial (Sda)

Esta unidad abarca las terrazas aluviales de los ríos San Francisco y Cauca. Son superficies planas y homogéneas. En general exhiben poca diferencia topográfica respecto al nivel base de los ríos, sin desarrollo de vertientes; el patrón de drenaje es subparalelo, la incisión es mínima y la disección es baja, en general están sometidas a modificaciones debido a la ocurrencia de eventos súbitos de avenidas aluviotorrenciales (Figura).



Figura 20 Vista aguas arriba río San Francisco, sobre la margen derecha se observa superficie de depositación aluvial

4.2 Secuencia volcánica río San Francisco

A continuación se presentan las seis unidades volcánicas que conforman la secuencia volcánica del río San Francisco. De cada una, se describe los componentes, variaciones laterales, características físicas, petrográficas y geoquímicas. La cartografía geológica de superficie se presenta en el mapa geológico del área de estudio.

4.2.1 Ignimbrita de Coconuco

Esta unidad, conforma la base del volcanismo en el área de estudio y que en algunos sectores esta depositada sobre las rocas del basamento. Los basaltos y esquistos, constituyen la base sobre la cual se ha construido el volcanismo actual, Kuroda y Paris (1978).

Aflora sobre ambas márgenes del río San Francisco, presentándose mejor expuesta en los siguientes sectores: camino de las Chozas, vereda Pululó y Tabío, Puente seco, Peña Negra, cerro Pusná, (ver mapa geológico)

Esta ignimbrita presenta variaciones laterales y verticales a lo largo del río San Francisco, sobre un área que cubre aproximada 48 km². En gran parte, esta cubierta por depósitos de ceniza y por coladas de lavas, más recientes, por lo que el área superficial se ve reducida a menos de 15 km².

Esta unidad fue cartografiada por Torres et al, (1992) como Miembro Julumito de la Formación Popayán y descrita como depósitos de flujo e ignimbrita con presencia de evidencias de soldamiento. Las variaciones texturales diferenciables a escala de afloramiento, son: zonas con alto contenido de fragmentos líticos, otras con empobrecimiento en líticos y alto contenido de cristales, así como variaciones en la intensidad del soldamiento.

En este trabajo se designa como ignimbrita de Coconuco, al depósito de flujo piroclástico pumítico, que cubre gran parte del sector noroeste del volcán Puracé y cuyos componentes y variaciones, están expuestos a lo largo del río San Francisco. De acuerdo a los cambios encontrados en el depósito piroclástico, se plantea la definición de dos fases de la ignimbrita de Coconuco.

La fase cristalina exhibe alto contenido de cristales y cristaloclastos y un empobrecimiento en los fragmentos líticos, algunos fragmentos de pómez tamaño lapilli y bloques dentro de una matriz de ceniza fina pumítica (Figura 21).



Figura 21 Fase cristalina de la Ignimbrita de Coconuco. Alto contenido de material pumítico.

Una fase brecha co-ignimbrítica que exhibe un alto contenido de fragmentos líticos dentro de una matriz de ceniza fina a gruesa pumítica y que presenta endurecimiento a nivel del afloramiento por cristalización de la fase vapor en algunos sectores. Los fragmentos líticos son tamaño lapilli y bloques, en su mayoría (Figura 22).



Figura 22 Fase brecha co-ignimbrítica Ignimbrita de Coconuco. Bloques pumíticos y líticos.

Este es un depósito endurecido que muestra un máximo espesor observado de 160 m, compuesto por fragmentos juveniles de pómez tamaño lapilli y bloques dentro de una matriz de ceniza pumítica que varía en tamaño desde fina a gruesa. En general, es matriz-soportado con una relación promedio de matriz-bloques de 70-30. Los bloques de pómez exceden los 15 cm de diámetro y los

fragmentos líticos son andesíticos de color gris oscuro, algunos exhibiendo textura porfirítica. La matriz esta compuesta en su mayoría por fragmentos de pómez y cristaloclastos de plagioclasa, biotita, piroxeno y hornblenda subordinada. En algunos sectores se da la presencia de madera carbonizada (Figura 24a), permitiendo inferir las altas temperaturas durante el emplazamiento del depósito. En general es de aspecto masivo y pobre selección, con gradación normal de los fragmentos líticos e inversa de los fragmentos pumíticos, con una coloración café claro a blanco (Figura 23a). Los bloques presentan formas subredondeadas a angulosos en la fase brecha co-ignimbrita.

A nivel de afloramiento, presenta desarrollo de estructura columnar en algunos sectores, lo que permite definir zonas densamente soldada dentro de la unidad. (Figura 24b). El grado de soldamiento disminuye hacia los bordes y es evidenciado por el cambio en el aspecto del afloramiento, tornándose masivo y solo es definible el soldamiento por la leve deformación que presentan algunos bloques de pómez (Figura 23b) A escala microscópica se observa deformación de algunas vesículas dentro de los fragmentos de pómez y/o matriz. (Figura 23c).

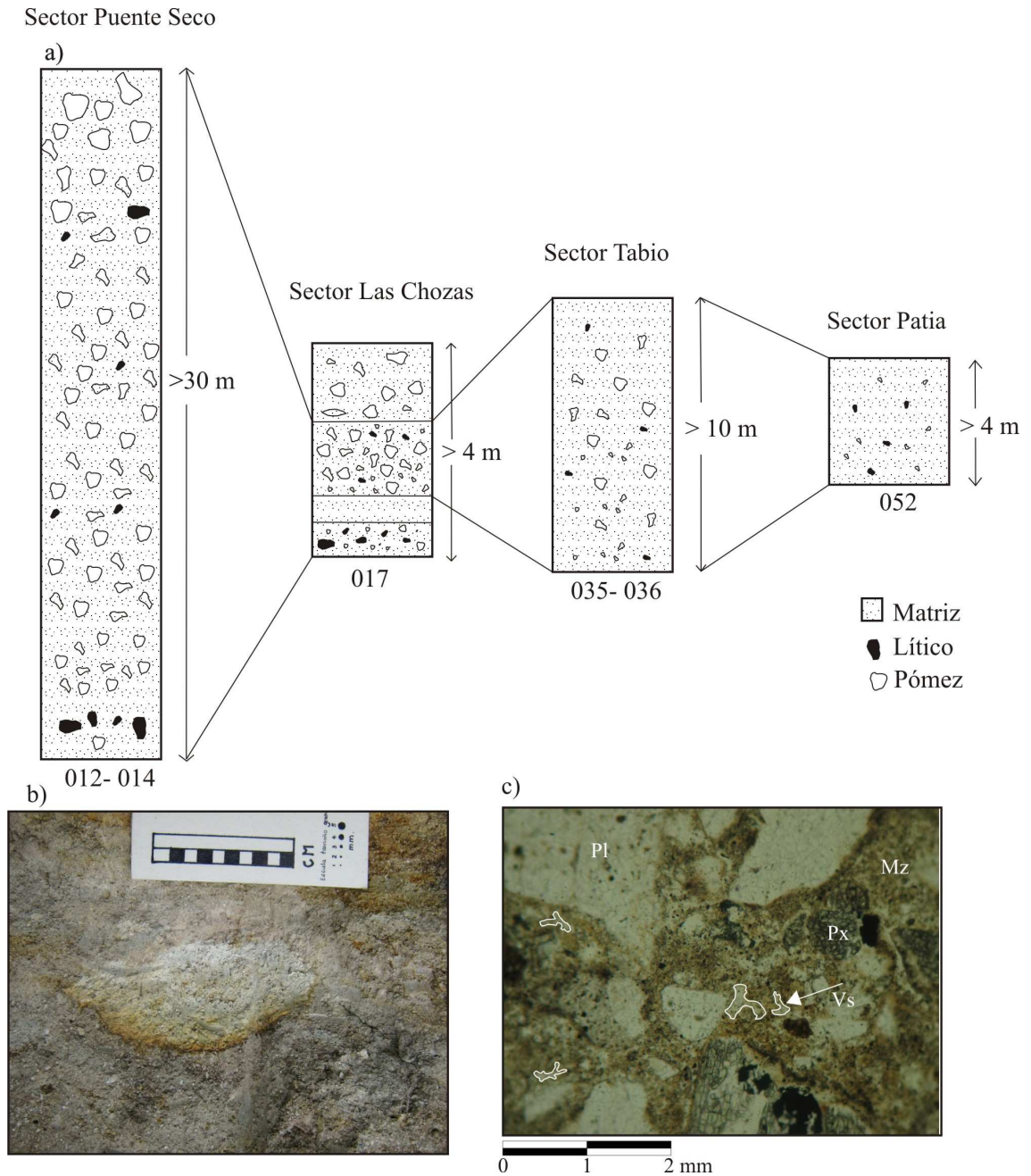


Figura 23 a) Ignimbrita de Coconuco con variaciones laterales y verticales. Gradación inversa en los bloques de pómez y gradación normal leve de los fragmentos líticos, redondeados, aspecto masivo, matriz de ceniza fina, pumítica. Secciones medidas en las estaciones 012-014, 017, 035 (ver mapa geológico) b) Fragmento de pómez con deformación (fiamme) dentro de la ignimbrita de Coconuco c) Deformación a nivel petrográfico de vesículas dentro de las pómez de la ignimbrita de Coconuco ver flecha de color blanca. Pl: Plagioclasa, Vs: Vesícula, Px: Piroxeno, Mz: Matriz.

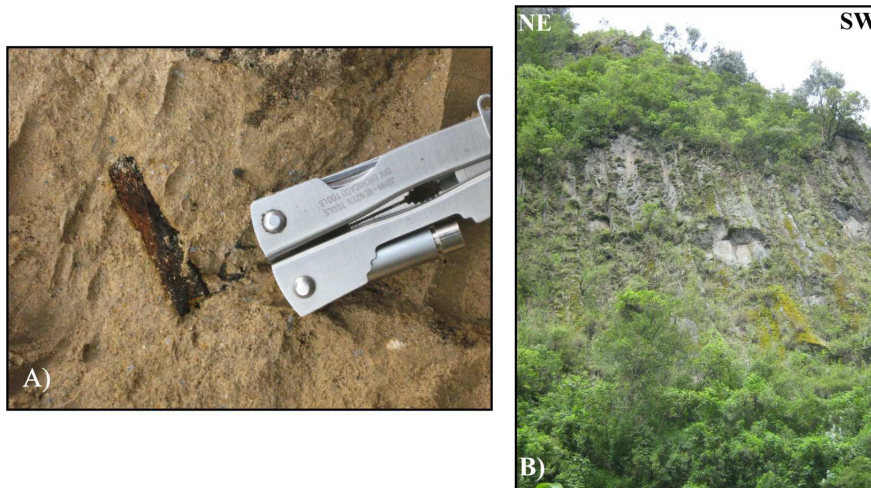


Figura 24 a) Fragmentos de madera carbonizada dentro de la ignimbrita de Coconuco b) Zona densamente soldada evidenciada por estructura columnar.

4.2.1.1 Fase brecha co-ignimbrita

Es un depósito con abundantes bloques líticos andesíticos (Figura 25), dentro de una matriz tamaño ceniza fina a gruesa con alto contenido de cristales de plagioclasa y hornblenda. Los bloques alcanzan 1 m de diámetro y la relación matriz-bloques es de 70-30, muestra un color café claro a rosado. En general es de aspecto masivo (Figura 25a), con mala selección, monolítico, algunos bloques con evidencias de alteración hidrotermal y no presenta soldamiento. Los bloques en su mayoría son cognatos, algunos accidentales, generalmente angulosos a subredondeados, que presentan remanentes de “exfoliation rinds” y “rock flake” con lados curvilíneos y en forma de cuña (Figura 25b). Estas características sugieren esfuerzos desarrollados por rápida contracción térmica o expansión durante el emplazamiento de la ignimbrita.

En algunos sectores, presenta endurecido por cristalización de la fase vapor, que le da un aspecto de roca coherente (Figura 25b). Lo anterior, es evidenciado por la presencia a nivel microscópico de un material particulado, fino, asociado a la fase mineral formada durante el proceso de cristalización de la fase vapor. Este “polvo” cementa la matriz y rellena las cavidades de los fragmentos vesiculados (Figura 25c). Igualmente, le da a la roca una coloración café rojiza a nivel microscópico. Exhibe zonación composicional de una base rica en líticos a un techo rico en pómez.

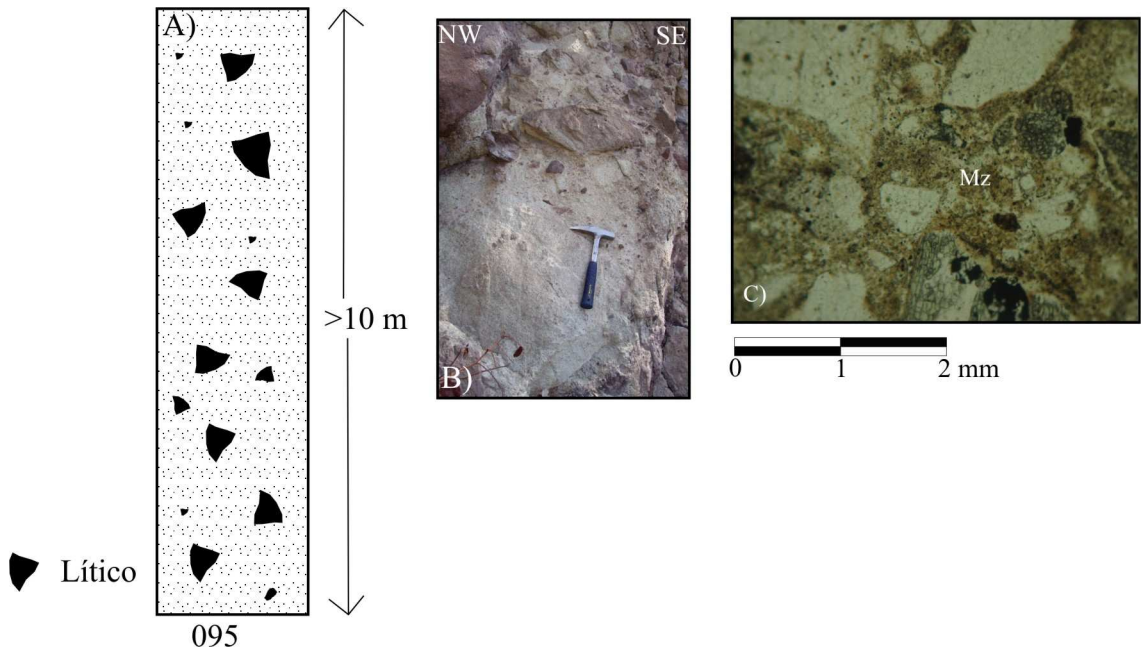
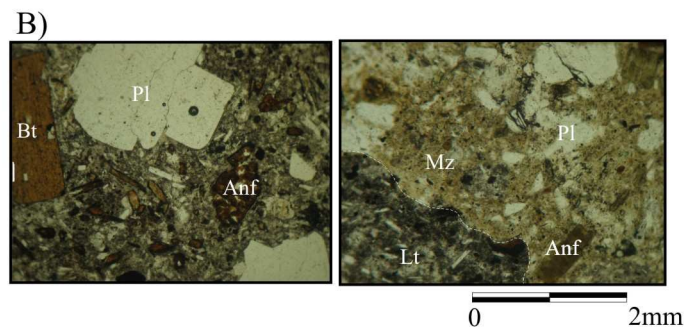
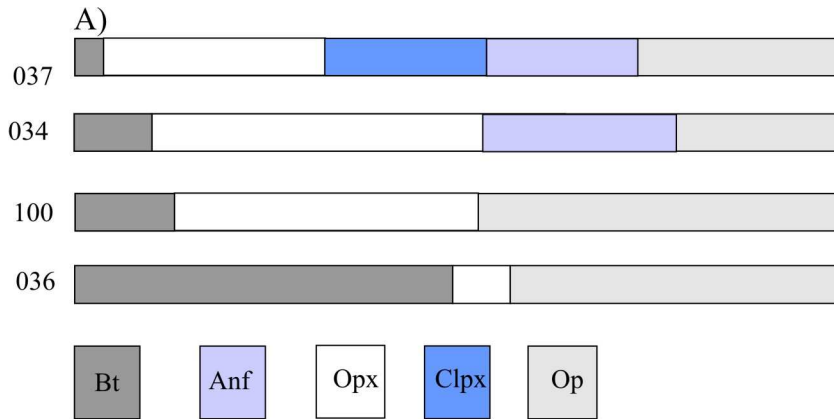


Figura 25 a) Columna que exhibe el aspecto masivo de la fase lítica de la ignimbrita con cristalización de la fase vapor (095 ver mapa localización) b) A nivel de afloramiento, aspecto masivo, bloques con bordes curvilíneos. c) Matriz (Mz) de la misma muestra a nivel microscópico, coloración marrón, por el “polvo” relacionado con la cristalización de la fase vapor.

4.2.1.2 Variaciones en la relación fase mineral

Las diferentes muestras recolectadas en esta unidad, exhiben a la lupa binocular variaciones en la relación de las fases minerales presentes en la matriz como componente principal del depósito. (Figura 26a). A partir del conteo de 250 granos, en la relación de la fase mineral dentro de la matriz, se identifica un aumento hacia la base del depósito, en la relación Biotita/Piroxeno y Anfíbol/Piroxeno. En la Figura 26b, se presenta el aspecto de la matriz de esta unidad.



Bt: Biotita Pl: Plagioclasa Anf: Anfíbol Lt: Lítico
Mz: Matriz

Figura 26 a) Relación de biotita, anfíbol y piroxeno en la ignimbrita de Coconuco. Obsérvese la zonación composicional de techo (muestras 037, 034) a base (muestras 100 y 036) de la unidad. b) Cristaloclastos de plagioclasa, biotita y anfíbol dentro de las diferentes unidades de la ignimbrita de Coconuco.

4.2.2 Flujos de lava Peña Negra (Chagartón)

Los afloramientos cartografiados durante este trabajo, se encuentran sobre ambas márgenes del río San Francisco, cerca del sector Peña de las monjas, escarpe sobre el río Vinagre, en el alto de Cuaré y presenta su mejor exposición en el sector de Peña Negra de donde toma el nombre. Agrupa varias unidades de flujo, algunas de las cuales, son limitadas hacia la parte superior por brechas de lava (Figura 27a). En conjunto las diferentes unidades de flujo pueden alcanzar 70 m de espesor (Figura 27b).

Estos depósitos de flujo de lava, han sido agrupadas dentro del Miembro Chagartón de la Formación Coconucos (Monsalve, 2000). Algunas de las unidades de flujo exhiben alto grado de vesicularidad y en sectores se puede observar las estructuras de enfriamiento con una disposición columnar y que permiten inferir direcciones de flujo en general desde SE a NW.

El aspecto, es en general homogéneo, de composición andesítica, de color gris oscuro, textura porfirítica, definida por cristales que se encuentran dentro de una matriz vítrea a microlítica. Los fenocristales euhedrales de plagioclasa, piroxeno y escasos de cuarzo y hornblenda de formas subhedrales, los dos últimos. En la mayoría de las muestras, tanto a nivel de muestra de mano como en sección delgada, se observa la textura de flujo, definida por la alineación de los fenocristales de plagioclasa y piroxeno (Figura 27c)

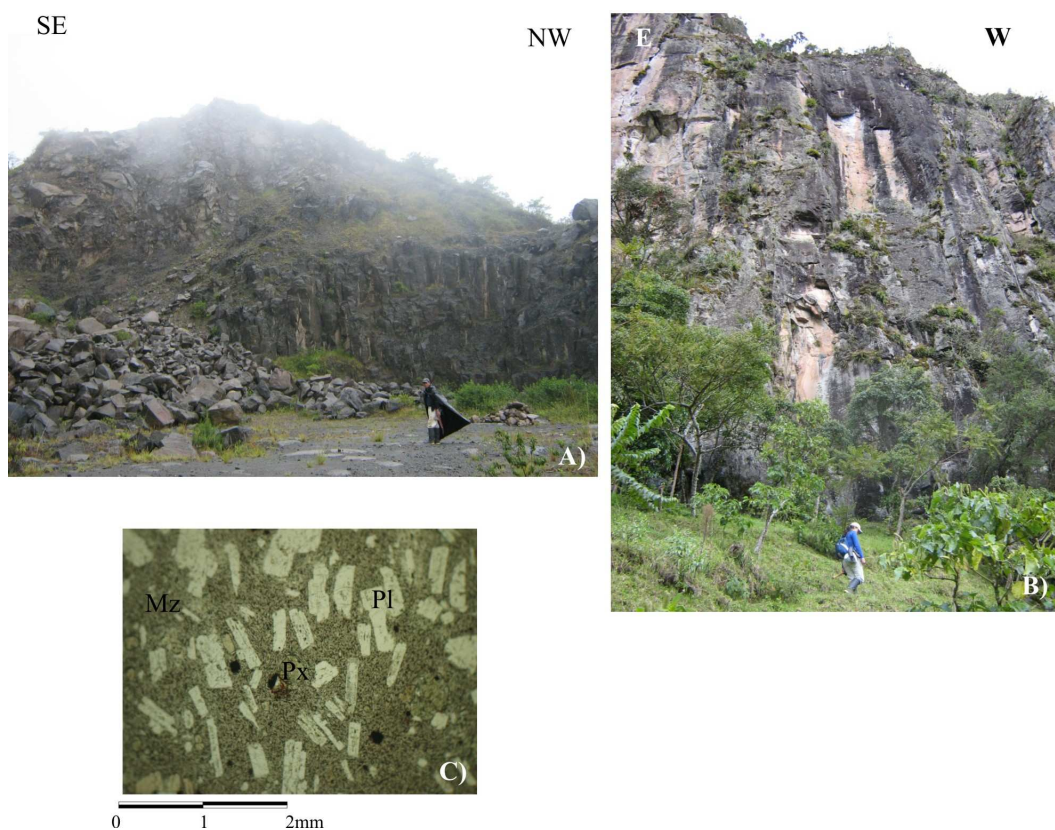


Figura 27 a) Depósito de lava con brecha hacia la parte superior. Flujo asociado a la estructura de Chagartón. b) Escarpe de depósito de lava en el sector, Peña Negra, río San Francisco c) Microfotografía de depósito de lava en la chorrera del río San Francisco, obsérvese estructura de flujo definida por los fenocristales.

4.2.3 Depósito de flujo de ceniza y bloques de Pululó

Aflora sobre ambas márgenes del río San Francisco a la altura del caserío de Pululó; presenta buenos afloramientos en cercanías al Cerro Pusná, subiendo por el sector de Patía y Peña Cuaré.

Fue cartografiado como Miembro Julumito de la Formación Popayán (Torres et al., 1992) y en parte como depósitos piroclásticos no diferenciados ubicados a la base de la Formación Coconuco (Monsalve, 2000).

Es un depósito masivo, de aspecto caótico, monolítico, matriz soportado, con una relación matriz-bloques de 60-40 y variando localmente a clasto-soportado, con una relación bloques-matriz de 45-55 (Figura 29a y Figura 29b). Compuesto por clastos líticos juveniles de lavas andesíticas sin a levemente vesiculados, dentro de una matriz de ceniza lítica con cristales de piroxeno y plagioclasa. Los bloques presentan un tamaño máximo de 1 m, subredondeados, algunos con fracturas de enfriamiento radial y prismático (Figura 29c y Figura 29e). En algunos sectores, se observa una leve gradación inversa de los bloques (Figura 29d), definida por variaciones en el tamaño máximo de los clastos. Este depósito registra un espesor de 60 m en cercanías al cerro Pusná por su vertiente sur.

Dentro del depósito se pueden diferenciar dos fases a partir de la coloración del mismo. La primera fase es de color gris oscuro, con un bajo grado de soldamiento definido por la leve deformación en las vesículas, observables a nivel de microscopio. La segunda fase, exhibe una coloración rosada por oxidación térmica y se localiza hacia la parte superior del depósito (Figura 30). Ambas unidades presentan endurecimiento y una coloración marrón o rojiza (para la fase oxidada), dentro de la matriz que rellena las escasas vesículas de los fragmentos.

Análisis a nivel microscópico de la matriz, muestran una leve deformación de algunas vesículas, cambio de la forma de redondas a alargadas y curvilíneas. (Figura 28)

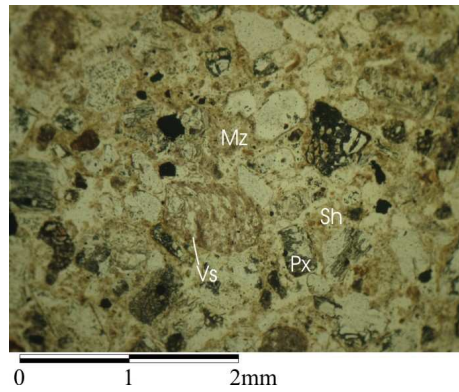


Figura 28 Vesículas deformadas dentro del depósito de flujo de bloques y ceniza de Pululó.
Vs: Vesícula Px: Piroxeno Sh: Shard Mz: Matriz

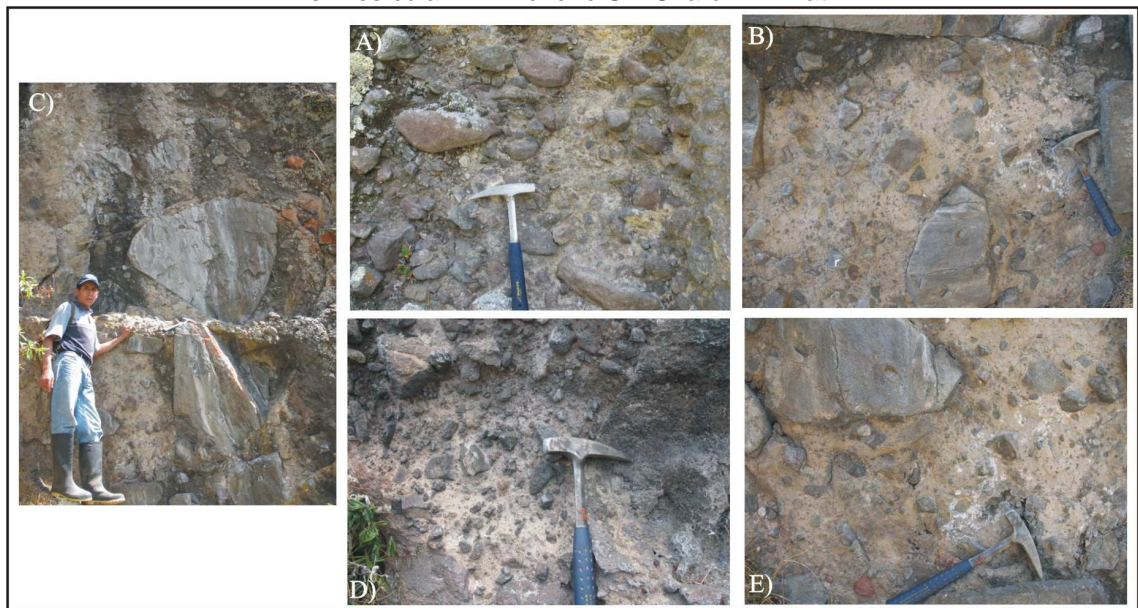


Figura 29 Depósito de bloques y ceniza, masivo, variaciones en la forma, tamaño y estructura de los bloques. A) Bloques sub-redondeados, gradación normal. B) Relación matriz bloques 60-40. C) Bloque de 60 cm de diámetro que muestra bordes angulosos y fracturamiento prismático D) Relación matriz bloques 45:55 bloques angulosos. E) Bloque anguloso, bordes curvilíneos.



Figura 30 Depósito de bloques y ceniza con oxidación que le otorga una coloración rosada. Detalle de la matriz, endurecida, coloración rosada.

4.2.4 Ignimbrita adosada de Pululó

Aflora sobre ambas márgenes del río San Francisco, en los alrededores de la vereda Pululó, sector Peña Negra, sector Patico y quebrada Ispala. Forma escarpes verticales, homogéneos que alcanzan 80 m de espesor. Esta unidad esta constituida por varias unidades de flujo de poco espesor, que pueden variar entre de 0,80 m a más de 2,0 m de espesor; diferenciables a nivel de afloramiento (Figura 31).

Esta compuesto por abundante material juvenil pumítico presente en la matriz y en los fragmentos de lapilli y algunos bloques subordinados de líticos. Los fragmentos de pómez son densos, de forma irregular, redondeados, finamente vesiculados. Presenta una estratificación leve, por las variaciones en el tamaño de grano de los bloques dentro de las unidades de flujo (Figura 31). Otra de sus características es el alto contenido de material fino tamaño ceniza y lapilli, dentro de las unidades de flujo, que están intercaladas con material de caída pumítico fino, que exhibe buena selección.

Se observa bandeamiento composicional y zonación, marcada por la intercalación de capas ricas en líticos de tamaño lapilli. En general se exhibe mala selección, gradación inversa en algunas de las capas, marcadas por los fragmentos de pómez (Figura 32).



Figura 31 Estratificación dentro de la Ignimbrita adosada de Pululó

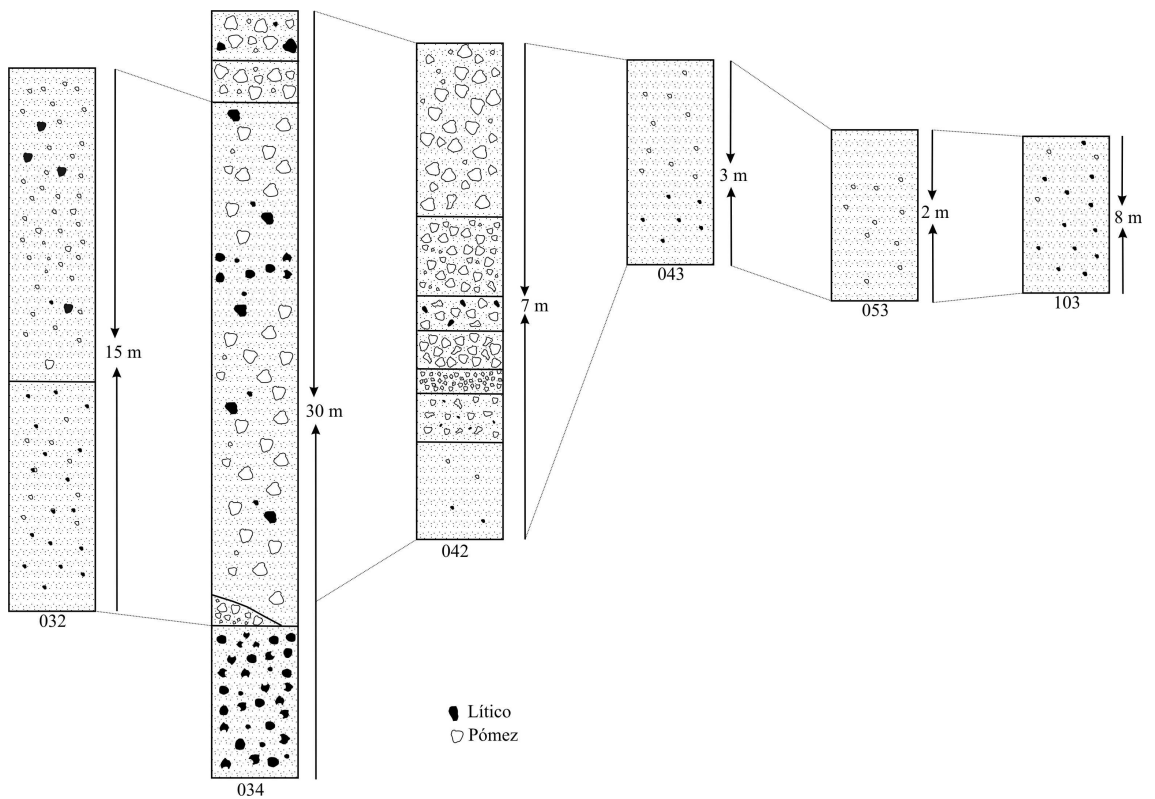


Figura 32 Correlación estratigráfica de las diferentes unidades de flujo dentro de la ignimbrita adosada, variaciones en el tamaño de los fragmentos, abundante material lapilli. Variación lateral y vertical.

El conteo modal de minerales densos de algunas muestras seleccionadas representativas de las distintas unidades de flujo, permite identificar una variación en el contenido de anfíbol con respecto los otros minerales densos en

todo el paquete así. Hacia las unidades basales la Ignimbrita adosada, se observa un mayor porcentaje de anfíbol con respecto los otros minerales densos y este porcentaje disminuye notablemente hacia el techo de las unidades de flujo que conforman el paquete de la Ignimbrita adosada de Pululó. (Figura 33)

También se identifica una variación en la forma de los fragmentos de vidrio, éstos exhiben formas curvilíneas, y una textura con vesículas redondas y completas hacia la base, mientras que para el techo del depósito piroclástico exhibe una textura masiva a microvesiculada.

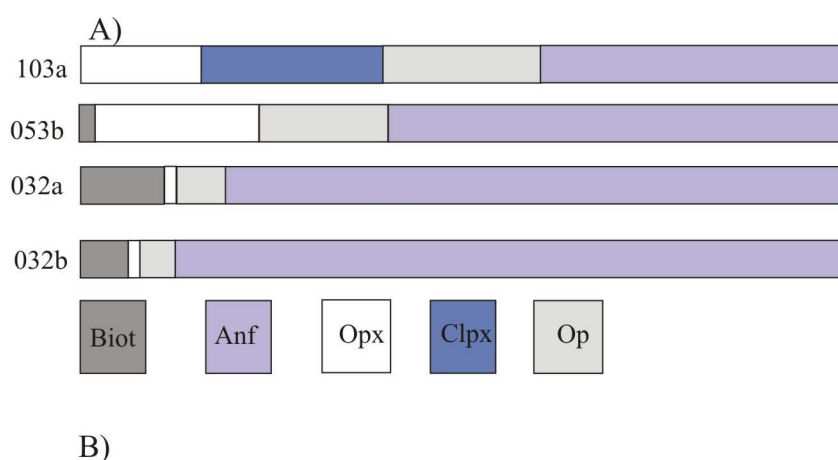


Figura 33 Relación de minerales densos en las diferentes muestras de esta unidad, conteo modal de cristales que muestran unos niveles con abundante anfíbol y otras unidades de flujo, con abundante piroxeno.

4.2.5 Flujos de lava río Anambio (Pre-Puracé)

Se localizan sobre el río Anambio, en el cruce que conduce al sector los cristales; sobre la vía que conduce de la ciudad de Popayán al municipio de Puracé, después de cruzar el puente sobre el río Cauca; en el sector Peña del sol, de la vereda Campamentos. Exhibe afloramientos caracterizados por estructura columnar (Figura 35a) y fracturas de enfriamiento horizontales (Figura 35b) que alcanzan 20 m de potencia. Estos flujos de lava, han sido agrupadas dentro del Miembro Río Negro de la Formación Coconucos (Monsalve, 2000) son lavas andesíticas, de color gris oscuro, textura general porfírica, cristales dentro de una matriz vítrea a microlítica la mayoría de las veces; fenocristales euhedrales de plagioclasa, que alcanzan 3 mm en

tamaño, con textura de flujo. Presentan algunos cristales subordinados de olivino (Figura 34) completamente reemplazados a iddingsita evidenciando desequilibrio magmático antes de la erupción.

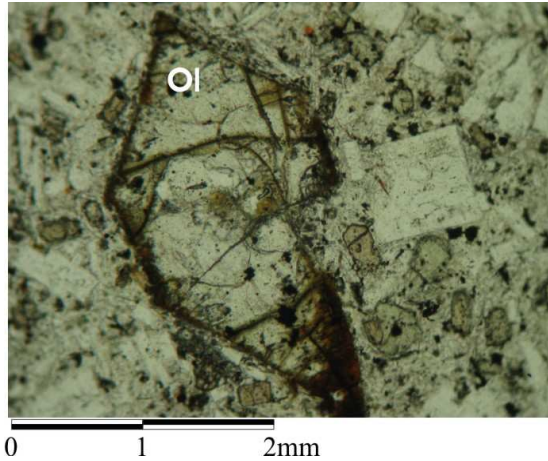


Figura 34 Cristal subordinado de olivino completamente reemplazado a iddingsita



Figura 35 a) Estructura columnar de estas unidades de flujo de lava b) Fracturas de enfriamiento horizontales

4.2.6 Depósito de flujo de ceniza y escoria- Miembro San Francisco Formación Coconucos

Esta unidad aflora sobre ambas márgenes del río San Francisco, río Molino, cerca del sector Puente Tabla, en la llegada de la quebrada Ambiro al río San

Francisco. Constituye la superficie de pendiente suave sobre la que se ubica el municipio de Puracé.

Es un depósito que define una superficie homogénea con bordes escarpados, que alcanzan los 60 m de altura. Esta compuesto por fragmentos de escoria con variaciones en el grado de vesicularidad, en su mayoría tamaño lapilli con superficie escoriácea, y bloques que alcanzan 1 m en diámetro dentro de una matriz de ceniza gruesa (Figura 37a). Es matriz soportado, con una relación matriz- bloques de 60-40 (Figura 37b). Se caracteriza por tener abundante contenido de cristales dentro de la matriz, en su mayoría de piroxeno y plagioclasa. Igualmente los fragmentos de escoria exhiben abundantes cristales.

Es un depósito monolítico de color gris oscuro, levemente estratificado, marcada por zonas de acumulación de bloques. Es de aspecto masivo, en algunos sectores exhibe gradación inversa y soldamiento de bajo grado evidenciado por la deformación en algunos de los fragmentos de escoria (Figura 36)

Esta unidad permite una fácil correlación por la presencia de los fragmentos de escoria y su aspecto monolítico en todos los afloramientos.

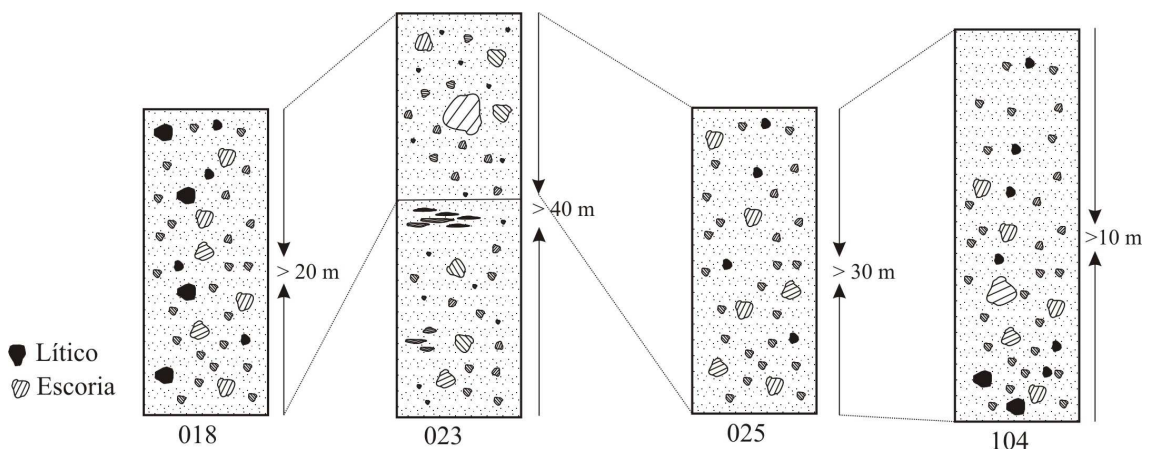


Figura 36 Correlación estratigráfica del depósito de escoria. En la columna estratigráfica de la estación 023, zona parcialmente soldada dentro del depósito, con fragmentos de escoria aplanados o fiamme.



Figura 37 a) Bloques de escoria con diferente grado de vesicularidad, redondeados, alcanzan 1m de diámetro dentro del depósito endurecido. b) Aspecto masivo matriz soportado, depósito de escoria.

4.3 Petrografía y geoquímica

Se realizó la selección de muestras frescas que representarán los diferentes eventos volcánicos registrados en la secuencia del río San Francisco. En la Tabla 4 se presenta la estación de muestreo, el tipo de roca y la unidad volcánica que representa dentro de la secuencia. La mayoría de las rocas aflorantes en el río San Francisco se agrupan dentro del campo de las andesitas y algunas pocas se localizan en el campo de las dacitas, Figura 38 Tabla 5 a Tabla 12. Se incluyen los datos obtenidos por Kuroda y Paris, 1979; Hormann y Pichler, 1979; Murcia y Marín, 1981; Droux y Delaloye, 1985; Monsalve, 1991; Monsalve y Pulgarín, 1993, Marín-Cerón, 2004.

Los detalles del estudio petrográfico se presentan en el Anexo 2.

Tabla 4 Muestras de roca sobre las cuales se realizó geoquímica de roca total

Muestra	Tipo de roca	Unidad volcánica
SESW052	Matriz pumítica	Ignimbrita de Coconuco
SESW098	Matriz pumítica	
SESW099	Matriz pumítica	
SESW105	Matriz lítica	
SESW031	Depósito lítico	Depósito de flujo de ceniza y bloques de Pululó
SESW092	Depósito lítico	
SESW016	Fenoandesita	Lavas de Peña Negra (Chagartón)
SESW020	Fenoandesita	
SESW022	Fenoandesita	
SESW028	Fenoandesita	
SESW046	Fenoandesita	
SESW047	Fenoandesita	
SESW048	Fenoandesita	
SESW085	Fenoandesita	
SESW039	Fenoandesita	Lavas del río Anambio (Pre-Puracé)
SESW054	Fenoandesita	
SESW106	Fenoandesita	
SESW023	Matriz escoriácea	Depósito de flujo de ceniza y escoria
SESW104	Fragmentos de escoria	

En el sector, las coladas lávicas son en general, rocas de textura porfídicas con un contenido de fenocristales que varía entre 45%vol y 60%vol., dentro de una matriz compuesta por microlitos y vidrio.

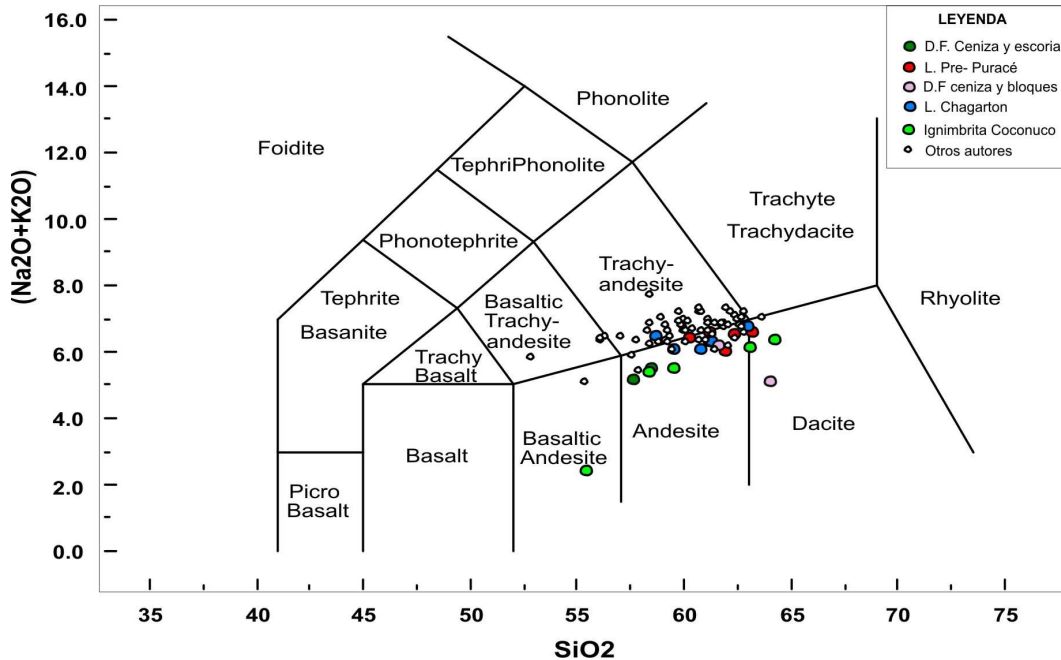


Figura 38 Diagrama total álcalis (Na₂O+K₂O) vs sílice (Le Maitre, 2002).

Dentro de los fenocristales la plagioclasa en todas las muestras, exhibe diferentes generaciones, es un mineral que registra texturalmente la historia del magma y todos los procesos de desequilibrio antes del evento eruptivo. Varía en composición desde An₂₅ hasta An₅₀ siendo esta última común en los depósitos de coladas de lava y en uno de los depósitos piroclásticos (Depósito de flujo de ceniza y escoria del río San Francisco), mientras que la plagioclasa tipo albita y oligoclasa se presentan en una de las unidades de origen explosivo (Ignimbrita de Coconuco).

Los fenocristales de piroxenos (ortopiroxeno y clinopiroxeno) siendo más común el ortopiroxeno en la mayoría de las unidades tanto de tipo explosivos como de tipo efusivo, se presenta como fenocristales euhedrales, individuales o formando agregados de cristales cumulo porfídicos con cristales de plagioclasa y minerales opacos, creando conjuntos que alcanzan hasta 6 mm en sección. En general, Los fenocristales de piroxenos son euhedrales a

subhedrales, maclados, algunos con bordes de reacción y con bahías de desequilibrio, con un tamaño promedio de 0,5 mm medido a lo largo del eje c. El olivino, cuando está presente, se da como cristales aislados, recubiertos por bordes o coronas de reacción de ortopiroxeno y reemplazado parcial o completamente de forma isomórfica por iddingsita y algunas veces por clorita.

De igual manera, la oxihornblenda se da como cristales aislados, que alcanzan 0,9 mm en tamaño, con coronas de reacción compuestas por pequeños cristales anhedrales de minerales opacos.

La matriz de las rocas está conformada por cristalitos y microlitos de plagioclasa, piroxenos y opacos junto con el material vítreo, variando en proporciones la fase vítrea.

La pómez o fragmentos juveniles se encuentran restringidos a los depósitos de tipo explosivo y presenta grandes variaciones tanto en su textura (masiva o shards vítreo, vesiculada o microvesiculada) como en su concentración.

Por último pero no menos importante, se encuentran los fragmentos líticos tanto en los depósitos piroclásticos (aquí se encuentran fragmentos de lavas en su mayoría) como en las coladas lávicas, en este caso, la mayoría son fragmentos removidos de los bordes de la cámara magmática.

El análisis químico de las coladas de lava y los depósitos de flujo piroclásticos que afloran en el río San Francisco, están contenidos en la (Tabla 5) y son representativos de la estratigrafía completa expuesta sobre este sector.

La mayoría de las muestras son andesitas con SiO₂ menor al 64 %wt, con bajo contenido de MgO que se localiza alrededor del 4 %wt, contenido de CaO variando entre 4 y 7 %wt y Al₂O₃ homogéneo en todas las unidades variando entre 15 y 17 %wt. Una excepción se presenta en la muestra 105 localizada en la parte basal de la unidad denominada Ignimbrita de Coconuco y una de las muestras más antiguas. Esta muestra se localiza en el campo de las andesitas basálticas con 55 %wt de SiO₂, alto contenido de Al₂O₃ que alcanza 21 %wt y CaO menor al 1 %wt. La Figura 40 corresponde a las rocas graficadas en una serie de diagramas de variación tipo Harker, con datos recopilados de muestras

del sector de diferentes autores (Kuroda y París, 1978; Hormann y Pichler, 1979; Murcia y Marín, 1981; Monsalve y Pulgarín, 1993; Monsalve, 1991; Schmitt, 1983 en Monsalve y Pulgarín, 1995; Marín-Cerón, 2004) incluidos para comparación. Se observa una clara tendencia negativa de la SiO₂ vs CaO, TiO y MgO respondiendo claramente a los patrones de diferenciación magmática.

Las rocas aquí presentadas, se localizan en el campo de las andesitas de medio-K, alto-K (Figura 39). Las muestras que caen en el campo de alto-K son las rocas asociadas a la unidad denominada Colada de lavas del río Anambio, localizadas en la parte superior de la secuencia volcánica levantada en el río San Francisco y que son correlacionables con el Miembro Chagartón de la Formación Coconucos (Monsalve, 2000) las cuales han mostrado la clara tendencia de alto K como productos recientes del volcán Puracé.

Esta característica permite realizar la diferenciación de las unidades volcánicas más antiguas localizadas en el campo de las andesitas media en K, mientras que las rocas más recientes se localizan en el campo de las andesitas con alto K.

Los elementos menores (Tabla 6) graficados vs contenido de sílice, permite identificar algunas tendencias Figura 41. El Sr presenta una sutil tendencia negativa, reflejando su incorporación en las fases de los inicios de la cristalización debido a su bajo radio iónico y su bajo coeficiente de partición (White, 2005). Por otro lado el K, Rb, Zr y Ba presentan una dispersión, posiblemente debido a la mezcla de magmas, fragmentos líticos y fases minerales con reabsorción y texturas de desequilibrio en las rocas del sector, son características concordantes con la dispersión es estos elementos.

A continuación se hace un recuento de las características petrológicas y geoquímicas de la secuencia volcánica descrita a lo largo del río San Francisco de base a techo.

Tabla 5 Geoquímica de elementos mayores (% wt) de la secuencia volcánica RSF.

Muestra	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	LOI	TOTAL
SESW016a	61.29	0.79	15.74	3.91	2.38	0.10	2.96	5.41	3.94	2.62	0.79	0.06	100.00
SESW020a	60.64	0.66	16.54	4.23	1.53	0.10	1.73	6.12	3.97	2.06	2.01	0.40	100.00
SESW022a	63.10	0.63	16.63	5.45	0.23	0.04	0.98	3.92	3.53	3.00	2.22	0.28	100.00
SESW028b	61.87	0.68	15.02	3.58	2.63	0.10	3.10	5.01	3.54	2.43	1.73	0.32	100.00
SESW031a	63.13	0.56	16.15	3.15	0.83	0.09	1.80	4.03	3.17	1.78	3.82	1.49	100.00
SESW039a	60.07	0.68	17.31	3.68	2.38	0.09	3.02	5.29	4.21	2.14	0.56	0.56	100.00
SESW046a	61.27	0.78	16.03	4.31	1.48	0.10	3.36	5.86	4.09	2.15	0.46	0.10	100.00
SESW047a	61.11	0.59	16.29	4.22	1.93	0.09	2.84	5.33	4.18	2.03	0.88	0.52	100.00
SESW048a	59.40	0.80	16.19	4.20	2.68	0.11	3.20	6.06	3.96	2.04	0.96	0.39	100.00
SESW052a	58.50	0.74	16.28	4.69	1.08	0.08	2.41	5.47	3.48	1.87	3.49	1.92	100.00
SESW054a	62.74	0.76	15.86	5.57	0.18	0.08	2.11	4.15	3.87	2.80	1.36	0.53	100.00
SESW023b	57.62	0.67	16.40	2.91	4.88	0.15	4.34	6.90	3.72	1.38	0.81	0.22	100.00
SESW095a	62.80	0.55	15.85	4.27	0.58	0.09	1.77	4.75	3.88	2.18	2.66	0.62	100.00
SESW099a	64.01	0.55	15.13	1.59	3.43	0.09	2.54	4.48	4.05	2.23	1.36	0.54	100.00
SESW104a	58.38	0.77	16.43	6.45	1.18	0.14	3.58	6.57	3.95	1.52	0.72	0.30	100.00
SESW105a	52.68	0.56	21.39	5.15	0.33	0.08	1.60	0.97	1.24	0.99	9.93	5.06	100.00
SESW106a	62.36	0.81	15.31	4.26	1.98	0.10	2.90	5.39	4.05	2.42	0.24	0.18	100.00
SESW085a	58.60	0.70	17.25	6.03	0.58	0.13	3.19	6.04	4.61	1.78	0.76	0.32	100.00
SESW092a	60.58	0.66	16.09	4.32	0.68	0.08	1.18	5.26	4.26	1.74	3.27	1.88	100.00
SESW098a	57.73	0.68	16.87	6.91	0.83	0.13	2.81	5.69	3.57	1.72	1.81	1.25	100.00

Tabla 6 Geoquímica de algunos elementos traza de la secuencia volcánica del RSF

Muestra	V	Cr	Co	Ni	Cu	Zn	Rb	Sr	Zr	Ba	Pb
SESW016a	98.00	20.00	12.00	14.00	44.00	40.00	76.43	653.23	237.28	1503.43	1.00
SESW020a	106.00	14.00	14.00	8.20	24.00	64.00	48.35	761.46	148.45	1676.14	2.20
SESW022a	54.00	10.00	12.00	4.00	10.00	32.00	50.21	592.04	135.72	1733.46	4.20
SESW028b	86.00	12.00	10.00	6.00	12.00	28.00	64.29	570.47	161.18	1343.58	3.60
SESW031a	66.00	18.00	8.00	6.00	18.00	22.00	50.33	453.94	142.08	1209.28	< 1
SESW039a	98.00	22.00	12.00	18.00	38.00	30.00	58.43	700.63	169.35	1813.67	2.40
SESW046a	58.00	14.00	10.00	10.00	24.00	22.00	61.12	878.00	224.95	1757.88	< 1
SESW047a	94.00	16.00	10.00	12.00	48.00	26.00	56.76	692.27	176.45	1839.49	1.60
SESW048a	114.00	28.00	14.80	16.00	50.00	40.00	43.80	739.93	138.76	1429.06	1.20
SESW052a	88.00	26.00	12.00	6.00	14.00	36.00	44.15	737.02	105.83	1650.85	1.80
SESW054a	104.00	18.00	12.00	14.00	42.00	46.00	80.27	575.74	300.44	1612.04	1.80
SESW023b	128.00	8.00	14.00	8.00	34.00	40.00	32.91	788.58	111.98	1126.13	< 1
SESW095a	76.00	28.00	14.00	8.00	12.00	46.00	57.65	773.94	111.70	2331.13	< 1
SESW099a	72.00	38.00	14.00	14.00	20.00	38.00	55.08	699.61	155.12	1425.31	2.00
SESW104a	88.00	8.00	12.00	6.00	28.00	28.00	38.85	791.44	165.63	1376.01	1.20
SESW105a	126.00	16.00	12.00	10.00	14.00	30.00	36.25	183.63	83.24	737.70	2.20
SESW106a	120.00	10.00	16.00	8.00	34.00	40.00	64.57	592.94	209.80	1429.60	18.00
SESW085a	146.00	10.00	16.00	8.00	50.00	70.00	36.25	813.74	164.46	1497.77	6.80
SESW092a	62.00	14.00	16.00	8.00	20.00	52.00	42.26	967.61	109.69	1794.62	2.20
SESW098a	48.00	10.00	20.00	10.00	32.00	42.00	37.50	720.26	147.05	1347.06	5.20

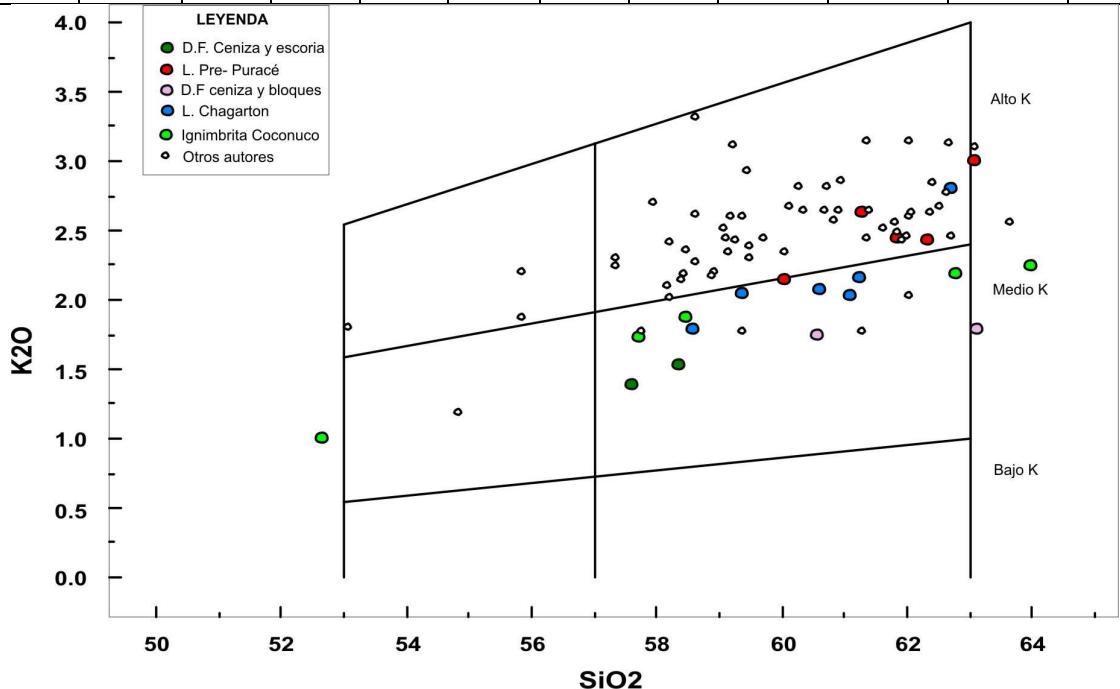


Figura 39 Diagrama de SiO₂ %wt vs K₂O %wt para las rocas de la secuencia volcánica del RSF y rocas volcánicas más recientes. Los límites entre los campos de K bajo medio y alto son definidos por Gill (1981).

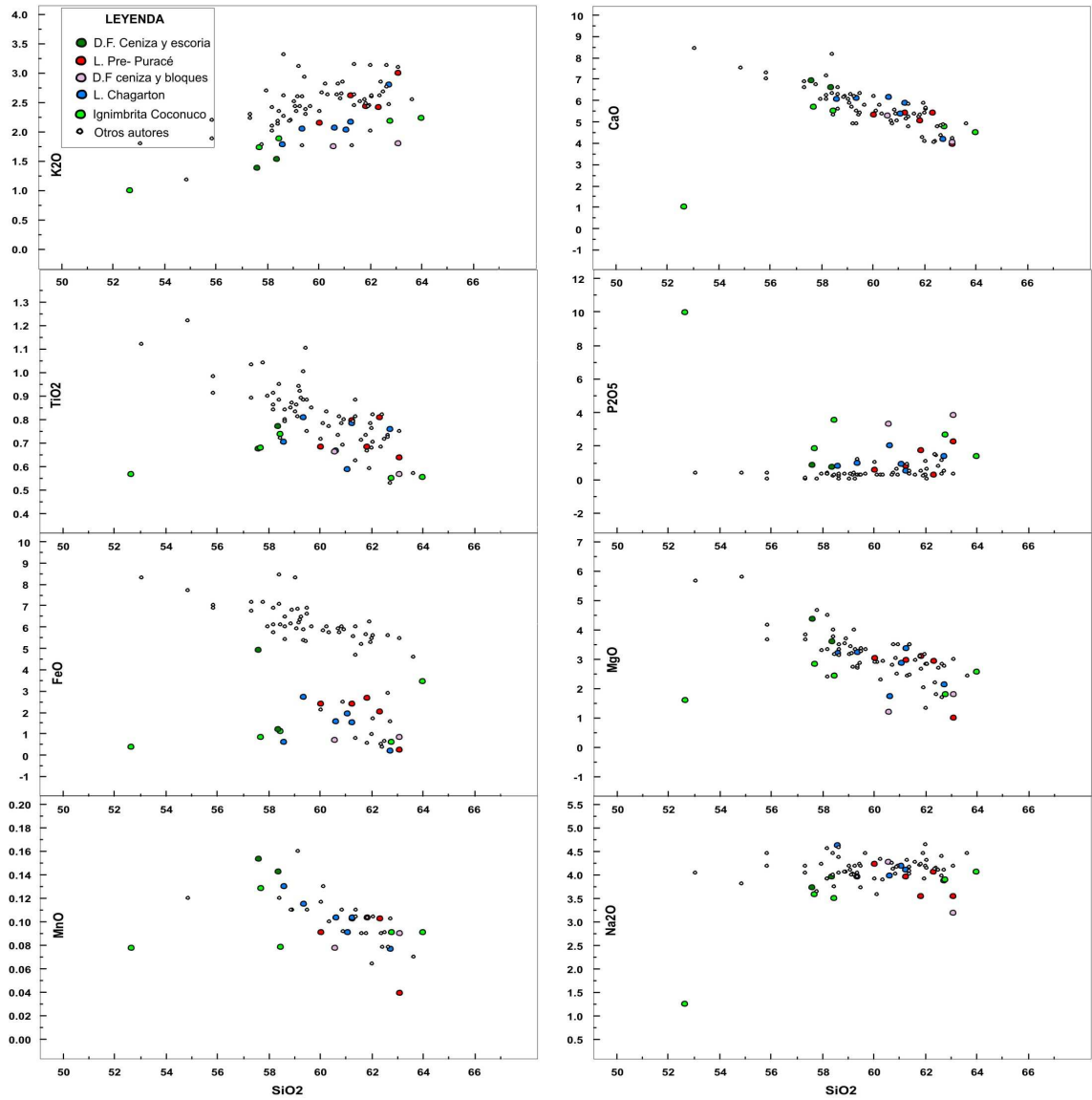


Figura 40 Diagramas de variación de óxidos mayores Harker para las andesitas de la secuencia volcánica del RSF y otras rocas volcánicas del sector

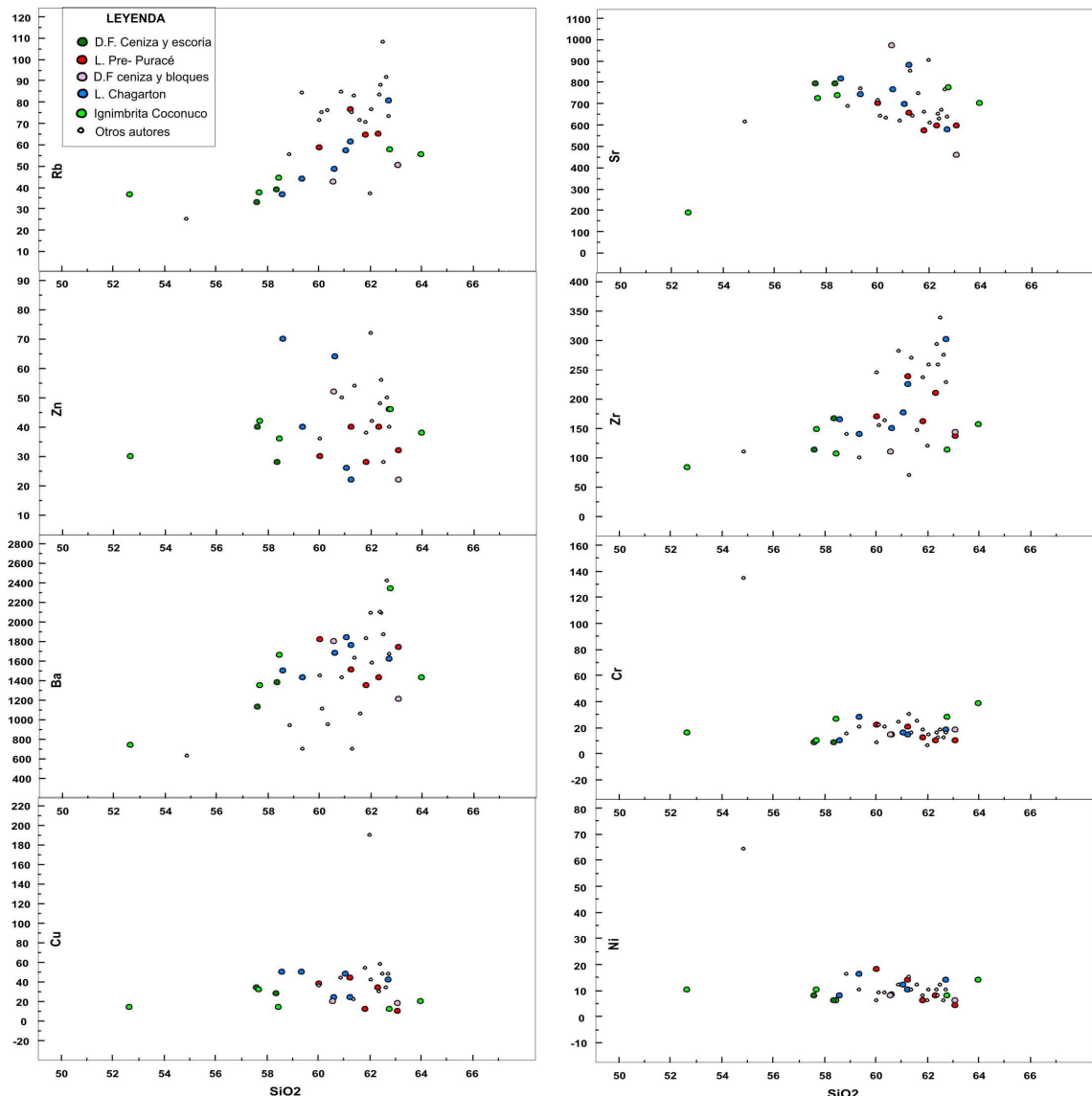


Figura 41 Abundancia elementos traza vs SiO₂ en secuencia volcánica del RSF

4.3.1 Ignimbrita de Coconuco

En general, las rocas pertenecientes a esta unidad presentan un porcentaje de matriz que varía entre el 37 %vol y 54 %vol., que en su mayoría está representado por vidrio, fragmentos de cristales y ceniza, evidenciando aporte de materia juvenil o magmático (Tabla 7). Los fragmentos líticos alcanzan 9.1 %vol., y posiblemente fueron incorporados al depósito durante el emplazamiento, lo que permitió definir zonas con enriquecimiento en éstos materiales. El contenido de vesículas alcanza el 6 %vol., atrapadas en el depósito por la rápida acumulación de las diferentes unidades de flujo.

Hacia la base, la ignimbrita de Coconuco presenta en su mayoría fragmentos de cristales o cristaloclastos de biotita, oxihornblenda, plagioclasa menores a 0,3 mm., shards de vidrio microvesiculado, todo embebido dentro de una matriz de ceniza media a fina.

En general se identifican cristales y cristaloclastos con bordes redondeados, con inclusiones de apatitos, piroxenos y opacos dentro de los cristales de plagioclasa (Figura 42), los cristales de anfíbol presentan coronas de reacción bordeados por cristales anhedrales de minerales opacos y en su mayoría completamente oxidados. Posiblemente por condiciones de desequilibrio magmático.

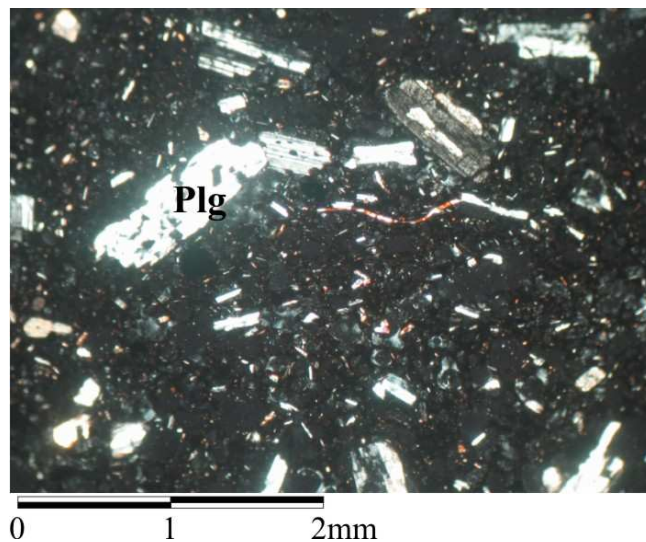


Figura 42. Cristales de plagioclasas con bordes redondeados y bahías de solución

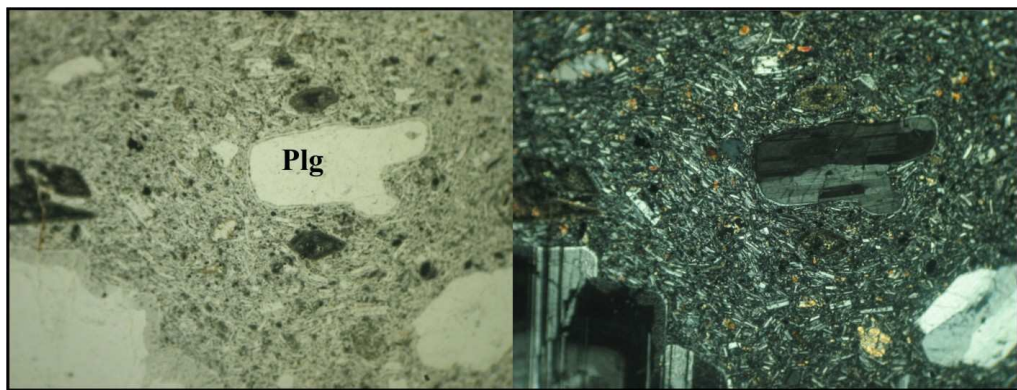
La geoquímica de las rocas pertenecientes a esta unidad varían en contenido de SiO₂ entre 58,5% wt a 64,3% wt ubicándose en el campo de las andesitas y dacitas. A partir de la clasificación geoquímica inicial, las rocas de la base de la secuencia se localizan en el campo de las dacitas y las rocas de la parte superior de la secuencia se ubican en el campo de las andesitas. Un contenido bajo en MgO alrededor de 2 %wt. y el Al₂O₃ se localiza entre 15- 17 %wt.

Tabla 7 Composición definida a partir del conteo modal de los análisis petrográficos Ignimbrita de Coconuco. Ves: Vesículas

Muestra	Matriz	Líticos	Ves.	Vidrio		Fenocristales y/o cristaloclastos						
				Shard	Pómez	Pl	Cpx	Opx	Qz	Amp	Bt	Op
SESW052a	37.2	9.1	6.0	-	-	23.9	-	-	-	21.1	-	2.7
SESW083a	54.4	0.6	-	4.0	12.9	22.3	1.7	3.4	-	-	-	0.8
SESW095a	53.1	0.7	0.8	-	8.6	32.8	-	0.8	-	2.5	-	0.7
SESW098a	52.4	0.2	1.7	2.3	15.5	19.4	1.4	1.2	-	4.9	-	1.0
SESW099a	40.2	6.7	0.8	3.6	2.1	28.7	0.6	-	1.9	9.6	2.9	2.9
SESW105a	49.9	6.2	4.3	1.9	5.9	24.2	0.9	2.3	-	-	3.0	1.3

4.3.2 Lavas de Peña Negra (Chagartón)

Son lavas andesíticas, de aspecto masivo, densa, compacta, color gris oscuro. En general son rocas de textura porfirítica algunas muestras con textura de flujo, con matriz holocristalina, con un porcentaje que varía entre 36.3 y 63.4 %vol. Los fenocristales en su mayoría plagioclasa, piroxeno, hornblenda, son de forma euhedral y alcanzan 0.9 mm en tamaño. Un xenocristal de plagioclasa es identificado en la muestra SESW 047, alcanza 3 mm, de composición An65Ab35 en comparación con el resto de los fenocristales de plagioclasa An40Ab60 de la roca (Figura 43).



0 1 2mm

Figura 43 Grandes cristales de plagioclasa dentro de colada de lava de Peña Negra. Textura de flujo.

Se observan tres generaciones en los cristales de plagioclasa, que varían en tamaño, entre 1 mm y 0,1 mm., estos últimos asociados a microlitos que hacen

parte de la matriz. Se observan cristales de olivino esqueléticos, reemplazados parcial o totalmente por iddingsita y clorita. Cristales subordinados de cuarzo subhedrales con bordes redondeados.

Geoquímicamente se localizan en el campo de las andesitas (Círculos color verde claro)

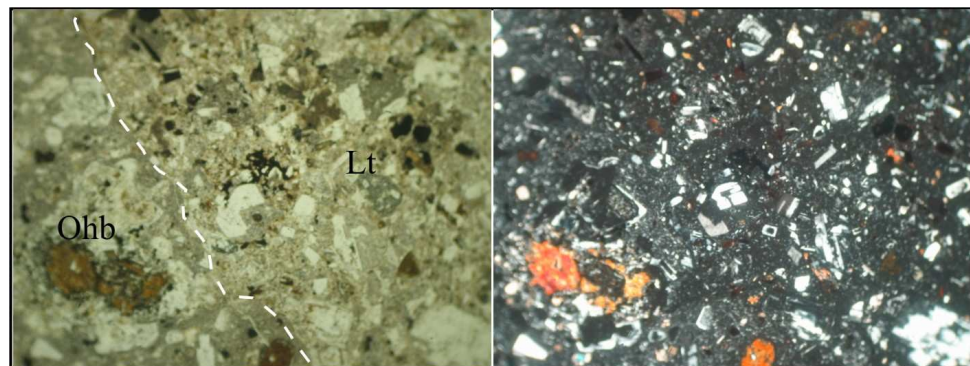
Presenta valores de Al_2O_3 altos que alcanzan 17 %wt y de K_2O que alcanza el 3 %wt y los valores de SiO_2 varia entre 58 y 63 %wt. (Tabla 8)

Tabla 8. Conteo modal Colada de lava Peña Negra

Muestra	Matriz	Líticos	Ves.	Vidrio		Fenocristales y/o cristaloclastos						
				Shard	Pómez	Pl	Cpx	Opx	Qz	Amp	Ol	Op
SESW 20a	53.1	-	2.0	-	-	38.6	1.9	0.6	-	-	-	3.8
SESW046a	50.3		0.7			34.1	10.2	0.3		0.3		4.1
SESW047a	36.3	0.2	0.6			48.9	7.7	2.3			1.7	3.1
SESW048a	63.4		0.2			35.5	7.6		1.3	1.3		0.7
SESW054a	47.6					34.6	4.9	8.3		0.4		4.1
SESW085a	52.0		0.3			38.2	5.0	2.0				2.0

4.3.3 Deposito de flujo de ceniza y bloques de Pululó

En las rocas de este depósito, se observan cristaloclastos de plagioclasa, oxihornblenda, opacos y piroxeno, fracciones reducidas de pómez microvesiculada y levemente achatadas que pueden alcanzar hasta 0,2 mm de diámetro y fragmentos líticos, todo dentro de una matriz de ceniza. (Figura 44)



0 1 2mm

Figura 44 Cristaloclastos y pómez microvesiculada

Los fragmentos de cristales presentan bordes redondeados y la plagioclasa presenta evidencias de reabsorción. La caracterización geoquímica permitió clasificarlas en los campos de andesitas a dacitas.

Con respecto a las muestras de los otros depósitos, presenta el mayor valor de P₂O₅ alrededor de 3,5 %wt y valores muy bajo de MgO de 1,1 %wt, valores de Al₂O₃ altos alrededor del 16 %wt y el porcentaje de SiO₂ entre 61- 64 %wt. (Tabla 9)

Tabla 9 Conteo modal de las de las muestras de depósito de flujo de bloques y ceniza

Muestra	Matriz	Líticos	Ves.	Vidrio		Fenocristales y/o cristaloclastos						
				Shard	Pómez	Pl	Cpx	Opx	Qz	Amp	Ol	Op
SESW031a	55.6	12.8		1.6		24.6				2.4		3.0
SESW092a	43.0	11.0	1.0	3.5		27.0		5.0		5.5		2.0

4.3.4 Ignimbrita adosada de Pululó

Las rocas de este depósito tienen un contenido más alto en cristales de anfíbol en su mayoría hornblenda; se presenta como cristales ehedrales, color verde oliva. Cristaloclastos de hiperstena y biotita se presentan subordinados, de forma subhedral o anhedral variando dentro de la unidad. Se observa textura *jacket*, que es una película de vidrio que bordea los cristales de plagioclasa y anfíbol en su mayoría.

Para esta unidad se cuenta con los datos de los conteos de minerales densos en las diferentes muestras tomadas, analizadas con luz reflejada en partículas de tamaño entre 150 µm. - 75 µm (Tabla 10). Por su bajo grado de compactación se dificultó la toma de una muestra masiva de la cual se pudiese extraer una sección pulida para analizar al microscopio con luz transmitida.

Tabla 10 Conteo modal de las de las muestras de depósito de flujo de bloques y ceniza

Muestra	Cristales entre 150 µm – 75 µm				
	Amp	Cpx	Opx	Bt	Op
SESW032a	80		3	10	7
SESW032b	85		5	7	3
SESW53b	60		20	3	17

SESW103a	40	22	18		20
----------	----	----	----	--	----

4.3.5 Lavas del río Anambio (Pre- Puracé)

Esta unidad está constituida por lavas fenoandesíticas porfídicas con fenocristales de plagioclasa, piroxeno, anfíbol, opacos y en algunos casos presentan cristales de olivino. En afloramiento se observan estructura columnar evidenciando la principal dirección de enfriamiento y también es común encontrar brechas de lava, tanto al tope como a la base de los cuerpos masivos. Se caracteriza por tener bloques oligomícticos, angulosos dentro de una matriz tamaño ceniza media.

Presenta valores de SiO₂ que varían entre 60 y 62 %wt y Al₂O₃ alcanza 17% wt y TiO₂ alcanza 0.8 %wt. (Tabla 11). Se observan cristales de olivino esquelético o completamente reemplazado por iddingsita.

Tabla 11 Conteo modal de las de las lavas del río Anambio asociadas a la estructura Pre-Puracé

Muestra	Matriz	Líticos	Ves.	Vidrio		Fenocristales y/o cristaloclastos						
				Shard	Pómez	Pl	Cpx	Opx	Qz	Amp	OI	Op
SESW016a	52.0					33.0	4.0	9.0				2
SESW016b	53.2					36.5	2,9	5.0			0.4	1.9
SESW022a	35.2	4.1				37.9				6.9		15.9
SESW028a	59.5		6.3			19.0	3.8	3.1		4.8	0.2	3.6
SESW028b	45.4		3.2			30.0		16.8		0.8		3.8
SESW039a	34.0					50.5	10.2	1.6			1.8	1.6
SESW106a	38.5					45.5	10.5				2.0	3.5

4.3.6 Deposito de flujo de ceniza y escoria- Miembro San Francisco Formación Coconucos

Las rocas de esta unidad presenta valores de SiO₂ alrededor del 57 %wt y valores de MgO que alcanza 4,3 %wt, CaO 7,0 % wt., FeO 4,8 %wt. y K₂O 1,3 %wt. Son los valores más bajos para la sílice y los valores más altos para el calcio y el magnesio de las muestras seleccionadas. Se presentan cristales

ehedrales a subhedrales de piroxeno tipo hiperstena, abundantes vesículas y matriz vítrea (Tabla 12).

Se observa una tendencia positiva del K₂O con respecto a la SiO₂ y una tendencia negativa de CaO y el MnO con respecto al SiO₂ indicando procesos de fraccionamiento magmático.

Tabla 12 Conteo modal de las muestras de depósito de ceniza y escoria de San Francisco

Muestra	Matriz	Líticos	Ves.	Vidrio		Fenocristales y/o cristaloclastos						
				Shard	Escoria	Pl	Cpx	Opx	Qz	Amp	OI	Op
SESW023a	34.5	9.9	5.7		3.0	33.7	3.1	7.8				2.3
SESW104a	33.0	12.5	8.9		7.0	25.0	3.0	10.5				3.0

4.4 Columna estratigráfica generalizada del río San Francisco

A partir de las características estratigráficas, los diferentes rasgos geomorfológicos y evolución del paisaje, las evidencias petrográficas y los resultados de los análisis geoquímicos de las muestras seleccionadas; se presenta una columna generaliza para el área del río San Francisco (Figura 45)

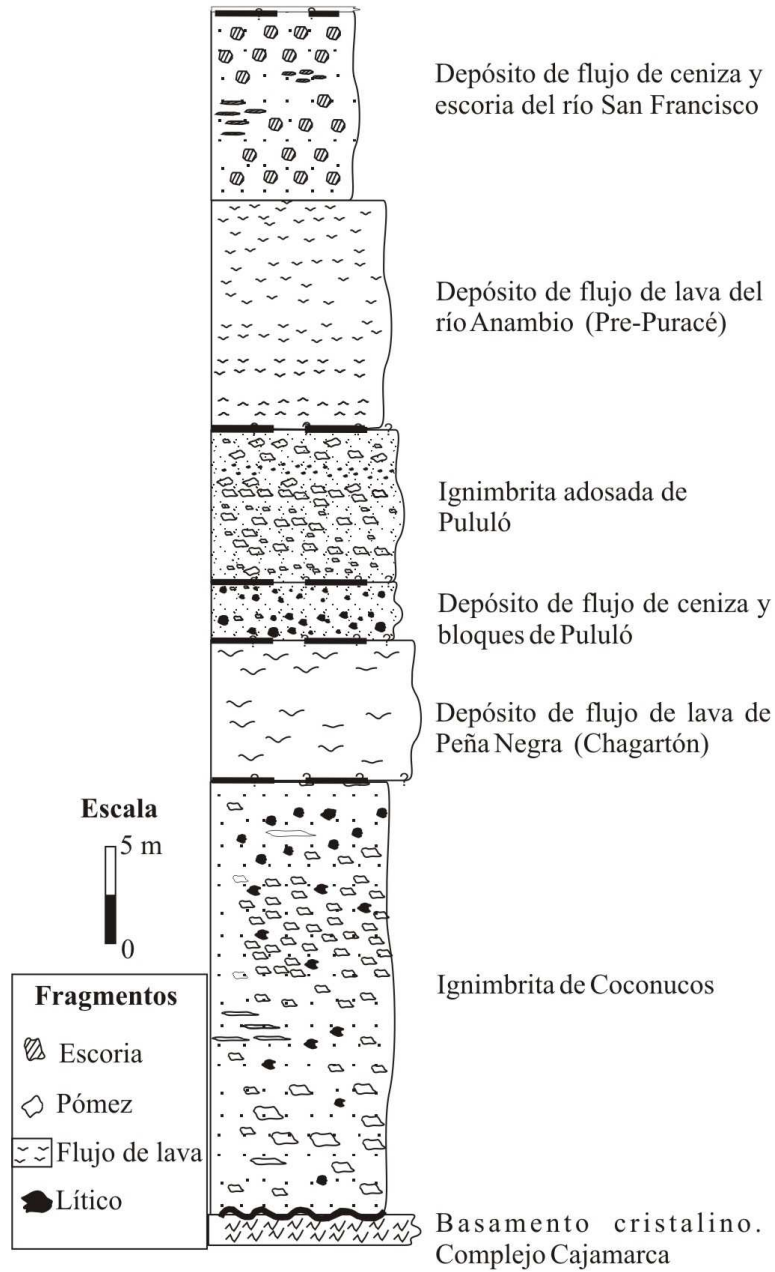


Figura 45 Secuencia volcánica del río San Francisco, columna estratigráfica generalizada.

5 DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

En este capítulo se presenta la discusión a partir de la integración del marco teórico y de las características encontradas en campo y en el laboratorio. De igual manera, se identifican los principales aportes realizados en lo referente a la secuencia volcánica de este sector de la cadena volcánica de los Coconucos.

5.1 Discusión

5.1.1 Geomorfología

El estudio geomorfológico de la zona permitió la diferenciación de 14 unidades geomorfológicas las cuales presentan características asociadas a un ambiente de tipo agradacional, que está relacionado al emplazamiento de los diferentes depósitos de flujos piroclásticos y coladas lávicas generados por la actividad volcánica del sector.

La actividad volcánica desde el Neógeno hasta el presente, ha estado intercalada con períodos de silencio o quietud volcánica, que permitieron la erosión, remoción y depositación de material detrítico con abundantes clastos volcánicos; así como la generación de cañones y escarpes erosivos. El desarrollo de cañones, es una evidencia de la importante interacción entre el levantamiento regional al que están sometidos los Andes y los procesos denudacionales que modifican las geoformas iniciales.

En general, este terreno constituye un ambiente gradacional, donde los diferentes eventos volcánicos, con generación y expulsión de gran cantidad de material hacia la superficie, permiten la acumulación continua de los diferentes depósitos volcánicos y construcción de las geoformas del sector.

Los procesos erosivos de incisión de las diferentes corrientes de agua dentro de estas unidades volcánicas, representan periodos de poco aporte volcánico,

es decir quietud en el aparato volcánico, además de la continua dinámica de levantamiento tectónico.

Importantes escarpes que alcanzan hasta 60 m de espesor, han sido esculpidos en ignimbrita, como lo es el cañón del río San Francisco, donde se observan laderas verticales, rectas de baja incisión y con unas condiciones de endurecimiento importantes, evidenciado por la estabilidad de las mismas.

Algunos escarpes menores, se desarrollan sobre depósitos de lavas que definen su forma de lóbulo depositacional, bordeados por un escarpe conservado.

5.1.2 Secuencia volcánica río San Francisco

La secuencia volcánica del río San Francisco está representada por seis unidades que han sido agrupadas anteriormente dentro del techo de la Formación Popayán (Torres et al., 1992) y la Formación Coconucos (Monsalve, 2000) y un conjunto denominado depósitos piroclásticos sin diferenciar, que se encuentran a la base de la Formación Coconucos (Monsalve, 2000).

La primera unidad de la secuencia, identificada en el cañón del río San Francisco, corresponde a la unidad denominada en este trabajo como la Ignimbrita de Coconuco, dentro de la cual se identifican dos fases principales. La primera está representada por un depósito con alto contenido de material pumítico de ceniza gruesa a lapilli y que exhibe fragmentos líticos de manera esporádica.

En las rocas de esta unidad, se observa una zonación composicional en la mineralogía de la matriz de los depósitos, es decir una base rica en biotita, pasando por una fase rica en anfíbol y por último una fase rica en piroxeno. Esto, estaría reflejando a la inversa, la zonación composicional y mineralógica dentro de la cámara magmática (Cas and Wright, 1987).

La segunda fase exhibe abundantes fragmentos líticos, bordeados por una ceniza empobrecida en tamaños finos. Esta fase correspondería a la *depleted-fine ignimbrite* (Roobol et al., 1987). Localmente exhibe evidencias de

cristalización de la fase vapor (material marrón en la matriz, minerales secundarios, rellenando las vesículas).

Evidencias de las altas temperaturas al momento del emplazamiento están representadas por fragmentos de madera carbonizada, evidencia de destrucción de la materia vegetal, por la temperatura del flujo, durante el emplazamiento. La ausencia de material fino dentro de la matriz de partes del depósito, es una evidencia de la segregación o expulsión de gases en emplazamiento (Sparks et al., 1999). A partir de sus características litológicas, la cobertura en área y la potencia del depósito se asocia a un evento de colapso de columna eruptiva desde un centro volcánico de grandes proporciones o centro caldérico. En la zona se han identificado a partir de trabajos de cartografía, petrografía y análisis de imagen de satélite la cadera de Paletará (Torres et al., 1999) y la caldera de Gabriel López (INGEOMINAS, 2003).

Seguido de la ignimbrita de Coconuco y en contacto discontinuo (tipo erosivo) inferido a partir de la evolución morfológica del paisaje, se encuentra el depósito de flujo de ceniza y bloques de Pululó, que exhibe un aspecto masivo, de arreglo caótico, monolítico, con bloques andesíticos que presentan estructuras del tipo *exfoliation ring*, *rock flakes*, bordes curvilíneos y en forma de cuña, lo que sugieren fracturamiento inducido por los esfuerzos liberados por la rápida expansión o contracción térmica de los bordes de los bloques. Matriz fina penetrando las fracturas y fracturamiento radial de algunos de los bloques líticos, sugieren que en algunos casos el fracturamiento ocurrió cuando los bloques estaban completamente bordeados por ceniza fina, rellenando estas las fracturas generadas (Branney y Kokelaar, 2002).

Dentro de este depósito se pueden identificar dos fases: la primera exhibe una coloración gris sin evidencias de soldamiento, la segunda fase presenta una coloración rojiza homogénea dentro del depósito (matriz y bloques) que se asocia a un proceso de oxidación térmica. A partir de las características físicas y petrográficas, dentro de las cuales se destaca su carácter monolítico y la

ausencia de fragmentos juveniles o pumíticos, se plantea interpretar este depósito como el colapso de un domo volcánico.

Seguido de este depósito y en contacto depositacional se encuentra la unidad denominada ignimbrita adosada de Pululó constituida por un depósito pumítico que exhibe gradación normal de los bloques en los niveles líticos e inversa de los bloques de pómez en los niveles pumíticos. Exhibe varias unidades de flujo de espesor que varía entre 0,8 m y 2,0 m aproximadamente. La mayoría de los clastos son tamaño lapilli y son estos los que definen las estructuras de bandeamiento composicional. En general esta unidad se interpreta que fue generada a partir del colapso de columna eruptiva. Usualmente los finos decrecen hacia la parte superior de la unidad, lo que se denomina *fine-depleted ignimbrite* (Walker, 1980) que contiene poco material fino menor a ¼ mm.

Seguido de esta unidad explosiva se encuentra una primera colada de lava que exhibe una serie de unidades de flujo, denominada Flujo de lava de Peña Negra, las cuales conforman un escape de 70 m de espesor. Exhibe brechas de lava en la parte superior de algunas de las unidades, que son diferenciables a escala de afloramiento. A partir del análisis petrográfico de las andesitas y andesitas basálticas que conforman esta unidad, exhiben características similares a las descritas en las lavas andesíticas (Monsalve, 2000; Monsalve y Pulgarín, 1995, Monsalve y Pulgarín, 1993) y que han sido asociadas a una estructura caldérica que esta parcialmente erosionada denominada caldera de Chagartón.

Seguido de esta unidad y en contacto inferido, se encuentra una segunda colada de lavas que conforman el flujo de lava del río Anambio, que están asociados según la morfología de las coladas a la Pre-Puracé, respectivamente. (Monsalve y Pulgarín, 1993; Monsalve y Pulgarín, 1995). Aunque en el sector, no se encontró una unidad entre los dos flujos de lava ya mencionados, Monsalve (2000), plantea la existencia de flujos de ceniza y pómez y avalancha de escombros que separan las lavas asociadas a la

caldera de Chagartón y al volcán Pre-Puracé, siendo este último representante de volcanismo resurgente dentro de la caldera de Chagartón.

En contacto inferido, se encuentra un depósito de flujo de ceniza y escoria, el cual conforma la superficie donde se encuentra el municipio de Puracé. Es un depósito monolítico con alto contenido de material juvenil. Es un depósito asociado a un evento explosivo siguiendo dos eventos efusivos de magnitudes importantes. Estos cambios en el estilo eruptivo, pueden ser debidos a varios parámetros. Algunos son: entrada de magmas de cámaras magmáticas más profundas, mezclas de magmas. Este depósito tiene una edad de 30.000 a (Monsalve, 2000).

5.1.3 Petrografía, características físicas y génesis

La primera unidad de la secuencia volcánica del Río San Francisco, denominada Ignimbrita de Coconuco presenta alto contenido de cristales dentro de la matriz, que exhiben formas subhedral, posiblemente reflejando baja explosividad del evento volcánico que generó esta ignimbrita.

Esta unidad conforma escarpes que alcanzan hasta 160 m de espesor, por lo que se plantea que durante el emplazamiento, el depósito piroclástico relleno depresiones topográficas y posiblemente sobrepasó barreras topográficas pre-existentes, produciendo grandes variaciones en el espesor del depósito y homogenizando la superficie, definiendo lo que se conoce como *ignimbrite sheet*. Esta unidad exhibe variaciones texturales con una fase de brechas líticas, las cuales son interpretadas por (Branney y Kokelaar, 2002) como facies gruesas, transportados y depositados a través de un flujo de corriente denso piroclástico. Por su naturaleza monolítica, se considera que los bloques se derivan por erosión o colapso del conducto eruptivo y/o paredes del mismo o también, fragmentos del techo con alteración hidrotermal de zonas metasomatizadas alrededor de los conductos y/o cámaras magmáticas, así cuando el techo de la cámara falla mecánicamente aporta bloques al material piroclástico.

El análisis de las relaciones de minerales densos dentro del depósito de flujo piroclástico que conforma la Ignimbrita de Coconuco, los cuales mostraron cambios de base a techo en la relación Bt/Px y Anf/Px. Así, se observa que la relación Bt/Px es en la base de 0,80 y en el techo de 0,40 y la relación Anf/Px cambia de 0,75 a 0,40, respectivamente.

Lo anterior, plantea una base enriquecida en minerales hidratados y un techo con abundantes minerales anhídridos, registrando posiblemente, de manera invertida, la zonación de la cámara magmática que pudo generar el depósito piroclástico, además permite apoyar la idea de que el evento eruptivo que dio origen a esta unidad, representó el desalojo de gran parte del material almacenado en la cámara magmática.

Los flujos de lava de Peña Negra y el río Anambio, asociados a los centros volcánicos ya extintos Chagartón y Pre-Puracé, respectivamente (Monsalve y Pulgarín, 1993) son andesitas y andesitas basálticas que exhiben características petrográficas similares, salvo que las más recientes, exhiben desequilibrio mineral, evidenciado por la presencia de cuarzo y olivino esqueletal. Las dos unidades exhiben una forma tabular y exhiben brechas de lava asociadas a la parte superior del flujo en el momento del emplazamiento. A partir de la evolución morfológica de la superficie, que tiene en cuenta el grado de incisión y disección de las corrientes de agua, se evidencia que las lavas de Peña Negra fueron depositadas antes que las lavas que conforman la unidad del río Anambio.

El depósito de flujo de bloques y ceniza de Pululo exhibe bloques de máximo 1 m de diámetro, subredondeados que evidencian abrasión de los bloques durante el transporte. Color gris cambiando localmente a rosado hacia la parte superior del depósito. Bloques de lava con fracturas de enfriamiento radial y prismático, debido a la contracción térmica. (Michol, et al. 2007) La coloración rosada es interpretada como oxidación por temperatura de la parte superior del

flujo, durante el emplazamiento (Cas & Wright, 1987; Fisher & Schmincke, 1984).

A partir de la naturaleza monolítica, se infiere un mismo tipo de magma durante el emplazamiento, su matriz lítica y teniendo en cuenta la comparación de las características del depósito y su semejanza con depósitos reportados (Heiken y Wohletz, 1987); se plantea que este depósito ha sido generado por la explosión o colapso gravitacional de un flujo de lava o domo volcánico (Miyabuchi, 1999). Durante su emplazamiento en la estructura volcánica, la cual puede presentar condiciones de baja resistencia por procesos de alteración avanzada, puede generar colapso de parte de la estructura y evolucionar como el colapso de un domo volcánico, que según su ubicación en la secuencia del río San Francisco, se puede asociar a la caldera de Chagartón.

En la unidad ignimbrita adosada de Pululó, se diferencian algunas unidades de flujo, conformadas por fragmentos lapilli y ceniza gruesa con buena selección (20% lapilli, 20% ceniza gruesa, 60% matriz); matriz soportado, de aspecto masivo, separados entre sí por capas con enriquecimiento en material fino, representado por fragmentos de cristales. En general, el alto contenido de cristales dentro de la matriz, en toda la secuencia, está indicando un magma con una historia de cristalización importante, previa a la erupción.

A partir de la comparación de los minerales densos presentes en la matriz de las diferentes unidades de flujo que conforman la Ignimbrita adosada de Pululó, se observa una variación en el anfíbol y piroxeno, siendo el anfíbol abundante hacia la base de la unidad y escaso en la parte superior del depósito, donde aumenta el contenido del piroxeno.

Esta característica, es considerada como evidencia de la zonación de la cámara magmática, así el depósito piroclástico producto de la erupción, tendrá una zonación inversa a la zonación del sistema magmático (Kamata et al., 1997). La forma de los fragmentos vítreos o *shards* permiten conocer la

historia previa y las características de la explosión que generó el depósito de flujo piroclástico pumítico o ignimbrita.

El origen del depósito de flujo de ceniza y escoria se correlaciona con el final de la etapa Pre- Puracé (Monsalve, 1991; Monsalve y Pulgarín., 1993). Este depósito, ha sido clasificado por (Monsalve, 1991) como el primero de cuatro eventos tipo San Vicente (Williams y Mc Birney 1979), asociados al volcán Puracé o estructuras anteriores.

Este tipo de depósitos, son generalmente de una gran movilidad que se explica en parte por el mecanismo de colapso de la mezcla de gas y sólidos que se forma. (Williams y Mc Birney 1979) Su emplazamiento fue controlado topográficamente, ubicándose hacia los sectores marginales de la cuenca del río San Francisco. En algunos sectores exhibe topografía homogénea, de baja disección y con baja pendiente, indicando que suavizando el terreno y que durante el emplazamiento presentaba alto grado de fluidización, posiblemente relacionado con la presencia de abundante material fino y además de su composición andesítica.

5.1.4 Geoquímica y génesis

En general, las texturas de desequilibrio son comunes y abundan en todas las muestras analizadas, indicando una inestabilidad entre los cristales en formación y el líquido circundante.

En lo referente a cristales y cristaloclastos de plagioclasa, presentan textura de absorción *sieve* o tamiz, indicando posiblemente cambios súbitos en las condiciones de presión y temperatura. También es común las inclusiones de material vítreo dentro de los cristales, algunos bordes redondeados, que podrían estar indicando la entrada de material a mayor temperatura, procedentes de cámaras magmáticas profundas pero interconectadas, lo que permitió unir magmas a diferentes temperaturas y por ende con diferentes estadios de cristalización, que genera texturas de mezcla, lo que fue planteado por Marín- Cerón (2007) para este sector de la zona volcánica.

La matriz de los depósitos piroclásticos presenta alto contenido de fragmentos de cristales, indicando un alto aporte de material juvenil o magmático al evento explosivo. La textura seriada en los cristales de plagioclasa es común en la mayoría de las muestras, pero es más clara en las coladas de lava.

Una importante característica petrológica encontrada en la unidad Ignimbrita de Coconucos, es el enriquecimiento de minerales hidratados (biotita, hornblenda) y con mayor grado de fragmentación hacia la base de la secuencia y por el contrario minerales anhídridos (piroxeno) de formas euhedrales en su mayoría.

Lo anterior, podría estar indicando una composición zonada y con mayor grado de fragmentación hacia la base de la secuencia, exhibiendo una zonación en minerales que sería inversa a la presentada en una cámara magmática durante los procesos de diferenciación, mezcla y cristalización.

Los cristales de ortopiroxeno se encuentran rodeados por cristales de clinopiroxeno, maclas y algunas veces bordes redondeados, embahiamiento e inclusiones.

Los escasos cristales de anfíbol en su mayoría hornblenda en los depósitos piroclásticos y oxihornblenda en las coladas de lava se presentan con coronas de reacción conformadas principalmente por minerales opacos.

Olivino se presenta como cristales euhedrales con reemplazamiento isomórfico por iddingsita. (Figura 46).

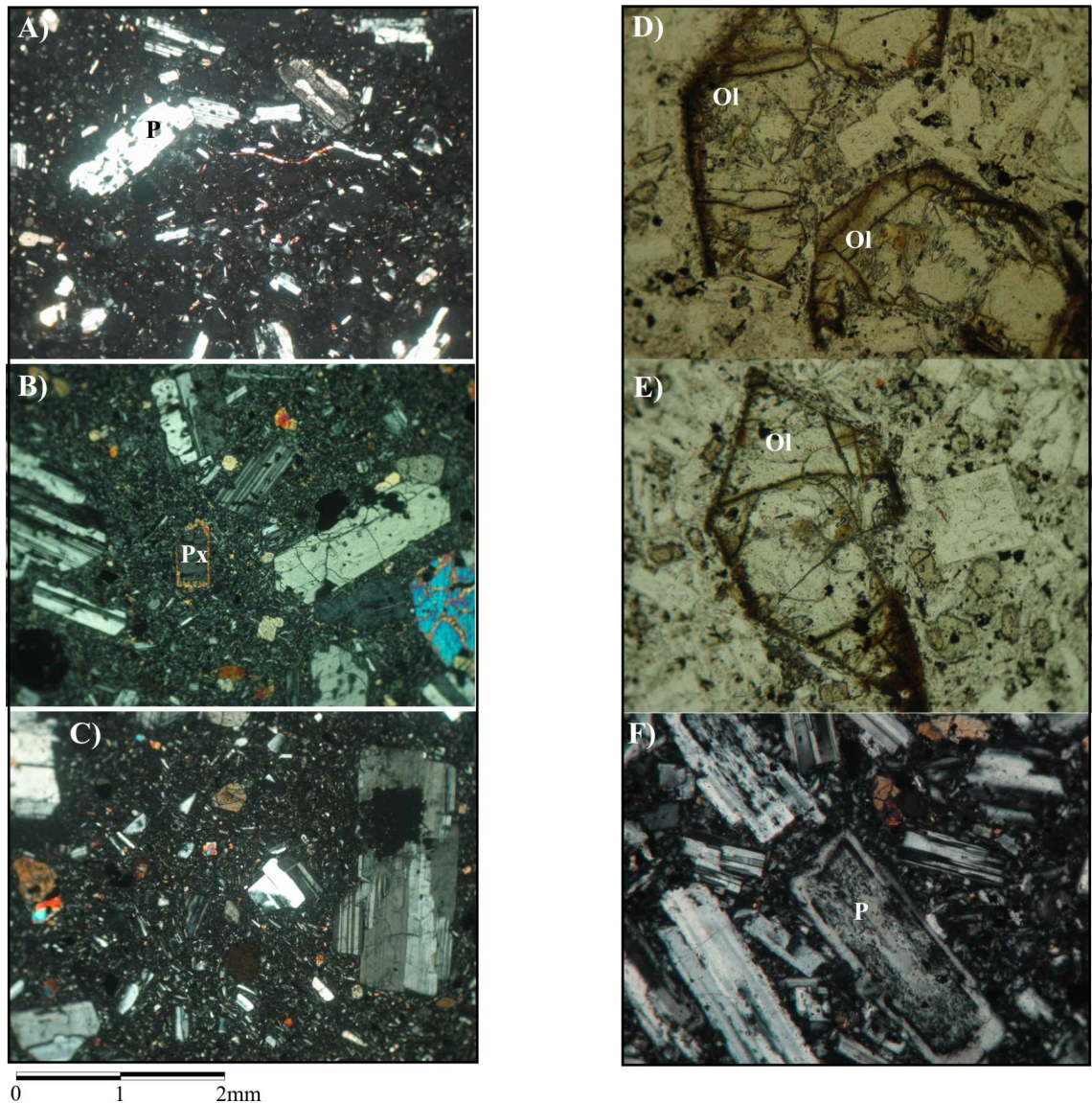


Figura 46 Diferentes texturas de disequilibrio en rocas volcánicas de la secuencia volcánica río San Francisco. A) Cristales de plagioclasa (P) con bordes redondeados e inclusiones de material vítreo. B) Cristal de ortopiroxeno (Px) con corona de clinopiroxeno (este proceso se conoce como uralitización) C) Cristal de plagioclasa (hacia la derecha de la microfotografía) con embahiamiento. D) y E) Cristales de olivino euhedrales parcialmente reemplazados por iddingsita. F) Cristal de plagioclasa con textura *sieve* o reabsorción y cristalización nueva.

Esta característica textural común tanto en unidades explosivas como efusivas aporta a lo planteado por Monsalve (1991) donde se explica que posiblemente es la mezcla de magmas la que genera el disequilibrio que puede causar una erupción volcánica.

Con base en la geoquímica de 20 de las rocas pertenecientes a la secuencia volcánica del río San Francisco, y en comparación con la geoquímica de los

productos recientes del actual volcán Puracé; se observa que las primeras presentan una tendencia de andesitas con K-medio, mientras que las últimas se localizan en el campo de las andesitas con K-alto. Esta diferencia, puede ser explicada a partir de: a) Cambios en las condiciones de la placa subducente y b) Variaciones en los tiempos de permanencia de los magmas en las cámaras magmáticas.

Para el arco volcánico del SW se cuenta con pocos estudios de geoquímica e isótopos que permiten identificar trazadores petrogenéticos. Actualmente se cuenta con tres modelos para el volcanismo en el suroccidente colombiano James y Murcia (1984) concluyen que la asimilación y cristalización fraccionada involucro la evolución del volcán Galeras con diferentes grados de contaminación cortical controlan los procesos de generación de los magmas; las diferencias geoquímicas se deben a la naturaleza del basamento, que le imprime altos contenidos de K a las rocas de los volcanes localizados sobre basamento metamórfico paleozoico. (Puracé y Doña Juana) es decir, se interpreta como contaminación cortical.

Droux y Delaloye (1996) sugieren que la lavas calcoalcalinas de la NVZ fueron derivadas de un manto primitivo que estaba enriquecido en Ba y en otros elementos del grupo del K por deshidratación o fusión parcial de un fragmento de la placa oceánica dentro de la astenósfera. En cámaras magmáticas superiores, el magma primitivo asciende y se mezcla con el magma andesítico-dacítico.

Estudios recientes de geoquímica isotópica sistemática en las rocas volcánicas recientes del suroccidente colombiano, propone que los procesos magmáticos son generados por la interacción de fluidos provenientes de la cuña mantélica y que son asimilados por los magmas de la corteza inferior (Marín-Cerón, 2007; Marín-Cerón et al., 2008)

5.2 Conclusiones

La Formación Coconucos está constituida por la intercalación e interdigitación de varios depósitos volcánicos provenientes de los centros eruptivos que conforman la Cadena volcánica de los Coconucos, así como de los depósitos generados a partir de estructuras volcánicas precursoras de los volcanes actuales; está limitada lateralmente por la Formación Popayán y rocas volcánicas no diferenciadas del Neógeno y Cuaternario. Estas últimas, hacen parte de la expuesta secuencia volcánica del río San Francisco.

En los alrededores de la margen noroccidental del volcán Puracé, se observa un paisaje agradacional, donde los diferentes eventos eruptivos permiten la acumulación de gran volumen de material, así como el aporte de sedimentos a las corrientes fluviales.

Seis unidades volcánicas, constituidas por cuatro depósitos de flujo piroclásticos y dos flujos de lava intercalados; fueron descritos, mapeados y correlacionados a lo largo del río San Francisco y sus vertientes; a partir del levantamiento de 350 m de columna estratigráfica.

La ignimbrita de Coconuco, la cual presenta alto contenido de cristales y representa el depósito de mayor distribución en el área y debido a sus características físicas, litológicas y morfológicas, se interpreta como una fase intracaldera, a la caldera de Paletará. Presenta dos unidades diferenciadas, la primera es una fase lítica con cristalización de la fase vapor y la segunda es una fase de brecha co-ignimbrítica. Presenta fragmentos de madera carbonizada, evidencia de emplazamiento a altas temperaturas.

El depósito de flujo de bloques y ceniza de Pululó, exhibe una característica monolítica, con bloques andesíticos que presentan estructuras con evidencias de emplazamiento a altas temperaturas (fracturas por contracción). Presenta dos fases; la primera de coloración gris y soldamiento débil y la segunda de coloración rosado, por oxidación térmica.

La ignimbrita adosada que presenta varias unidades de flujo de espesor que varían entre 10 cm y 15 m cada una aproximadamente; altamente pumítico, dentro de las cuales la mayoría de los clastos son tamaño lapilli y son estos los que definen las estructuras de bandeamiento composicional.

Dos unidades de flujo de lava: Flujo de lava de Peña Negra y flujo de lava de río Anambio, que están asociados según morfología de las coladas lávicas y la distribución a las estructuras de Chagartón y Pre-Puracé, respectivamente. Las dos unidades efusivas definidas, presentan características mineralógicas muy similares.

Por último, un depósito de flujo de escoria que esta reflejando de nuevo la fase explosiva del sistema, presenta alto contenido (mas del 90%) de material juvenil, además esta mostrando la entrada de material nuevo, (magmas profundos), siendo un indicio de los cambios en el volcanismo y entrada de material, que asciende hacia de las cámaras magmáticas más someras.

Los análisis geoquímicos de las rocas pertenecientes a la secuencia volcánica del río San Francisco, permiten clasificarlas en andesitas y dacitas con tendencia calco- alcalina. Las rocas de la unidad denominada Lavas del río Anambio asociadas a la estructura Pre-Puracé, se localizan en el campo de las andesitas con K-alto. El resto de las rocas se localizan en el campo de las andesitas con K- medio. Esta característica permite realizar la diferenciación de las unidades volcánicas más antiguas localizadas en el campo de las andesitas con K-medio mientras que las rocas más recientes se localizan en el campo de las andesitas con K-alto.

Los análisis petrográficos permitieron la identificar como denominador común en todas las rocas volcánicas analizadas, texturas de desequilibrio como reabsorción, embahiamiento en cristales, zonación, redondeamiento de bordes de cristales, entre otras, que estarían reflejando la historia magmática de los magmas que generaron las diferentes erupciones volcánicas.

La presencia de las texturas de desequilibrio en las muestras analizadas, es un indicio de que los procesos de mezclas de magmas de diferentes cámaras magmáticas, sea el proceso desencadenante de las erupciones volcánicas.

En general, las variaciones identificadas a partir de elementos mayores y algunos trazas, permiten corroborar de manera inicial las diferentes condiciones para la formación de los depósitos volcánicos que conforman la secuencia volcánica del río San Francisco.

Se observa una tendencia caótica en los elementos traza graficados, indicando los diferentes procesos de desequilibrio que afectaron los magmas antes del evento eruptivo.

Las texturas de desequilibrio son comunes en todas las muestras sin diferenciar entre depósitos de origen explosivo y las coladas de origen efusivo. Este escenario se relaciona con cambios súbitos en las condiciones físicas del magma, que en general se relacionan a presión, temperatura y volumen, por lo general respuesta de una mezcla de magmas, uno proveniente de niveles inferiores dentro de la cámara magmática.

A partir de los análisis petrográficos de las diferentes rocas que hacen parte de la secuencia volcánica del río San Francisco se identifica en común texturas de desequilibrio mineral en su mayoría bordes de reacción, reabsorción y reemplazamiento que son reflejo de cambios importantes en las condiciones físicas de las cámaras magmáticas o indicadores de mezclas de magmas.

6 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Alemán, A. y Ramos, V.A. 2000. Northern Andes. En: Tectonic evolution of South America (Cordani, U.G., Milani, E.J., Thomaz Filho, A., Campos, D.A.; editores). Congreso Internacional de geología, No. 31, 453-480. Río de Janeiro.

Barreto, S.G. 2004. Tomografía sísmica de atenuación Qc en el volcán Puracé, departamento del Cauca, Colombia. Tesis de grado. Universidad Nacional de Colombia, Bogotá

Branney, M.J. y Kokelaar, B.P. 2002. Pyroclastic density currents and the sedimentation of ignimbrites. Geological Society, London, Memoirs, 27.

Cas, R.A.F. y Wright, J.V., 1987. Volcanic Successions; modern and ancient. Chapman and Hall, London, 528p.

Case, J.E., Duran, S.L.G., Lopez, R.A. y Moore, W.R. 1971. Tectonic investigations in western Colombia and eastern Panama. Geological Society of America Bulletin 82 (10), 2685–2712.

Cepeda, H. 1987. Investigaciones petrológicas en el ámbito de las planchas 429-Pasto, 410-La Unión, con especial énfasis en el complejo volcánico Galeras. Bol. Geol. Ingeominas 30, 45– 113.












Cepeda, H. y Carvajal, C., 1991. Determinación del grado de actividad actual del volcán Galeras. Convenio INGEOMINAS - COLCIENCIAS, Popayán, 94 p.

De Silva, S.L., Francis, P.W., 1989. Correlation of large ignimbrites two case studies from the Central Andes of N. Chile. Journal of Volcanology and Geothermal Research 37 (2), 133–149.

**MAPA GEOLÓGICO
ALREDEDORES DEL RÍO SAN FRANCISCO.
MUNICIPIO DE PURACÉ (CAUCA)**

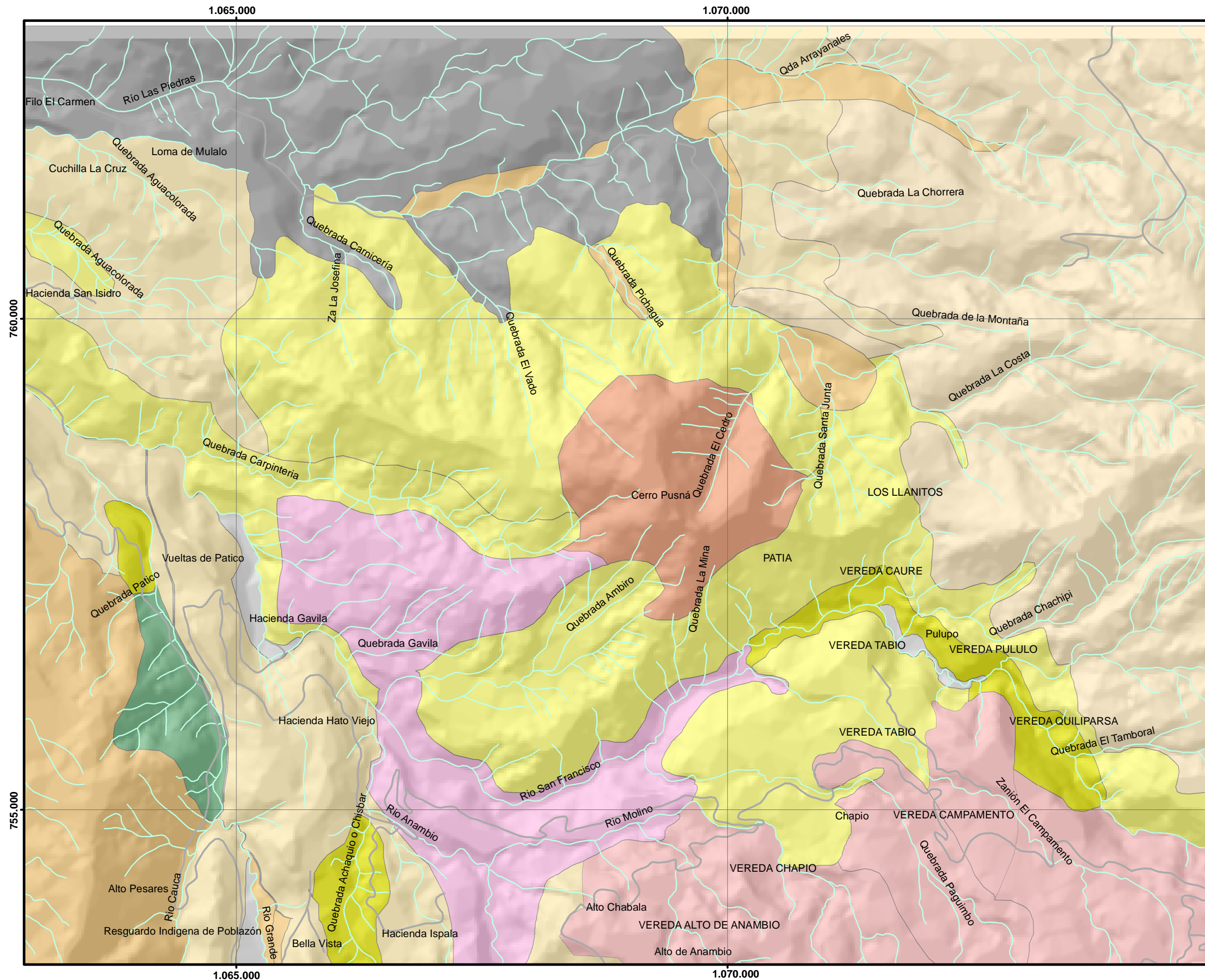
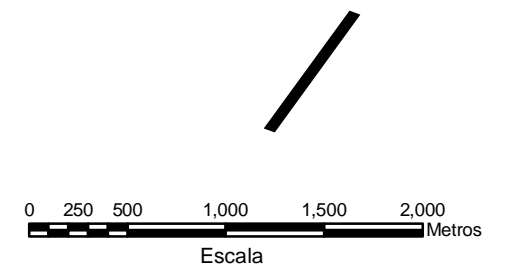
LEYENDA

Unidades geológicas

-  Depósito aluvial
-  Depósito de vertiente
-  Depósito de flujo de lodos de Cajibío
-  Depósito de flujo de ceniza y escoria río San Francisco
-  Flujos de lava del río Anambio
-  Ignimbrita adosada de Puluó
-  Depósito de flujo de bloques y ceniza de Puluó
-  Flujos de lava de Peña Negra
-  Ignimbrita de Coconuco
-  Depósito de flujo de ceniza
-  Complejo Quebradagrande

**Secuencia volcánica
Río San Francisco**

Modelo de sombras Base de representación Azimutal 315° Altitud 45 m



ANEXO 1
INFORMACIÓN DE CAMPO

ESTACIONES DE CAMPO SECTOR RÍO SAN FRANCISCO			
Estación	Ubicación	Coordenada Este	Coordenada Norte
SESW007	Río San Francisco, curva del Niño Jesús	1,066,684	755,477
SESW008	Río San Francisco, margen izquierda	1,066,982	755,556
SESW009	Río San Francisco, camino de las Chozas	1,065,930	756,135
SESW010	Río San Francisco, camino de las Chozas	1,064,687	758,246
SESW011	Río San Francisco, camino de las Chozas	1,065,151	757,361
SESW012	Río San Francisco, camino de las Chozas	1,065,348	756,511
SESW013	Río San Francisco, camino de las Chozas	1,065,219	756,433
SESW014	Río San Francisco, camino de las Chozas	1,065,057	756,871
SEWE015	Río San Francisco, camino de las Chozas	1,065,043	757,037
SESW016	Margen izquierda río San Francisco entre río Anambio y sector puente seco.	1,065,164	756,163
SESW017	Margen izquierda río San Francisco entre río Anambio y sector puente seco.	1,066,744	755,512
SESW018	Margen izquierda río San Francisco entre río Anambio y sector puente seco.	1,066,804	755,368
SESW019	Margen izquierda río San Francisco entre río Anambio y sector puente seco.	1,066,831	755,262
SESW020	Margen izquierda río San Francisco entre río Anambio y sector puente seco.	1,066,930	755,589
SESW021	Margen izquierda río San Francisco entre río Anambio y sector puente seco.	1,066,269	756,154
SESW022	Margen izquierda río San Francisco entre río Anambio y sector puente seco.	1,067,345	755,371
SESW023	Margen izquierda río San Francisco entre río Anambio y sector puente seco.	1,067,630	754,911
SESW024	Margen izquierda río San Francisco entre río Anambio y sector puente seco.	1,067,883	754,918
SESW025	Río San Francisco entre sector puente seco y población de Puracé	1,067,921	754,779
SESW026	Río San Francisco entre sector puente seco y población de Puracé	1,068,394	755,072

SESW027	Río San Francisco entre sector puente seco y población de Puracé	1,068,720	755,288
SESW028	Río San Francisco entre sector puente seco y población de Puracé	1,068,820	755,170
SESW029	Río San Francisco entre chorrera entre río Vinagre y sector de Pululó	1,070,240	756,935
SESW030	Río San Francisco entre chorrera entre río Vinagre y sector de Pululó	1,071,035	757,130
SESW031	Río San Francisco entre chorrera entre río Vinagre y sector de Pululó	1,071,751	757,484
SESW032	Cantera Patico vía sobre margen de la vía principal que conduce al municipio de Coconuco	1,064,027	757,134
SESW 034	Río San Francisco entre chorrera entre río Vinagre y sector de Pululó	1,071,751	756,958
SESW 035	Recorrido entre los sectores Tabío y Pululó	1,071,658	756,674
SESW036	Recorrido entre los sectores Tabío y Pululó	1,071,551	756,677
SESW037	Recorrido entre los sectores Tabío y Pululó	1,071,505	756,665
SESW038	Margen derecha río Anambio	1,067,445	753,693
SESW039	Margen derecha río Anambio	1,069,176	754,627
SESW040	Margen derecha río Anambio	1,068,783	753,345
SESW041	Margen derecha río Anambio	1,068,619	754,033
SESW042	Río San Francisco entre sector Pululó y sector Tabío	1,072,199	756,331
SESW043	Río San Francisco entre sector Pululó y sector Tabío	1,072,311	756,222
SESW044	Río San Francisco entre sector Pululó y sector Tabío	1,072,682	756,413
SESW045	Río San Francisco entre sector Pululó y sector Peña Negra	1,072,907	756,213
SESW046	Río San Francisco entre sector Pululó y sector Peña Negra	1,072,925	756,133
SESW047	Río San Francisco entre sector Pululó y sector Peña Negra	1,072,953	755,958
SESW048	Río San Francisco entre sector Pululó y sector Peña Negra	1,072,883	755,868
SESW049	Quebrada La Carpintería	1,064,520	758,619
SESW050	Quebrada La Carpintería	1,064,776	758,593
SESW051	Quebrada La Carpintería	1,065,050	758,478
SESW052	Quebrada La Carpintería	1,065,296	758,455
SESW053	Quebrada La Carpintería	1,066,841	754,751

SESW054	Vía principal que conduce al municipio de Puracé desde Popayán después de cruce sobre el río Cauca.	1,064,517	756,970
SESW083	Sector Peña Negra, Tabío	1,072,320	756,149
SESW084	Sector Peña Negra, Tabío	1,072,628	756,402
SESW085	Sector Peña Negra, Tabío	1,073,286	755,779
SESW092	Cerro Pusnásobre el sector de Patía y Pululó	1,069,951	757,938
SESW093	Cerro Pusnásobre el sector de Patía y Pululó	1,069,761	757,285
SESW095	Cerro Pusnásobre el sector de Patía y Pululó	1,071,492	757,762
SESW096	Cerro Pusnásobre el sector de Patía y Pululó	1,071,184	757,816
SESW097	Cerro Pusnásobre el sector de Patía y Pululó	1,070,684	757,945
SESW098	Sectores Pululó, Puente Seco y camino Las Chozas	1,067,998	754,787
SESW099	Sectores Pululó, Puente Seco y camino Las Chozas	1,065,063	757,022
SESW100	Sectores Pululó, Puente Seco y camino Las Chozas	1,067,860	754,800
SESW101	Sectores Pululó, Puente Seco y camino Las Chozas	1,066,339	756,075
SESW102	Sectores Pululó, Puente Seco y camino Las Chozas	1,066,936	756,361
SESW103	Sectores Pululó, Puente Seco y camino Las Chozas	1,066,500	753,100
SESW104	Sectores Pululó, Puente Seco y camino Las Chozas	1,068,525	754,703
SESW105	Sector Pululó, carretera que conduce de Puracé a la vereda Campamento	1,071,566	756,685
SESW106	Sector Pululó, carretera que conduce de Puracé a la vereda Campamento	1,072,016	755,106
SESW107	Sector Pululó, carretera que conduce de Puracé a la vereda Campamento	1,073,495	754,681

ANEXO 2
ANALISIS PETROGRÁFICO

N° IGM: 920417	Plancha: 365 I A	Origen: Oeste	Escala: 1 : 25.000	X: 1,065,164	
N° de campo: SESW 016a				Y: 756,163	
Recolector: Sandra López, Eliana Cañola				Z: 2,220	
Fecha análisis: 28/08/2007	Localidad: Vía Popayán - Puracé, Cantera de lavas				
Analizador: Sandra López	Municipio: Puracé	Departamento: Cauca			
Número de puntos de conteo: 508	Sección delgada <input checked="" type="checkbox"/>	Sección delgada pulida <input type="checkbox"/>			
DESCRIPCIÓN MACROSCÓPICA:					
Roca masiva masiva, compacta, inequigranular, porfídica con fenocristales de plagioclasa y piroxeno. Es de color gris y está fresca. El afloramiento presenta estructura columnar de enfriamiento. Se clasifica como lava fenoadesitoide.					
ANÁLISIS MICROSCÓPICO					
Textura general (cristalinidad, granularidad, forma de los cristales y empaquetamiento)					
Roca holocristalina, inequigranular, porfídica, seriada, con tres (3) tamaños en fenocristales de plagioclasas y piroxenos. Los componentes de esta roca son:					
Plagioclasa representada por cristales euhedrales a subhedrales, de forma tabular; los cristales están maclados según Albita y su composición es Andesina con un 40% de Anortita. Es común reabsorción por material de la matriz en el centro de los cristales grandes y textura sieve en los cristales medianos. La plagioclasa se presenta en cristales aislados en textura cumulo porfídica.					
Piroxenos se presentan como fenocristales subhedrales a anhedrales. Los ortopiroxenos (hiperstena) son cristales rómbicos y están fracturados, los cristales grandes en algunos casos tienen inclusiones de circones; los clinopiroxenos (augita) tienen en algunos cristales maclas. Se presentan como cristales aislados y en textura cumulo porfídica.					
Opacos son pequeños cristales anhedrales y están como cristales aislado y en textura cumulo porfídica.					
Matriz está compuesta por microlitos de plagioclasa y opacos, primando la plagioclasa.					
Texturas particulares :					
Seriate tres (3) tamaños de cristales se presentan en los fenocristales de plagioclasa y piroxenos					
Cumulo porfídica cristales de plagioclasa, ortopiroxeno, clinopiroxeno y opacos se agrupan en cúmulos					
Sieve presente en los cristales medianos de plagioclasa, la reacción se desarrolla como un anillo delgado entre el borde y el centro del cristal o como un relleno del mineral que sólo deja un borde externo sin alterar					
Uralitización cristales de ortopiroxeno son bordeados por clinopiroxeno					
Poiquilitica dentro de los cristales de plagioclasa se encuentran cristalitas de ortopiroxeno y opacos					
COMPONENTES					
Cristales	%	Matriz	%	Otros	%
Plagioclasa	33	Microlítica con plagioclasa y opacos	52		
Piroxeno Augita	4				
Hiperstena	9				
Opacos	2				
Interpretación:					
Al menos tres pulsos de enfriamiento tuvo la roca evidenciado en los tamaños de la plagioclasa y los piroxenos; entre los dos pulsos finales de enfriamiento, una posible inyección de nuevo magma produce desestabilización en las plagioclasas, generando la textura sieve y la reabsorción. Los pulsos de enfriamiento son evidenciados también en la textura poiquilitica, pues los cristales preexistentes de ortopiroxeno fueron encerrado por cristales más jóvenes de plagioclasa.					
Clasificación Le Maitre (2002)			Fenoandesita		

N° IGM: 920418	Plancha: 365 I A	Origen: Oeste	Escala: 1 : 25.000	X: 1,065,164	
N° de campo: SESW 016b				Y: 756,163	
Recolector: Sandra López, Eliana Cañola				Z: 2,220	
Fecha análisis: 28/08/2007	Localidad: Vía Popayán - Puracé, Cantera de lavas				
Analizador: Sandra López	Municipio: Puracé	Departamento: Cauca			
Número de puntos de conteo: 510	Sección delgada <input checked="" type="checkbox"/>	Sección delgada pulida <input type="checkbox"/>			
DESCRIPCIÓN MACROSCÓPICA:					
Roca masiva, compacta, inequigranular, porfídica con fenocristales de plagioclasa y piroxeno. Color gris y está fresca. Esta muestra representa la brecha de lava presente en el afloramiento. Se clasifica como lava fenoandesitoide.					
ANÁLISIS MICROSCÓPICO					
Textura general (cristalinidad, granularidad, forma de los cristales y empaquetamiento)					
Roca holocristalina, inequigranular, porfídica, seriada (dos generaciones de fenocristales) Los componentes de esta roca son:					
Plagioclasa son cristales euhedrales a subhedrales, de forma tabular; los cristales están maclados según Albita y su composición es Andesina con un 35% de Anortita, en pocos cristales está la macla Carlsbad. Hay reabsorción y textura sieve en los cristales. Es común encontrar en los fenocristales inclusiones de ortopiroxenos y opacos. Se presenta en cristales aislados y en textura cumulo porfídica.					
Piroxenos se presentan como fenocristales subhedrales, como cristales aislados y en textura cumulo porfídica. Algunos cristales de ortopiroxeno (hiperstena) tienen fractura diente de perro; en general los cristales están fracturados y algunos están maclados.					
Olivino se presentan como cristales aislados, con desarrollo euhedral a subhedral					
Opacos en pequeños cristales subhedrales, se presentan aislados, dentro de los ortopiroxenos y textura cumulo porfídica.					
Matriz es microcristalina compuesta por microlitos de plagioclasa y opacos, con textura de flujo incipiente.					
Texturas particulares :					
Seriate dos (2) tamaños de cristales se presentan en los fenocristales					
Cumulo porfídica cristales de plagioclasa, ortopiroxeno, clinopiroxeno y opacos se agrupan en cúmulos					
Uralitización cristales de ortopiroxeno son bordeados por clinopiroxeno					
Sieve presente en los cristales de plagioclasa, la reacción se desarrolla como un delgado anillo entre el borde y el centro del cristal o como un relleno del mineral que sólo deja un borde externo sin alterar.					
COMPONENTES					
Cristales	%	Matriz	%	Otros	%
Plagioclasa	36.5	Microlítica con plagioclasa, opacos	53.2		
Piroxeno Augita	2.9				
Hiperstena	5.0				
Opacos	1.9				
Olivino	0.4				
Interpretación:					
Similar a la roca SESW016a varios pulsos de enfriamiento tuvo la roca evidenciado en los tamaños de la plagioclasa y los piroxenos y una inyección de nuevo magma produce desestabilización en las plagioclasas, generando la textura sieve y la reabsorción. Esta roca representa el cuerpo de lava y la anterior la brecha de lava asociada.					
Clasificación Le Maitre (2002)			Fenoandesita		

N° IGM: 920419	Plancha: 365 I A	Origen: Oeste	Escala: 1 : 25.000	X: 1,066,930	
N° de campo: SESW 020a				Y: 755,589	
Recolector: Sandra López, Eliana Cañola				Z: 2,165	
Fecha análisis: 28/08/2007	Localidad: Margen derecha del río San Francisco, 60 m aguas abajo del puente sobre el río en el sector El Hato				
Analizador: Sandra López	Municipio: Puracé	Departamento: Cauca			
Número de puntos de conteo: 503	Sección delgada <input checked="" type="checkbox"/>	Sección delgada pulida <input type="checkbox"/>			
DESCRIPCIÓN MACROSCÓPICA:					
Roca masiva, compacta, inequigranular, porfídica con fenocristales de plagioclasa y anfíbol. Color gris. Se clasifica como una lava fenoandesitoide.					
ANÁLISIS MICROSCÓPICO					
Textura general (cristalinidad, granularidad, forma de los cristales y empaquetamiento)					
Roca holocristalina, inequigranular, porfídica, con fenocristales casi equidimensionales					
Los componentes de esta roca son:					
Plagioclasa se presenta en fenocristales euhedrales a subhedrales, de forma tabular y están como cristales aislados. Los cristales están maclados según Albita, en pocos cristales se presenta la macla Carlsbad y de periclina. Algunos cristales tienen zonación oscilatoria no. La plagioclasa en Andesina con el 33% de contenido de Anortita. La textura sieve es común en los fenocristales.					
Piroxenos son fenocristales subhedrales a anhedrales, están fracturados y se presentan como cristales aislados. Se encuentra ortopiroxeno (hiperstena) y clinopiroxeno (augita). Los cristales presentan una incipiente alteración hacia los bordes.					
Olivino en cristales euhedrales, aislados, fracturados y con opacos en el interior					
Anfíbol son cristales subhedrales y se presentan como cristales aislados, están muy alterados y tienen un borde de opacos					
Opacos son pequeños cristales anhedrales.					
Matriz está compuesta por microlitos de plagioclasa y opacos, y se presentan vesículas.					
Texturas particulares :					
Sieve presente en los cristales medianos de plagioclasa, la reacción se desarrolla como un delgado anillo entre el borde y cristal o como un relleno del mineral que sólo deja un borde externo sin alterar.					
COMPONENTES					
Cristales	%	Matriz	%	Otros	%
Plagioclasa	38.6	Microlítica con plagioclasa y opacos	53.1	Vesículas	2.0
Piroxeno Augita	1.9				
Hiperstena	0.6				
Opacos	3.8				
Interpretación:					
Un período de estabilidad en la cámara magmática es representado por la equidimensionalidad de los cristales de plagioclasa, sin embargo una entrada nueva de material hace reaccionar las plagioclasas y generar la zonación de éstas. La presencia de bordes de opacos alrededor de los anfíboles indica también un período largo de estabilidad en la cámara magmática.					
Clasificación Le Maitre (2002)			Fenoandesita		

N° IGM: 920420	Plancha: 365 I A	Origen: Oeste	Escala: 1 : 25.000	X: 1,067,345	
N° de campo: SESW 022a				Y: 755,371	
Recolector: Sandra López, Eliana Cañola				Z: 2,240	
Fecha análisis: 30/08/2007	Localidad: Margen izquierda del río San Francisco, camino de herradura hacia la finca El Hato				
Analizador: Sandra López	Municipio: Puracé	Departamento: Cauca			
Número de puntos de conteo: 511	Sección delgada <input checked="" type="checkbox"/>	Sección delgada pulida <input type="checkbox"/>			
DESCRIPCIÓN MACROSCÓPICA:					
Roca masiva, compacta, inequigranular, textura porfídica con fenocristales de plagioclasa y anfíbol. Color gris. Se clasifica como Lava fenoandesitoide.					
ANÁLISIS MICROSCÓPICO					
Textura general (cristalinidad, granularidad, forma de los cristales y empaquetamiento)					
Roca holocristalina, inequigranular con textura general porfídica. Una incipiente textura de flujo hay en la matriz. Los componentes de esta roca son:					
Plagioclasa son fenocristales euhedrales, de forma tabular, y maclados según Albita de composición Andesina con 30% de Anortita. En general se presenta como cristales aislados y con textura sieve.					
Anfíbol son cristales euhedrales a subhedrales, con forma rómbica y tabular. En general tienen una concentración de minerales opaco en el borde del cristal definiendo la forma, al interior el mineral está muy alterado y queda muy poco del mineral original, posiblemente está reemplazado por clorita.					
Opacos en cristales subhedrales a anhedrales; se encuentran aislados y formando el borde de los anfíboles					
Matriz criptocristalina con textura de flujo en algunos sectores					
Texturas particulares :					
Sieve presente en los cristales de plagioclasa, la reacción se desarrolla como un delgado anillo entre el borde y el centro del cristal o como un relleno del mineral que sólo deja un borde externo sin alterar.					
COMPONENTES					
Cristales	%	Matriz	%	Otros	%
Plagioclasa	37.9	Criptocristalina	35.2	Fragmento de roca	4.1
Anfíbol	6.9				
Opacos	15.9				
Interpretación					
La textura sieve indica un nuevo pulso magmático a la cámara cuando se había iniciado la cristalización; la concentración de opacos alrededor del anfíbol se da en la fase final de la cristalización sin embargo se da antes del ascenso del magma a superficie pues la textura de flujo de la matriz puede ser indicadora del enfriamiento en superficie.					
Clasificación Le Maitre (2002)			Fenoandesita		

N° IGM: 920462	Plancha: 365 I A	Origen: Oeste	Escala: 1:25.000	X: 1,067,630		
N° de campo: SESW 023b				Y: 754,911		
Recolector: Sandra López, Eliana Cañola				Z: 2,310		
Fecha del análisis: 03/09/2007	Localidad: Margen izquierda del río San Francisco, escarpe de Puente Seco					
Analizador: Sandra López	Municipio: Puracé		Departamento: Cauca			
Número de puntos de conteo: 512	Sección delgada <input checked="" type="checkbox"/>		Sección delgada pulida <input type="checkbox"/>			
DESCRIPCIÓN MACROSCÓPICA:						
Roca masiva, inequigranular, con matriz de color gris oscuro con piroxenos, plagioclasa, líticos y escoria que presenta estructura fiamme. Esta roca es la matriz de un depósito de ceniza y escoria y es clasificada como Ignimbrita.						
ANÁLISIS MICROSCÓPICO						
Textura general (cristalinidad, granularidad, forma de los cristales y empaquetamiento)						
Roca hipocristalina, inequigranular, vitrofídica. Los componentes de la roca son: Plagioclasa son cristales tabulares, euhedrales, están maclados según Albite y su composición es Andesina con 32% de Anortita; se encuentran algunos cristales con macla Carlsbad. Tienen reabsorción por el material de la matriz en su interior; se observan inclusiones de circones y se presentan como cristales aislados. Piroxenos se presentan como fenocristales subhedrales - anhedrales. Se encuentra ortopiroxeno (hiperstena) y clinopiroxeno (augita). Algunos cristales están fracturados y es común encontrar inclusiones de opacos y apatitos. Se encuentran como cristales aislados. Opacos son cristales anhedrales que se encuentran como cristales aislados, en la matriz y como inclusiones en otros minerales Fragmentos de ignimbrita roca holocristalina con textura vitrofídica y fenocristales de plagioclasa y piroxenos, opacos y shards Fragmentos de roca con textura porfídica, inequigranular con vidrio y plagioclasa orientada en la matriz y fenocristales de plagioclasa, piroxeno y opacos. Matriz de composición vítrea con textura de flujo y vesículas						
Texturas particulares :						
Poiquilitica los fenocristales de plagioclasa y piroxeno tienen en su interior cristales pequeños de circones y opacos						
COMPONENTES						
Cristales		%	Matriz	%	Otros	%
Plagioclasa		33.7	Vítrea	34.5	Fragmento de roca	6.2
Piroxeno Augita		3.1			Fragmento de ignimbrita	6.7
Hiperstena		7.8			Vesículas	5.7
Opacos		2.3				
Interpretación:						
Un flujo de depósitos piroclástico de composición básica y muy explosivo es representado por la presencia de piroxenos y vesículas, también la presencia de fragmentos de otra ignimbrita indica la fuerza de la explosión, posiblemente los fragmentos de roca presentes son fragmentos accidentales. La presencia de estructura fiamme en la roca indica la compactación del material aun caliente en superficie.						
Clasificación Le Maitre (2002) Fisher y Smincke (1984)				Matriz Depósito de flujo de ceniza y escoria del río San Francisco		

N° IGM: 920421	Plancha: 365 I A	Origen: Oeste	Escala: 1 : 25.000	X: 1,068,820	
N° de campo: SESW 028a				Y: 755,170	
Recolector: Sandra López, Eliana Cañola				Z: 2,450	
Fecha análisis: 28/08/2007	Localidad: Margen izquierda del río San Francisco en cercanías de la chorrera de Las Monjas				
Analizador: Sandra López	Municipio: Puracé	Departamento: Cauca			
Número de puntos de conteo: 546	Sección delgada <input checked="" type="checkbox"/>	Sección delgada pulida <input type="checkbox"/>			
DESCRIPCIÓN MACROSCÓPICA:					
Roca masiva, compacta, inequigranular, porfídica con fenocristales de plagioclasa y piroxeno en una matriz afanítica vítrea y con vesículas. La muestra presenta una apariencia escoriacea en la superficie. Se clasifica como Lava fenoandesitoide.					
ANÁLISIS MICROSCÓPICO					
Textura general (cristalinidad, granularidad, forma de los cristales y empaquetamiento)					
Roca hipocristalina, inequigranular, porfídica, seriada con tres tamaños de fenocristales. Los componentes de esta roca son:					
Plagioclasa son cristales tabulares, euhedrales, con almenos tres tamaños; en general tienen fracturamiento poligonal y la mayoría de los cristales están maclados según Albita y la composición es Andesina con 32% de Anortita; algunos cristales tienen una ligera zonación oscilatoria normal. Se presentan algunos cristales fracturados y otros tienen material de la matriz (Reabsorción)					
Piroxenos son fenocristales subhedrales y se presentan como cristales aislados. Se encuentra ortopiroxeno (hiperstena) y clinopiroxeno (augita). Se observan cristales maclados, y cristales con borde de opacos					
Oxianfibol cristales subhedrales, aislado con un borde homogéneo a su alrededor definiendo la textura corona					
Olivino son cristales subhedrales aislados y son muy pocos en la sección					
Opacos en pequeños cristales anhedrales.					
Matriz criptocristalina con vidrio y vesículas					
Fragmento de roca constituidos por plagioclasa, opacos y ortopiroxenos (hiperstena)					
Texturas particulares :					
Seriata tres (3) tamaños de cristales se presentan en los fenocristales de plagioclasa					
Corona definida para los cristales de oxianfibol y algunos piroxenos					
COMPONENTES					
Cristales	%	Matriz	%	Otros	%
Plagioclasa	19.0	Criptocristalina con vidrio	59.5	Vesículas	6.3
Piroxeno Augita	3.8				
Hiperstena	3.1				
Opacos	3.6				
Olivino	0.2				
Oxianfibol	4.8				
Interpretación					
Una estadía prolongada en la cámara magmática es evidenciada por la corona de reacción de los minerales, un pulso posterior desestabiliza las condiciones y genera la reabsorción de las plagioclasas, el cual es acompañado con material gaseosos que genera las vesículas. Esta lava es considerada la fase final del flujo piroclástico que generó la toba soldada de cristales y bloques SESW023b.					
Clasificación Le Maitre (2002)			Fenoandesita		

N° IGM: 920422	Plancha: 365 I A	Origen: Oeste	Escala: 1: 25.000	X 1,069,181		
N° de campo: SESW028b				Y 755,321		
Recolector: Sandra López- Eliana Cañola				Z 2,422		
Fecha del análisis: 15/09/2007	Localidad: Desembocadura del río Vinagre al río San Francisco margen sur.					
Analizador: Eliana Cañola	Municipio: Puracé	Departamento: Cauca				
Número de puntos de conteo: 500	Sección delgada <input checked="" type="checkbox"/>	Sección delgada pulida <input type="checkbox"/>				
DESCRIPCIÓN MACROSCÓPICA:						
Roca masiva, compacta, matriz afanítica, inequigranular, con fenocristales de plagioclasa y piroxeno textura porfídica, color general negro. Se clasifica como lava fenoandesitoide.						
ANÁLISIS MICROSCÓPICO						
Textura general (cristalinidad, granularidad, forma de los cristales y empaquetamiento)						
Roca hipocristalina, de matriz afanítica, inequigranular presentando como textura general porfídica. Los componentes de esta roca son:						
Plagioclasa fenocristales euhedrales a subhedrales. La zonación de los cristales es oscilatoria normal, maclado según albita y albita-Carlsbad. La plagioclasa en una Oligoclasa con el 25% de contenido de Anortita.						
Piroxenos se presentan como fenocristales subhedrales a anhedrales, hay presencia de augita e hiperstena, siendo más abundante el otopiroxeno, hiperstena.						
Oxianfibol Cristales subhedrales que presentan color rojo intenso.						
Opacos en pequeños cristales anhedrales, haciendo parte de la matriz.						
Matriz está compuesta por abundantes microlitos de plagioclasa y en menor proporción pequeños cristales anhedrales de minerales opacos. Hay presencia de vidrio subordinado a intersticios entre los cristales.						
Fragmentos de roca Son fragmentos de líticos cognatos, pues no presentan grandes diferencias composicionales con la roca descrita.						
Vesículas De forma subredondeadas y pequeñas						
Texturas particulares :						
Seriate la plagioclasa presenta una gradación en el tamaño, esto se observa en toda la roca.						
Cumuloporfídica Grandes cristales de plagioclasa euhedrales que se han unido con cristales de hipersteno y opacos, hasta formar cúmulos de cristales.						
Corona Cristales euhedrales de piroxeno que han sido rodeados por pequeños cristales anhedrales de minerales opacos.						
Poiquilitica Cristales grandes y euhedrales de plagioclasa que presentan inclusiones de cristales pequeños de piroxeno, opacos y en menor proporción de apatito y circón.						
Sieve la mayoría de los cristales grandes de plagioclasa presentan desequilibrio y/o inclusiones de material fundido.						
COMPONENTES						
Cristales		%	Matriz	%	Otros	%
Plagioclasa	1era generación	20.4	Microlítica con plagioclasa, opacos y vidrio	45.4	Vesículas	3.2
	2da generación	9.6				
Piroxeno	Hiperstena	16.8				
Oxianfibol		0.8				
Opacos		3.8				
Interpretación: la roca se emplazo cerca de la superficie en un estado muy avanzado de cristalización, debido a la existencia limitada de vidrio en la matriz. A partir del análisis de la texturas que presenta la primera generación de cristales de plagioclasa, se puede concluir que ocurrió un desequilibrio en la cámara magmática, posiblemente por descompresión que genero embahamiento de cristales reacción de éstos con el fundido circundante, generando la textura sieve. Los primeros estadios de cristalización se dieron bajo condiciones óptimas para permitir la generación de cristales euhedrales y grande de plagioclasa, que incorporaron pequeños cristales de otros minerales. Algunos microlitos de plagioclasa están orientados en la matriz, de manera local, evidencias de flujo.						
Clasificación Le Maitre (2002)				Fenoandesita		

N° IGM: 920423	Plancha: 365 I A	Origen: Oeste	Escala: 1: 25.000	X 1,071,751	
N° de campo: SESW031a				Y 757,484	
Recolector: Sandra López- Eliana Cañola				Z 2,610	
Fecha del análisis: 15/09/2007	Localidad: Sector de peña Cuaré, margen norte del río San Francisco vereda Pululú.				
Analizador: Eliana Cañola	Municipio: Puracé	Departamento: Cauca			
Número de puntos de conteo: 500	Sección delgada <input checked="" type="checkbox"/>	Sección delgada pulida <input type="checkbox"/>			
DESCRIPCIÓN MACROSCÓPICA:					
Roca masiva a microvesicular, compuesta de fragmentos de cristales y líticos dentro de una matriz de ceniza fina a vítrea. Esta muestra representa la matriz de un depósito de flujo de ceniza y bloques. Ignimbrita					
ANÁLISIS MICROSCÓPICO					
Textura general (cristalinidad, granularidad, forma de los cristales y empaquetamiento)					
Matriz de un depósito de flujo de bloques y ceniza que presenta fragmentos líticos y escasos fragmentos pumíticos, que está dentro de una matriz formada por cristaloclastos de plagioclasa, anfíbol; ceniza fina y shards.					
Componentes:					
Fragmentos de cristales					
Plagioclasa: cristaloclastos y cristales anhedrales a subhedrales que hacen parte del material juvenil					
La plagioclasa es una andesina con el 45% de Anortita					
Anfíbol y biotita: cristaloclastos y cristales subhedrales que hacen parte del material juvenil					
Opacos: cristales anhedrales en la matriz.					
Material vítreo Pómez: Es escasa pero se presenta con vesículas levemente achatadas.					
Shards: Son trizas de vesículas.					
Líticos Lavas con cristales de plagioclasa euhedrales dentro de una matriz vítrea a microlítica con textura eutaxítica					
Roca plutónica con cristales euhedrales a subhedrales de anfíbol, piroxeno y opacos					
Matriz Compuesta por un agregado de ceniza fina y cristaloclastos					
Texturas particulares :					
Sieve: Los cristales y cristaloclastos de plagioclasa presentan esta textura.					
Micropoiquilítica: Cristales pequeños de plagioclasa incluidos dentro de los cristales de hornblenda.					
Reabsorción: Cristales de oxianfíbol que muestran reacción con el líquido circundante.					
COMPONENTES (Análisis Modal)					
Cristaloclastos	%	Matriz	%	Otros	%
Plagioclasa	24.6	Agregado de ceniza fina,	55.6	Shards	1.6
Oxianfíbol	2.4	pequeños cristaloclastos		Líticos	12.8
Opacos	3.0				
Total cristaloclastos	30.0				
Interpretación: Los cristaloclastos y fragmentos líticos están contenidos dentro de un agregado fino, compuesto por cristalitas, ceniza fina, pómez y shards. Los cristaloclastos de plagioclasa, presentan textura sieve, indicando un desequilibrio en la cámara magmática antes del evento eruptivo; de igual manera los cristaloclastos de oxianfíbol, presentan evidencias de desequilibrio. Esta roca por presentar shards aplanados y pómez con vesículas alargadas, indican que el depósito se compactó parcialmente después de emplazado. Esta es la matriz de un depósito de flujo de ceniza y bloques, que por el alto contenido de cristales en la matriz, se asocia al colapso de un domo (bloques monolitológicos) con aporte magmático.					
Clasificación Le Maitre (2002) Fisher y Smincke (1984)			Matriz Depósito de flujo de ceniza y pómez. Ignimbrita de Coconuco		

N° IGM: 920425	Plancha: 365 I A	Origen: Oeste	Escala: 1: 25.000	X 1,069,176	
N° de campo: SESW039a				Y 754,627	
Recolector: Sandra López, Eliana Cañola				Z 2,600	
Fecha del análisis: 28/07/07	Localidad: Quebrada que baja del alto Anambio y llega al río Molino al sur de la población de Puracé.				
Analizador: Eliana Cañola	Municipio: Puracé	Departamento: Cauca			
Número de puntos de conteo: 548	Sección delgada <input checked="" type="checkbox"/>	Sección delgada pulida <input type="checkbox"/>			
DESCRIPCIÓN MACROSCÓPICA:					
Roca masiva, compacta, afanítica, inequigranular: se observan fenocristales de plagioclasa y piroxeno textura porfídica; presenta un color general negro. En el afloramiento se observan estructuras de enfriamiento. Lava fenoandesitoide					
ANÁLISIS MICROSCÓPICO					
Textura general (cristalinidad, granularidad, forma de los cristales y empaquetamiento) Roca hipocristalina, afanítica, inequigranular presentando como textura general porfídica. Los componentes de esta roca son: Plagioclasa se presenta en fenocristales euhedrales a subhedrales. La zonación de los cristales es oscilatoria normal, también esta presente la macla Albita y en pocos cristales la macla Carlsbad. La plagioclasa en una Andesina con el 37% de contenido de Anortita. Piroxenos se presentan como fenocristales subhedrales a anhedrales, hay presencia de augita e hiperstena, siendo más abundante el clinopiroxeno (augita). Olivino en cristales euhedrales a subhedrales alterado parcialmente a iddingsita Opacos en pequeños cristales anhedrales. Matriz está compuesta por microlitos de plagioclasa y opacos, siendo los más abundantes los primeros, también hay presencia de vidrio pero en una proporción baja respecto a los otros componentes de la matriz.					
Texturas particulares : Seriate la plagioclasa presenta una gradación en el tamaño, esto se observa en toda la roca. Glomeroporfídica cristales de plagioclasa que se han unido con otros cristales y formar cúmulos. Cumuloporfídica cristales de plagioclasa, clinopiroxeno y pocos opacos que se unen formando cúmulos Esquelética cristales de plagioclasa que conservan la forma pero han sido reemplazados en parcial o totalmente por la matriz.					
COMPONENTES SEGÚN ANALISIS MODAL					
Cristales	%	Matriz	%	Otros	%
Plagioclasa	50.5	Microlítica con plagioclasa, opacos y vidrio	34.0		
Piroxeno Augita	10.2				
Hiperstena	1.6				
Opacos	1.6				
Olivino	1.8				
Interpretación La textura esquelética de la plagioclasa indica un crecimiento rápido. Posiblemente se dió una primera etapa que generó grandes cristales principalmente de plagioclasa; luego un nuevo pulso magmático que generó desequilibrio en la cámara magmática y dio paso a la reabsorción de los cristales y generación de esta textura; por último se tiene una inestabilidad en la cámara que permite la cristalización de la nueva generación de cristales.					
Clasificación Le Maitre (2002)			Fenoandesita		

N° IGM: 920429	Plancha: 365 I A	Origen: Oeste	Escala: 1 : 25.000	X: 1,072,925	
N° de campo: SESW 046a				Y: 756,133	
Recolector: Sandra López, Eliana Cañola				Z: 2,720	
Fecha análisis: 30/08/2007	Localidad: Sector peña negra, margen sur del río San Francisco, cerca de la vereda de Tabío, población de Puracé.				
Analizador: Eliana Cañola H	Municipio: Puracé	Departamento: Cauca			
Número de puntos de conteo: 620	Sección delgada <input checked="" type="checkbox"/>	Sección delgada pulida <input type="checkbox"/>			
DESCRIPCIÓN MACROSCÓPICA:					
Roca masiva, compacta, afanítica, inequigranular: se observan fenocristales máximo de 2 mm de plagioclasa textura porfídica; presenta un color general gris. Lava fenoandesitoide.					
ANÁLISIS MICROSCÓPICO					
Textura general (cristalinidad, granularidad, forma de los cristales y empaquetamiento)					
Roca hipocristalina a holocristalina, afanítica, inequigranular presentando como textura general porfídica seriate. Los componentes de esta roca son:					
Plagioclasa se presenta en cristales euhedrales a subhedrales, tabulares. La zonación de los cristales es oscilatoria normal, también esta presente la macla Albita y en pocos cristales la macla Carlsbad. La plagioclasa es una Andesina con el 45% de contenido de Anortita.					
Piroxenos se presentan como cristales subhedrales a anhedrales, la mayoría son cristales de augita y algunos pocos de hiperstena.					
Opacos en pequeños cristales anhedrales, formas esféricas.					
Oxihornblenda Se presenta como cristales subhedrales a anhedrales asociados a los cristales de los opacos. Presenta color rojo oscuro y altamente pleocroico.					
Matriz está compuesta por microlitos de plagioclasa y piroxeno. Sin embargo en algunos sectores pueden identificarse la presencia de vidrio que envuelve los microlitos.					
Texturas particulares :					
Seriate la plagioclasa presenta una gradación continua en el tamaño.					
Glomeroporfídica varios cristales de piroxeno (augita) que se han unido hasta formar cúmulos.					
Bordes de reacción la oxihornblenda presenta bordes de reacción.					
Inclusiones cristales de plagioclasa que tienen inclusiones de material microcristalino que forma la matriz. Similar a esta textura pero con inclusiones de opacos y piroxenos en cristales de plagioclasa (Textura poiquilítica)					
Traquítica Orientación de los microlitos de plagioclasa que hacen parte de la matriz					
COMPONENTES SEGÚN ANALISIS MODAL					
Cristales		%	Matriz		%
Plagioclasa		34.1	Microlítica con plagioclasa,	50.3	Vesícula
Piroxeno	Augita	10.2	opacos y vidrio masivo		
	Hiperstena	0.3			
Opacos		4.1			
Oxihornblenda		0.3			
Interpretación:					
Los bordes de reacción en la oxihornblenda, indica que estos cristales estuvieron un tiempo considerable dentro de una cámara magmática, lo que permitió que estos reaccionaran con el magma. Otra posibilidad es la entrada de un nuevo magma al reservorio donde se encontraban los cristales de anfíbol; este nuevo magma, entro a una temperatura mayor y permitió la reacción y luego la cristalización de una nueva generación conformada por plagioclasa y augita.					
Clasificación Le Maitre (2002)			Fenoandesita		

N° IGM: 920430	Plancha: 365 I A	Origen: Oeste	Escala: 1 : 25.000	X: 1,072,953	
N° de campo: SESW 047a				Y: 755,958	
Recolector: Sandra López, Eliana Cañola				Z: 2,800	
Fecha análisis: 01/09/2007	Localidad: Sector peña negra, margen sur del río San Francisco, cerca de la vereda de Tabio, población de Puracé.				
Analizador: Eliana Cañola H	Municipio: Puracé	Departamento: Cauca			
Número de puntos de conteo: 525	Sección delgada <input checked="" type="checkbox"/>	Sección delgada pulida <input type="checkbox"/>			
DESCRIPCIÓN MACROSCÓPICA:					
Roca masiva, compacta, afanítica, inequigranular: se observan fenocristales de plagioclasa, piroxeno, olivino. Presenta textura porfídica, color gris oscuro. Lava fenoandesitoide					
ANÁLISIS MICROSCÓPICO					
Textura general (cristalinidad, granularidad, forma de los cristales y empaquetamiento)					
Roca hipocristalina, afanítica, inequigranular presentando como textura general porfídica					
Los componentes de esta roca son:					
Plagioclasa se presenta en cristales subhedrales a anhedrales, tabulares. La zonación de los cristales es normal. Presenta maclado albita.					
La plagioclasa en una Andesina con el 47% de contenido de Anortita.					
Piroxenos se presentan como cristales subhedrales, la mayoría son cristales de augita y algunos pocos de hiperstena.					
Opacos en pequeños cristales anhedrales, formas esféricas.					
Olivino Se presentan cristales euhedrales a subhedrales color verde pálido, fracturas, que están reemplazados parcial o totalmente por iddingsita					
Matriz está compuesta por microlitos de plagioclasa, piroxeno y opacos. La presencia de vidrio es limitada. Fragmento lítico formado por plagioclasas, augitas y opacos; se clasifica como xenolito cognate, sin embargo, es difícil diferenciarlo de un cúmulo de cristales.					
Texturas particulares :					
Seriate la plagioclasa y el piroxeno presentan una gradación continua en el tamaño.					
Glomeroporfídica varios cristales de piroxeno (augita e hiperstena) que se han unido hasta formar cúmulos.					
Cumuloporfídica cristales de opacos y piroxenos rodeando cristales de plagioclasa, formando cúmulos					
Poiquilitica Los cristales de plagioclasa presentan inclusiones de cristales pequeños de piroxenos, opacos.					
Traquítica Orientación de los microlitos de plagioclasa que hacen parte de la matriz					
COMPONENTES					
Cristales		%	Matriz		%
Plagioclasa		48.9	Microlítica con plagioclasa,	36.3	Vesícula
Piroxeno	Augita	7.7	opacos y vidrio masivo		Fragmento lítico
	Hiperstena	2.3			
Opacos		3.1			
Olivino		1.7			
Interpretación:					
Lava en general con ausencia de vidrio en la matriz, con abundantes fenocristales de diferentes tamaños; se emplazó a la superficie en un estado avanzado de la cristalización. Los xenolitos presentes son cognates con el material que originó la roca. La presencia de la textura traquítica indica la incidencia de un flujo que permitió la orientación de los microlitos de plagioclasa cuando fluyo en o cerca de la superficie.					
Clasificación Le Maitre (2002)			Fenoandesita		

N° de campo: SESW 048a	365 I A	Oeste	1 : 25.000	Y: 755,868
Recolector: Sandra López, Eliana Cañola				Z: 2,870
Fecha análisis: 01/09/2007	Localidad: Sector peña negra, margen sur del río San Francisco, cerca de la vereda de Tabio, población de Puracé.			
Analizador: Eliana Cañola	Municipio: Puracé	Departamento: Cauca		
Número de puntos de conteo: 534	Sección delgada <input checked="" type="checkbox"/>	Sección delgada pulida <input type="checkbox"/>		

DESCRIPCIÓN MACROSCÓPICA:

Roca masiva, compacta, afanítica, inequigranular, con fenocristales de plagioclasa, piroxeno, cuarzo. Presenta textura porfídica, color gris oscuro. Lava fenoandesitoide

ANÁLISIS MICROSCÓPICO

Textura general (cristalinidad, granularidad, forma de los cristales y empaquetamiento)

Roca hipocristalina, afanítica, inequigranular presentando como textura general porfídica

Los componentes de esta roca son:

Plagioclasa se presenta en cristales euhedrales a subhedrales, grandes, tabulares. La zonación de los cristales es normal.

Presenta maclado albíta.

La plagioclasa es una Andesina con el 35% de contenido de Anortita.

Piroxenos se presentan como cristales subhedrales, representados en la augita.

Opacos en pequeños cristales anhedrales, formas esféricas.

Cuarzo Cristales subhedrales grandes con fracturas.

Matriz está compuesta por microlitos de plagioclasa, opacos y piroxeno. Los primeros están orientados, indicando la dirección del flujo.

Texturas particulares :

Sieve La mayoría de los cristales de plagioclasa muestran que reaccionaron con un fundido de mayor temperatura.

Inclusiones Los cristales de plagioclasa, además de la textura sieve, inclusiones de material microcristalino.

Esquelética forma de un cristal de piroxeno que ha sido reemplazado por opacos. De igual manera, cristales de plagioclasa que están reemplazados por material microcristalino de la matriz; bordeando estas formas cristalizó nueva plagioclasa.

Traquítica Orientación de los microlitos de plagioclasa que hacen parte de la matriz

Fracturamiento poligonal Algunos cristales de plagioclasa y cuarzo se presentan fracturados.

Cristales		%	Matriz	%	Otros	%
Plagioclasa		25.5	Microlítica con plagioclasa, opacos y vidrio masivo	63.4	Vesicula	0.2
Piroxeno	Augita	7.6				
Cuarzo		1.3				
Opacos		0.7				
Anfibol	Hornblenda	1.3				

Interpretación:

Los grandes cristales de plagioclasa, piroxeno y cuarzo están indicando condiciones de espacio y tiempo que permitieron este crecimiento; luego un evento que desestabilizó la cámara magmática y genero embahamiento de cristales y posteriormente estos huecos fueron llenados por material del fundido; hubo un momento que se estabilizó y continuo la cristalización alrededor de los cristales preexistentes, sin embargo la entrada de este nuevo material, generó la erupción.

Clasificación Le Maitre (2002)	Fenoandesita
---------------------------------------	---------------------

N° IGM: 920433	Plancha: 365 I A	Origen: Oeste	Escala: 1_25.000	X: 1,065,292	
N° de campo: SESW 052a				Y: 758,455	
Recolector: Sandra López, Eliana Cañola				Z: 2,150	
Fecha del análisis: 10/09/2007	Localidad: Margen derecha de la quebrada Carpintería, por el puente que conduce a San Isidro				
Analizador: Sandra López	Municipio: Puracé	Departamento: Cauca			
Número de puntos de conteo: 512	Sección delgada <input checked="" type="checkbox"/>	Sección delgada pulida <input type="checkbox"/>			
DESCRIPCIÓN MACROSCÓPICA:					
Roca masiva, compacta, inequigranular, con matriz afanítica y fenocristales de hornblenda, plagioclasa y fragmentos líticos. El color de la matriz es café. Esta roca es clasificada como una ignimbrita.					
ANÁLISIS MICROSCÓPICO					
Textura general (cristalinidad, granularidad, forma de los cristales y empaquetamiento)					
Roca hipocristalina, inequigranular					
Los componentes de la roca son:					
Plagioclasa son cristales euhedrales, tabulares y están maclados según Albita y Albita - Periclina; se presentan cristales con oscilatoria normal, y fracturados; la plagioclasa es de composición Oligoclasa con 22% de Anortita. Se encuentran cristales de apatito al interior de algunas plagioclasas y textura sieve.					
Anfíbol son cristales anhedrales que están fracturados y corroidos.					
Fragmentos de ignimbrita caraterizados por una matriz vítrea con fenocristales de plagioclasa y anfíbol bordeados por opacos					
Opacos son cristales anhedrales					
Matriz vítrea con microlitos de plagioclasa y anfíbol					
Texturas particulares :					
Sieve presente en los cristales de plagioclasa, la reacción se desarrolla como delgado anillo entre el borde y el centro del cristal o como un relleno del mineral que sólo deja un borde externo sin alterar.					
Corona de opacos bordea los cristales de anfíbol					
Poiquilitica Inclusiones de apatito en los fenocristales de plagioclasa.					
COMPONENTES (Análisis Modal)					
Cristales	%	Matriz	%	Otros	%
Plagioclasa	23.9	Vítrea microlítica	37.1	Fragmento de ignimbrita	9.1
Anfíbol Hornblenda	21.1			Vesículas	6.0
Opacos	2.7				
Interpretación					
Esta roca representa un flujo piroclástico que incorporo material en su trayecto.					
Clasificación Le Maitre (2002)			Matriz Depósito de flujo de ceniza y pómez. Ignimbrita de Coconuco		

N° IGM: 920434	Plancha: 365 I A	Origen: Oeste	Escala: 1 : 25.000	X: 1,064,517	
N° de campo: SESW 054a				Y: 756,970	
Recolector: Sandra López, Eliana Cañola				Z: 2,190	
Fecha análisis: 28/08/2007	Localidad: Tramo de la vía Popayan - Purace después del río Cauca				
Analizador: Sandra López	Municipio: Puracé	Departamento: Cauca			
Número de puntos de conteo: 524	Sección delgada <input checked="" type="checkbox"/>	Sección delgada pulida <input type="checkbox"/>			
DESCRIPCIÓN MACROSCÓPICA:					
Roca masiva, compacta, inequigranular, porfídica con matriz afanítica y fenocristales de plagioclasa, piroxeno y anfíbol. Se clasifica como Lava fenoandesitoide.					
ANÁLISIS MICROSCÓPICO					
Textura general (cristalinidad, granularidad, forma de los cristales y empaquetamiento)					
Roca hipocristalina, inequigranular, porfídica, seriate. Los componentes de esta roca son: Plagioclasa caracterizada por presentar cristales tabulares, euhedrales; están maclados según Albite y su composición es Andesina con 32% de Anortita. Los cristales más grandes tienen cristales de hiperstena en el interior. Se presentan como cristales aislados y en textura cumulo porfídica. Fracturamiento poligonal presentan los cristales y es evidencia de enfriamiento. Algunos cristales presentan textura sieve y los cristales más grandes tienen corrosión. Piroxenos se presentan como fenocristales euhedrales a subhedrales. Los ortopiroxenos (hiperstena) tienen fractura diente de perro, clinopiroxenos (augita) tienen en algunos cristales maclas; se presentan como cristales aislados y en textura cumulo porfídica; en general están muy fracturados. Anfíbol son cristales anhedrales que se presentan aislados con corona de opacos que enmascara casi la totalidad del mineral pero el pleocroísmo se conserva. Opacos se presentan en cristales subhedrales, aislados y en textura cumulo porfídica Matriz compuesta por microlitos de plagioclasa orientados (textura traquítica) acompañada de vidrio Texturas particulares : Seriate tres (3) tamaños de cristales se presentan en los fenocristales de plagioclasa Cumulo porfídica cristales de plagioclasa, piroxenos y opacos que se unen formando cúmulos Fracturamiento poligonal se da en los cristales de plagioclasa indicando condiciones rápidas de enfriamiento Corona de opacos bordea los cristales de anfíbol Sieve presente en algunos cristales de plagioclasa y marcado como una franja en los cristales Traquítica indicada por la orientación de los microlitos de plagioclasa de la matriz					
COMPONENTES					
Cristales	%	Matriz	%	Otros	%
Plagioclasa	34.6	Microlítica con plagioclasa, y vidrio	47.6		
Piroxeno Augita	4.9				
Hiperstena	8.3				
Opacos	4.1				
Anfíbol	0.4				
Interpretación					
Varios pulsos de enfriamiento se dieron al interior de la cámara magmática, entre los cuales hubo entrada de nuevo material. Posiblemente en algún momento las condiciones fueron muy estables para la generación de coronas de opacos en los anfíboles. Un enfriamiento posterior rápido es evidenciado por el fracturamiento de la plagioclasa.					
Clasificación Le Maitre (2002)			Fenoandesita		

N° IGM:		Plancha:	Origen:	Escala:	X:	1,072,320
N° de campo:	SESW 083a	365 I A	Oeste	1 : 25.000	Y:	756,149
Recolector:	Sandra López, Eliana Cañola				Z:	2,720
Fecha análisis:	28/08/2007	Localidad: Camino de herradura entre vereda Tabio y sector Peña Negra				
Analizador:	Eliana Cañola	Municipio:	Puracé	Departamento:	Cauca	
Número de puntos de conteo:	500	Sección delgada	<input checked="" type="checkbox"/>	Sección delgada pulida	<input type="checkbox"/>	
DESCRIPCIÓN MACROSCÓPICA:						
Roca compuesta por ceniza color blanco a café claro, arenosa, bordeando cristales de plagioclasa y piroxeno Se clasifica como matriz de depósito de flujo de ceniza y pómez.						
ANÁLISIS MICROSCÓPICO						
Textura general (cristalinidad, granularidad, forma de los cristales y empaquetamiento)						
Roca hipocristalina, inequigranular, porfídica, seriate. Los componentes de esta roca son: Plagioclasa caracterizada por presentar cristales tabulares, euhedrales; están maclados según Albita y su composición es Andesina con 32% de Anortita. Hay dos generaciones de plagioclasa: La primera con evidencias de reabsorción y la segunda limpia. Fracturamiento poligonal presentan los cristales y es evidencia de enfriamiento. La mayoría de cristales presentan textura sieve y bordes corroídos. Inclusiones vítras en algunos cristales Piroxenos se presentan como fenocristales euhedrales a subhedrales. Los ortopiroxenos (hiperstena) tienen fractura diente de perro, clinopiroxenos (augita) tienen en algunos cristales maclas; se presentan como cristales aislados y en textura cumulo porfídica; en general están muy fracturados. Anfíbol son cristales euhedrales que se presentan aislados con corona de reacción y que están completamente reemplazados por minerales secundarios. Opacos se presentan en cristales subhedrales, aislados y en textura cumulo porfídica Matriz compuesta por vidrio devitrificado, de color marrón.						
Texturas particulares :						
Seriate dos (2) tamaños de cristales se presentan en los fenocristales de plagioclasa Cumulo porfídica cristales de plagioclasa, piroxenos y opacos que se unen formando cúmulos Fracturamiento poligonal se da en los cristales de plagioclasa indicando condiciones rápidas de enfriamiento Reemplazamiento Los cristales de olivino, conservan la forma euhedral pero están reemplazados por minerales de alteración Sieve presente en algunos cristales de plagioclasa y se define como bordes o completamente dentro del cristal Devitrificación Proceso de alteración de la matriz, en general color marrón.						
COMPONENTES						
Cristales		%	Matriz		%	Otros
Plagioclasa		22.6	Vidrio devitrificado microlitos de		54.3	Pómez
Piroxeno Augita		1.7	opacos			Shards
Hiperstena		3.5				
Opacos		0.8				
Anfíbol		0.4				
Interpretación						
Es la matriz de un depósito de flujo de ceniza y pómez. Esta empobrecida en material lítico, lo que indica la unidad de flujo dentro del gran depósito piroclástico, que se empobrece en fragmentos líticos por las condiciones de la reología del flujo. En general, representan los extremos del cuerpo del flujo y son transportadas por elutriación del mismo flujo.						
Clasificación Le Maitre (2002) Fisher y Smincke (1984)				Matriz Depósito de flujo de ceniza y pómez. Ignimbrita de Coconuco		

N° IGM:		Plancha:	Origen:	Escala:	X:	1,073,286
N° de campo:	SESW 085a	365 I A	Oeste	1 : 25.000	Y:	755,779
Recolector:	Sandra López, Eliana Cañola				Z:	2,750
Fecha análisis:	28/08/2007	Localidad:	Chorrera del río San Francisco			
Analizador:	Eliana Cañola	Municipio:	Puracé	Departamento:	Cauca	
Número de puntos de conteo:	524	Sección delgada	<input checked="" type="checkbox"/>	Sección delgada pulida	<input type="checkbox"/>	
DESCRIPCIÓN MACROSCÓPICA:						
Roca masiva, compacta, inequigranular, porfídica con matriz afanítica y fenocristales de plagioclasa, piroxeno y anfíbol. Se clasifica como Lava fenoandesitoide.						
ANÁLISIS MICROSCÓPICO						
Textura general (cristalinidad, granularidad, forma de los cristales y empaquetamiento)						
Roca hipocristalina, seriate, inequigranular, porfídica, con textura de flujo						
Los componentes de esta roca son:						
Plagioclasa caracterizada por presentar cristales tabulares, subhedrales de bordes redondeados, y su composición es Andesina con 32% de Anortita. Se presentan como cristales aislados y en conjunto con otros minerales para definir la textura cumulo porfídica. Algunos cristales presentan textura sieve evidenciada por bordes de reacción. Inclusiones fundidas en cristales con euhedrales, textura seriate definida por todas las generaciones de cristales. Bahías de crecimiento, macla albita. Los cristales de plagioclasa que hacen parte de la textura cumulo porfídica, no exhiben macla albita.						
Piroxeno Cristales de piroxeno, subhedrales, agrupado con otros cristales para definir la textura cumulo porfídica						
Opacos se presentan en cristales euhedrales, com bordes de oxidación.						
Matriz compuesta por microlitos de plagioclasa y opacos orientados, definiendo una textura de flujo. Escaso vidrio.						
Texturas particulares :						
Seriate tres (3) tamaños de cristales se presetan en los fenocristales de plagioclasa						
Inclusiones fundidas Dentro de los cristales de plagioclasa, presencia de bahías de crecimiento rellenas con vidrio.						
Cumulo porfídica cristales de plagioclasa, piroxenos y opacos que se unen formando cúmulos						
Oxidación un borde de oxidación alrededor de los cristales de opacos						
Sieve presente en algunos cristales de plagioclasa y marcado como una franja en los cristales						
Traquitica indicada por la orientación de los microlitos de plagioclasa de la matriz						
COMPONENTES						
Cristales		%	Matriz		%	Otros
Plagioclasa		38.5	Microlítica con plagioclasa, y vidrio		52.0	
Piroxeno	5.0					
Augita	2.0					
Hiperstena	2.0					
Opacos	2.0					
Cuarzo	0.5					
Interpretación						
Varios pulsos de entriamiento se dieron al interior de la camara magmatica, entre los cuales hubo entrada de nuevo material. Posiblemente en algún momento las condiciones fueron muy estables para el proceso de oxidación de los minerales opacos. La textura de flujo visible en la matriz y también en los fenocristales de la roca, evidencian la alta fluides del material en el momento del evento efusivo.						
Clasificación Le Maitre (2002)				Fenoandesita		

N° IGM:		Plancha:	Origen:	Escala:	X:	1,069,804
N° de campo:	SESW 092a	365 I A	Oeste	1 : 25.000	Y:	757,734
Recolector:	Sandra López, Eliana Cañola	Localidad: Cerro Pusná, margen sur				
Fecha análisis:	28/08/2007	Municipio: Puracé Departamento: Cauca				
Analizador:	Eliana Cañola	Sección delgada <input checked="" type="checkbox"/> Sección delgada pulida <input type="checkbox"/>				
Número de puntos de conteo:	500					
DESCRIPCIÓN MACROSCÓPICA:						
Roca compuesta por ceniza color gris, arenosa, bordeando cristaloclastos de plagioclasa y piroxeno y fragmentos líticos. Se clasifica como matriz de depósito de flujo de ceniza y bloques.						
ANÁLISIS MICROSCÓPICO						
Textura general (cristalinidad, granularidad, forma de los cristales y empaquetamiento)						
Roca hipocristalina, inequigranular, porfídica, seriate.						
Los componentes de esta roca son:						
Matriz Compuesta en su mayoría por vidrio alterado, oxidado, cristaloclastos de plagioclasa y piroxeno.						
Líticos En su mayoría fragmentos de lavas porfíricas con abundante plagioclasa y piroxeno.						
Cristales						
Plagioclasa Cristales de forma subhedral a anhedral completamente alterados y reemplazados por arcillas.						
Piroxeno Presenta hábitos tabulares, formas subhedrales, alterado						
Olivino Cristales de forma euhedral, completamente reemplazados por minerales secundarios						
Oxianfíbol Cristales de hábito prismático, subhedrales color café rojo homogéneo, con coronas de opacos.						
Opacos Cristales pequeños, anhedrales, en general conformando parte de la matriz y coronas en el oxianfíbol						
Texturas particulares :						
Seriate dos (2) tamaños de cristales se presentan en los fenocristales de plagioclasa						
Cumuloporfídica cristales de plagioclasa, piroxenos y opacos que se unen formando cúmulos						
Fracturamiento poligonal se da en los cristales de plagioclasa indicando condiciones rápidas de enfriamiento						
Reemplazamiento Los cristales de olivino, plagioclasa y piroxeno, conservan la forma euhedral pero están reemplazados por minerales de alteración						
Devitrificación Proceso de alteración de la matriz, en general color marrón.						
COMPONENTES						
Cristales		%	Matriz		%	Otros
Plagioclasa		27.0	Vidrio devitrificado microlitos de	43.0	Líticos	11
Piroxeno	Augita	5.0	opacos		Shards	3.5
Opacos		2.0			Vesículas	1.0
Oxianfíbol		5.5				
Biotita		2.0				
Interpretación						
Es la matriz de un depósito de flujo de ceniza y bloques. Exhibe abundante material lítico en las partículas que conforman la matriz y el depósito con bloques de una composición similar. Este depósito puede estar relacionado al colapso de un domo volcánico en crecimiento, asociado a un centro eruptivo cercano.						
Clasificación Le Maitre (2002) Fisher y Smincke (1984)				Matriz Depósito de flujo de ceniza y bloques de Pululó		

N° IGM:		Plancha:	Origen:	Escala:	X:	1,071,492
N° de campo:	SESW 095a	365 I A	Oeste	1 : 25.000	Y:	757,762
Recolector:	Sandra López, Eliana Cañola	Localidad:		Cerro Pusná, margen oriental		
Fecha análisis:	28/08/2007	Municipio:		Puracé	Departamento: Cauca	
Analizador:	Eliana Cañola	Sección delgada		<input checked="" type="checkbox"/>	Sección delgada pulida <input type="checkbox"/>	
Número de puntos de conteo:	500					
DESCRIPCIÓN MACROSCÓPICA:						
Roca compuesta por ceniza color gris, arenosa, bordeando cristaloclastos de plagioclasa y piroxeno y fragmentos líticos. Se clasifica como matriz de depósito de flujo de ceniza y pómez						
ANÁLISIS MICROSCÓPICO						
Textura general (cristalinidad, granularidad, forma de los cristales y empaquetamiento)						
Roca hipocristalina, inequigranular, porfídica, seriate. Los componentes de esta roca son: Matriz Compuesta en su mayoría por microlitos de opacos y piroxeno. Líticos En su mayoría fragmentos de lavas porfíricas con abundante plagioclasa y piroxeno. Pomez Fragmentos redondeados, vesiculados Cristales Plagioclasa Cristales de forma subhedral a anhedral completamente alterados y reemplazados por arcillas. Se observan dos generaciones. La primera son cristales grandes, con textura de reabsorción y esquelética. Inclusiones de vidrio dentro de los cristales. La segunda, son cristales pequeños, euhedrales y sin evidencias de texturas de desequilibrio. Oxianfibol Cristales de hábito prismático, subhedrales color café rojo homogéneo, con coronas de opacos. Opacos Cristales pequeños, anhedrales, en general conformando parte de la matriz y coronas en el oxianfibol Piroxeno Pequeños cristales anhedrales a subhedrales que hacen parte de los microlitos de la matriz Texturas particulares : Seriate dos (2) tamaños de cristales se presentan en los fenocristales de plagioclasa Cumuloporfídica cristales de plagioclasa, piroxenos y opacos que se unen formando cúmulos Embahamiento y reabsorción Formas redondeadas de los cristales de plagioclasa por reacción y reabsorción con el fundido circundante. Reemplazamiento Los cristales de plagioclasa conservan la forma euhedral pero están reemplazados por minerales de alteración Esquelética abundantes inclusiones fundidas dentro del cristal de plagioclasa						
COMPONENTES						
Cristales		%	Matriz		%	Otros
Plagioclasa		40.9	Microlitos de piroxeno y opacos		51.5	Pómez
Piroxeno		1.0				Vesículas
Opacos		0.8				
Oxianfibol		3.1				
Interpretación						
Corresponde a la matriz de un depósito de flujo de ceniza y pómez agrupado dentro de la unidad Ignimbrita de Coconuco. En general, es una zona donde hay concentración de material que conforma la matriz y empobrecimiento el bloques. La matriz representa el medio de transporte de los bloques de material juvenil y líticos erosionados de la cámara magmática e incorporados a la erupción y los líticos accidentales recogidos e incorporados al flujo durante el transporte.						
Clasificación Le Maitre (2002) Fisher y Smincke (1984)				Matriz Depósito de flujo de ceniza y pómez		

N° IGM:		Plancha:	Origen:	Escala:	X:	1,067,998
N° de campo:	SESW 098a	365 I A	Oeste	1 : 25.000	Y:	754,787
Recolector:	Sandra López, Eliana Cañola	Localidad:		Sector Puente Seco, Puracé		
Fecha análisis:	28/08/2007	Municipio:		Puracé	Departamento:	
Analizador:	Eliana Cañola	Sección delgada		<input checked="" type="checkbox"/>	Sección delgada pulida	
Número de puntos de conteo:	500				Cauca	
DESCRIPCIÓN MACROSCÓPICA:						
Roca compuesta por ceniza color gris, arenosa, bordeando cristaloclastos de plagioclasa y piroxeno y fragmentos líticos. Se clasifica como matriz de depósito de flujo de ceniza y pómez						
ANÁLISIS MICROSCÓPICO						
Textura general (cristalinidad, granularidad, forma de los cristales y empaquetamiento)						
Roca hipocristalina, inequigranular, porfídica, seriate.						
Los componentes de esta roca son:						
Matriz Compuesta por partículas tamaño ceniza, de vidrio, cristaloclastos de plagioclasa y piroxeno, vesículas.						
Líticos En su mayoría fragmentos de lavas porfíricas con plagioclasa y piroxeno dentro de una matriz vítrea.						
Pómez Fragmentos vítreos, altamente vesiculados, vesículas de forma redondeada, escasos cristales pequeños de plagioclasa.						
Cristales						
Plagioclasa Cristales de forma subhedral a anhedral completamente alterados y reemplazados por arcillas.						
Piroxeno Presenta hábitos tabulares, formas subhedrales, alterado						
Oxianfíbol Cristales de hábito prismático, subhedrales color café rojo homogéneo, con coronas de opacos.						
Opacos Cristales pequeños, anhedrales, en general conformando parte de la matriz y coronas en el oxianfíbol						
Texturas particulares :						
Seriate dos (2) tamaños de cristales se presentan en los fenocristales de plagioclasa						
Cumuloporfídica cristales de plagioclasa, piroxenos y opacos que se unen formando cúmulos						
Fracturamiento poligonal se da en los cristales de plagioclasa indicando condiciones rápidas de enfriamiento						
Reemplazamiento Los cristales de olivino, plagioclasa y piroxeno, conservan la forma euhedral pero están reemplazados por minerales de alteración						
Devitrificación Proceso de alteración de la matriz, en general color marrón.						
COMPONENTES						
Cristales		%	Matriz		%	Otros
Plagioclasa		22.6	Vidrio devitrificado microlitos de opacos		54.3	Pómez
Piroxeno Augita		1.7				Shards
Hiperstena		3.5				
Opacos		0.8				
Anfíbol		0.4				
Interpretación						
Es la matriz de un depósito de flujo de ceniza y pómez. Esta empobrecida en material lítico, lo que indica la unidad de flujo dentro del gran depósito piroclástico, que se empobrece en fragmentos líticos por las condiciones de la reología del flujo. En general, representan los extremos del cuerpo del flujo y son transportadas por elutriación del mismo flujo.						
Clasificación Le Maitre (2002) Fisher y Smincke (1984)					Matriz Depósito de flujo de ceniza y pómez	

N° IGM:		Plancha:	Origen:	Escala:	X:	1,065,063
N° de campo:	SESW 099a	365 I A	Oeste	1 : 25.000	Y:	757,022
Recolector:	Sandra López, Eliana Cañola	Localidad:		Sector camino de las Chozas, río San Francisco		
Fecha análisis:	16/09/2008	Municipio:		Puracé	Departamento: Cauca	
Analizador:	Eliana Cañola	Sección delgada		<input checked="" type="checkbox"/>	Sección delgada pulida <input type="checkbox"/>	
Número de puntos de conteo:	500					
DESCRIPCIÓN MACROSCÓPICA:						
Roca compuesta por ceniza color gris, arenosa, bordeando abundantes fragmentos líticos. Se clasifica como matriz de depósito de flujo de ceniza y pómez						
ANÁLISIS MICROSCÓPICO						
Textura general (cristalinidad, granularidad, forma de los cristales y empaquetamiento)						
Roca hipocristalina, inequigranular, porfídica, seriate. Los componentes de esta roca son:						
Matriz Compuesta por partículas tamaño ceniza, de vidrio y cristaloclastos de plagioclasa .						
Líticos De contornos bien definidos, en su mayoría fragmentos de lavas porfíricas con plagioclasa y biotita dentro de una matriz vítrea						
Trizas víteas Fragmentos incoloros de vidrio, puntas irregulares, algunas redondeadas.						
Cristaloclastos						
Plagioclasa Cristales de forma subhedral a anhedral completamente alterados y reemplazados por arcillas.						
Biotita Cristales grandes, color rojizo, subhedrales.						
Oxianfíbol Cristales de hábito prismático, subhedrales color café rojo homogéneo, con coronas de opacos.						
Opacos Cristales pequeños, anhedrales, en general conformando parte de la matriz y coronas en el oxianfíbol						
Texturas particulares :						
Seriate dos (2) tamaños de cristales se presentan en los fenocristales de plagioclasa						
Cumuloporfídica cristales de plagioclasa, piroxenos y opacos que se unen formando cúmulos						
Fracturamiento poligonal se da en los cristales de plagioclasa indicando condiciones rápidas de enfriamiento						
Reemplazamiento Los cristales de olivino, plagioclasa y piroxeno , conservan la forma euhedral pero están reemplazados por minerales de alteración						
Devitrificación Proceso de alteración de la matriz, en general color marrón.						
COMPONENTES						
Cristales		%	Matriz		%	Otros
Plagioclasa		12.0	Vidrio devitrificado microlitos de opacos		31.0	Líticos Shards
Biotita		3.7				11.0
Anfíbol		6.3				12.0
Interpretación						
Esta matriz de un depósito de flujo de ceniza y pómez. Se observa enriquecimiento en material lítico dentro de la matriz. Además ausencia de minerales densos (piroxeno), identificados en la matriz de otras muestras. Se observa fragmentos de vidrio con contornos bien definidos. La acumulación de líticos, posiblemente esta indicando barreras topográficas que forzaban a depositar parte del material dentro del flujo piroclástico.						
Clasificación Le Maitre (2002) Fisher y Smincke (1984)					Matriz Depósito de flujo de ceniza y pómez	

N° IGM:		Plancha:	Origen:	Escala:	X:	1,071,576
N° de campo:	SESW 105a	365 I A	Oeste	1 : 25.000	Y:	756,685
Recolector:	Sandra López, Eliana Cañola				Z:	2,620
Fecha análisis:	28/08/2007	Localidad:	Camino de herradura entre vereda Tabio y sector Peña Negra			
Analizador:	Eliana Cañola	Municipio:	Puracé	Departamento:	Cauca	
Número de puntos de conteo:	500	Sección delgada	<input checked="" type="checkbox"/>	Sección delgada pulida	<input type="checkbox"/>	
DESCRIPCIÓN MACROSCÓPICA:						
Roca masiva, compacta, inequigranular, con matriz afanítica y cristaloclatos de piroxeno, plagioclasa fragmentos de pomez y líticos. Se clasifica como matriz de depósito de flujo de ceniza y pómez con abundantes cristales.						
ANÁLISIS MICROSCÓPICO						
Textura general (cristalinidad, granularidad, forma de los cristales y empaquetamiento)						
Roca hipocristalina, inequigranular, porfídica, seriate. Los componentes de esta roca son:						
Plagioclasa caracterizada por presentar cristales tabulares, euhedrales; están maclados según Albita y su composición es Andesina con 32% de Anortita. Hay dos generaciones de plagioclasa: La primera con evidencias de reabsorción y la segunda limpia. Fracturamiento poligonal presentan los cristales y es evidencia de enfriamiento. La mayoría de cristales presentan textura sieve y bordes corroidos. Inclusiones vítras en algunos cristales						
Piroxenos se presentan como fenocristales euhedrales a subhedrales. Los ortopiroxenos (hiperstena) tienen fractura diente de perro, clinopiroxenos (augita) tienen en algunos cristales maclas; se presentan como cristales aislados y en textura cumulo porfídica; en general están muy fracturados.						
Anfíbol son cristales euhedrales que se presentan aislados con corona de reacción y que están completamente reemplazados por minerales secundarios.						
Opacos se presentan en cristales subhedrales, aislados y en textura cumulo porfídica						
Matriz compuesta por vidrio devitrificado, de color marrón.						
Texturas particulares :						
Seriate dos (2) tamaños de cristales se presentan en los fenocristales de plagioclasa						
Cumulo porfídica cristales de plagioclasa, piroxenos y opacos que se unen formando cúmulos						
Fracturamiento poligonal se da en los cristales de plagioclasa indicando condiciones rápidas de enfriamiento						
Reemplazamiento Los cristales de olivino, conservan la forma euhedral pero están reemplazados por minerales de alteración						
Sieve presente en algunos cristales de plagioclasa y se define como bordes o completamente dentro del cristal						
Devitrificación Proceso de alteración de la matriz, en general color marrón.						
COMPONENTES						
Cristales		%	Matriz		%	Otros
Plagioclasa		22.6	Vidrio devitrificado microlitos de		54.3	Pómez
Piroxeno Augita		1.7	opacos			Shards
Hiperstena		3.5				
Opacos		0.8				
Anfíbol		0.4				
Interpretación						
Es la matriz de un depósito de flujo de ceniza y pómez. Esta empobrecida en material lítico, lo que indica la unidad de flujo dentro del gran depósito piroclástico, que se empobrece en fragmentos líticos por las condiciones de la reología del flujo. En general, representan los extremos del cuerpo del flujo y son transportadas por elutriación del mismo flujo.						
Clasificación Le Maitre (2002) Fisher y Smincke (1984)				Matriz Depósito de flujo de ceniza y pómez		

N° IGM:		Plancha:	Origen:	Escala:	X:	1,072,016
N° de campo:	SESW 0106a	365 I A	Oeste	1 : 25.000	Y:	755,106
Recolector:	Sandra López, Eliana Cañola				Z:	2,840
Fecha análisis:	16/09/2008	Localidad:	Margen izquierda del río San Francisco, camino de herradura hacia la finca El Hato			
Analizador:	Eliana Cañola	Municipio:	Puracé	Departamento:	Cauca	
Número de puntos de conteo:	511	Sección delgada	<input checked="" type="checkbox"/>	Sección delgada pulida	<input type="checkbox"/>	
DESCRIPCIÓN MACROSCÓPICA:						
Roca masiva, compacta, inequigranular, textura porfídica con fenocristales de plagioclasa y anfíbol. Color gris. Se clasifica como Lava fenoandesitoide.						
ANÁLISIS MICROSCÓPICO						
Textura general (cristalinidad, granularidad, forma de los cristales y empaquetamiento)						
Roca holocristalina, inequigranular con textura general porfídica. Una incipiente textura de flujo hay en la matriz. Los componentes de esta roca son:						
Plagioclasa son fenocristales euhedrales, de forma tabular, y maclados según Albita de composición Andesina con 30% de Anortita. En general se presenta como cristales aislados y con textura sieve.						
Anfíbol son cristales euhedrales a subhedrales, con forma rómbica y tabular. En general tienen una concentración de minerales opaco en el borde del cristal definiendo la forma, al interior el mineral está muy alterado y queda muy poco del mineral original, posiblemente está reemplazado por clorita.						
Opacos en cristales subhedrales a anhedrales; se encuentran aislados y formando el borde de los anfíboles						
Matriz criptocristalina con textura de flujo en algunos sectores						
Texturas particulares :						
Fracturamiento poligonal Los cristales de plagioclasa exhiben fracturamiento asociado a eventos de cambios de condiciones o perturbación en el equilibrio magmático						
Sieve presente en los cristales de plagioclasa, la reacción se desarrolla como un delgado anillo entre el borde y el centro del cristal o como un relleno del mineral que sólo deja un borde externo sin alterar.						
Embahamiento y bordes redondeados en los cristales de plagioclasa						
COMPONENTES						
Cristales	%	Matriz	%	Otros	%	
Plagioclasa	37.5	Criptocristalina	34.6	Fragmento de roca	5.1	
Anfíbol	6.9					
Opacos	15.9					
Interpretación						
La textura sieve indica un nuevo pulso magmático a la cámara cuando se había iniciado la cristalización; la concentración de opacos alrededor del anfíbol se da en la fase final de la cristalización sin embargo se da antes del ascenso del magma a superficie pues la textura de flujo de la matriz puede ser indicadora del enfriamiento en superficie.						
Clasificación Le Maitre (2002)				Fenoandesita		

De Silva, S. 1989. Geochronology and stratigraphy of the ignimbrites from the 21°30'S to 23° 30'S portion of the central Andes of northern Chile. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*. 37 p 93-101.

Droux, A. & Delaloye, M. 1996. Petrography and geochemistry of Plio-Quaternary Calco-Alkaline volcanoes of Southwestern Colombia. *Journal of South American Earth Sciences*. 9 (1-2). 27- 41.

Fisher, V. y Schmincke, H. 1984. *Pyroclastic rocks*: Springer-Verlag, 472

Gill, J.B. 1981. *Orogenic Andesites and Plate Tectonics*. Heidelberg, Springer. 390p.

Gutscher, M.A., Malavieille, J., Lallemand, S. y 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.

Hall, M.L. y Wood, C.A. 1985. Volcano-tectonic segmentation of the Northern Andes: *Geology*, v 13, p 203 – 207.

Hay, R.L. 1959. Formation of the crystal- rich glowing avalanche deposits of St Vincent, B.W.I. *Journal Geol.* 67, 540-62.

Heiken, G., Wohletz, K., 1987. Tephra deposits associated with silicic domes and lava flows. *Geological Society of America. Special Paper*, 212, 55-76.

INGEOMINAS, 2003. *Geología de la Plancha 365 Coconuco*. Escala 1: 100.000.

James, D., Murcia, A. 1984. Crustal contamination in northern Andean volcanic: *Journal of the Geological Society of London*, v 141, p 823 – 860.

Jordan T:E., Isacks B.L., Allmendinger R.W., Brewer J.A., Ramos V.A. y Ando C.J. 1983. Andean tectonics related to geometry of subducted Nazca plate. Bull. Geol. Soc. Am. 94, p 341- 361.

Kamata, H., Hayashida, A., Danhara, T., 1997. Identification of a pair of co-ignimbrite ash and underlying distal plinian ash in the Early Pleistocene widespread tephra in Japan: Journal of Volcanology and Geothermal Research, v 78, p 51-64.

Kellogg, J.N., Vega, V. 1995. Tectonic development of Panamá, Costa Rica and the Colombian Andes: constrains from Global Positioning System geodetic studies and gravity: Geologic and Tectonic Development of the Caribbean Plate Boundary in Southern Central America, Mann, P. (Ed), Geological Society of America Special Paper 295, p 75-90.

Kennett, J.P., McBirney, A.R., Thunell, R.C. 1977. Episodes of cenozoic volcanism in the circum-pacific region. Journal of Volcanology and Geothermal Research 2, 145- 163.

Kerr, A.C., Marriner, G.F., Tarney, J., Nivia, A., Saunders, A.D., Thirlwall, M.F., Sinton, C.W. 1997. Cretaceous Basaltic Terranes in Western Colombia: Elemental, Chronological and Sr–Nd Isotopic Constraints on Petrogenesis 38 (6), 677- 702.

Kroonenberg S., Silvestre A.L., Pastrana J.M., Pessoa, M.R. 1981. Ignimbritas plioleistocénicas en el suroeste de Huila. Colombia y su influencia en el desarrollo morfológico. Revista CIAF. Vol 6 (1- 3) p. 293 – 314.

Kroonenberg, S., Pichlerh, H., y Diederix, H.1982. Cenozoic alkalibasaltic to ultrabasic volcanism in the uppermost Magdalena Valley, Southern Huila Department, Colombia: Geologia Norandina, Vol. 5, p 19-26.

Kuroda, N., París, G. 1978. Petrographical notes some dacites and andesites of Purace volcano, Cauca Colombia: Report of Andean studies, Shizuoka University, Special volume, p 21 – 32.

Le Maitre, R.W, Streckeisen, A., Zanettin, B., Le Bas, M.J., Bonin, B., Bateman, P., Bellieni, A., Dudek, A., Efremova, S., Keller, J., Lamyere, J., Sabine, P.A., Schmid, R., Sørensen, H. y Woolley, A.R. 2002. Igneous rocks: A classification and glossary of terms, recommendations of the International Union of Geological Sciences Subcommission on the systematic of Igneous rocks: Cambridge University Press, 2nd Edition: Cambridge University Press, 256 p.

Marín-Cerón, M.I. 2004. Geochemical variation of late Cenozoic volcanic rocks in time and space, SW Colombia. Sin publicar: Tesis de Maestría, Universidad de Shimane, Japón.

Marín-Cerón, M.I. 2007. Major, trace element and multi-isotopic systematics of SW Colombian volcanic arc, northern Andes: Implication for the stability of carbonate-rich sediment at subduction zone and the genesis of andesite magma. Curso de doctorado Universidad de Okayama, Japón. Inédita

Marín-Cerón, M.I., Moriguti T., Makishima A., Nakamura E. 2010. Slab decarbonation and CO₂ recycling in the Southwestern Colombian volcanic arc. *Geochimica et cosmochimica acta* 74, p. 1104- 1121.

Maya, M., González, H. 1995. Unidades litodémicas de la cordillera Central de Colombia: *Boletín Geológico INGEOMINAS*, v 35 (2 - 3), p 43-57.

McCourt W. J., Aspden J. A., Brook M., 1984. New geological and geochronological data from the Colombian Andes: continental growth by multiple accretion. *Journal Geology Society of London*, 141: 831- 845.

Meissner, R.O., Flueh, E.R., Stibane, F., Berg, E. 1976. Dynamics of the active plate boundary in southwest Colombia according to recent geophysical measurements. *Tectonophysics* 35, 115- 136

Miyabuchi, Y. 1999. Deposits associated with the 1990 – 1995 eruption of Unzen volcano Japan. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 89, 139-158. 720.

Michol, K.A., Rusell, J.K., Andrews, G.D.M. 2007. Welded Block and Ash Flow Deposits Form Mount Meager, British Columbia, Canada. *J. Geotherm. Volcan. Res.* 169 (3-4) 10, 121-144.

Monsalve, M. L., 1991 Geoquímica y dataciones de episodios tipo San Vicente en el volcán Puracé. *Boletín geológico* V 33, N° 1-3 , 3-16.

Monsalve, M. L., Pulgarín, B. 1993. Mapa preliminar de amenaza volcánica potencial del volcan Puracé *Revista Ingeominas* N° 2, 3- 27

Monsalve, M. L., Pulgarín, B. 1995. Cadena volcánica de los Coconucos (Colombia) centros eruptivos y productos recientes *Publicación Ingeominas*, 17- 51

Monsalve, M.L, 2000. Catálogo de las vulcanitas Neógenas de Colombia, Fascículo Formación Coconuco. Informe interno Ingeominas.

Murcia L.A. Marín P. 1981. Petrología y petroquímica en lavas recientes de algunos volcanes de Colombia. *Revista CIAF* V6 (1-3). 349- 363.

Murcia, L. A., 1982. El vulcanismo Plio-Cuaternario de Colombia. *Publicaciones Geológicas Especiales de INGEOMINAS*, No. 10, Bogotá.

Murcia L.A., Cepeda H. 1984. Memoria geológica de la plancha 429 Pasto. Ingeominas, 193p.

Ojeda, A., Ottemöller, L. 2002. QLg tomography in Colombia. *Physics of the Earth and Planetary Interiors* 130, p253–270.

Ordoñez C. O., Pimenetel M. M., 2001. Rb/Sr and Sm/Nd radiogenic study of the Puquí Complex, colombian Andes. *Journal of South American Earth Sciences*, 15- 2.

Pennington, W.D., 1981. Subduction of the eastern Panama basin and seismotectonics of northwestern South America. *Journal of Geophysical Research* 86 (B11), 10, 753– 770.

Pilger T. 1984. American Andes Cenozoic plate kinematics, subduction and magmatism: South American Andes. *Journal of Geological Society*. V141, 753-770.

Quane, S.L., Russell, J.K., 2005. Welding: insights from high-temperature analogue 729 experiments. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 142, 67-87.

Ragan, D.H., Sheridan, M.F., 1972. Compaction of the Bishop Tuff, California. *Geological Society of America Bulletin* 83, 95-106.

Roobol, M.J., Smith, A.L., Wright, V., 1987. Lithic breccias in pyroclastic flow deposits on St. Kitts, West Indies. *Bull. Volcanol.* 49, 694-707.

Sparks, R.S.J., S. Self, G.P.L. Walker 1973. Products of ignimbrite eruption. *Geology* 1, 115-8.

Sparks, R.S.J. 1976. Grain size variations in ignimbrite and implications for the transport of pyroclastic flows. *Sedimentology* 23, 147-188.

Sparks R.S.J y G.P.L.Walker 1977. The significance of vitric-enriched air fall ashes associated with crystal- enriched ignimbrites. *J. Volcanol. Geotherm.m Res.* 2 329-341.

Sparks, R.S.J., Tait, S.R., Yanev, Y., 1999. Dense welding caused by volatile resorption. *Journal of the Geological Society of London* 156, 217-225. 759

Sheridan, M.F., Ragan, D.H., 1976. Compaction of ash-flow tuffs. En: G.V. Chilingarian and K.H. Wolf, (Eds.), *Compaction of Coarse-grained Sediments II*. Elsevier, pp. 677-713.

Stern, C.R., Kilian, R. 1996. Role of subducted slab, mantle wedge and continental crust in the generation of adakites from the Andean Volcanic Zone. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, Vol. 123, p. 263- 281.

Stern, R. J. 1998. A subduction primer for instructors of introductory - geology courses and authors of introductory - geology textbooks. *Journal of Geoscience Education* Vol. 46, p 221- 228.

Stern, C. 2004. Active Andean volcanism: its geologic and tectonic setting. *Revista geológica de Chile*. 31 (2), 161- 206.

Sohn Kwan Y. y Chough Kwun, S. 1989. Depositional processes of the Suwolbong tuff ring, Cheju Island (Korea). *Sedimentology* 36, 837- 855.

Thorpe R. S., 1984 The tectonic setting of active Andean volcanism. In *Andean magmatism: Chemical and Isotopic Constraints* (eds. R. S. Harmon and B. A. Barreiro). Shiva Geological Series, Shiva Publications, Nantwich, UK, pp. 4 8.

Torres, M. P.; Ibáñez, D.; Vásquez, E. 1992. Geología y estratigrafía de la Formación Popayán. Ingeominas, Informe interno, 85 p. Popayán

Torres, M. P., Monsalve, M.L., Pulgarín, B., Cepeda, H., 1999. Caldera de Paletará: Aproximación a la fuente de las ignimbritas del Cauca y Huila. Boletín geológico. V 37, 1- 15.

Van der Hammen. 1961. Late Cretaceous and Tertiary stratigraphy and tectogenesis of Colombian Andes. Geologie en Mijnbouw. 40-e Jaargang. pp. 81-188.

Van Houten F.B. 1976. Late Cenozoic volcanoclastic deposits, Andean foredeep. Geological Society American Bulletin. 87, 481- 495.

Walker, G.P.L. 1972. Crystal concentration in ignimbrites. Contrib. Miner. Petrol. 36, 135- 146.

Walker, G.P.L., 1985. Origin of coarse lithic breccias near ignimbrite source vents. J. Geotherm. Volcan. Res. 25, 157-171.

Walker, G.P.L. 1980. The Taupo pumice: product of the most powerful known (ultraplinian) eruption? Journal of Volcanology and Geothermal Research. 8, 69-94.

Weber, M.B.I, Tarney, J., Kempton, P.D., Kent, R.W. 2002. Crustal make-up of the northern Andes: evidence based on deep crystal xenolith suite, Mercaderes, SW Colombia. Tectonophysics 345, 49- 82.

Wholetz K.H. 1983. Mechanisms of hydrovolcanic pyroclast formation: grain-size, scanning electron microscopy and experimental studies. J. Volcanol. Geotherm. Res. 17, 31 – 63.

William H., A.R. McBirney, 1979. *Volcanology*. San Francisco: Freeman, Cooper.

Wilson, C.J.N. 1985. The Taupo eruption, New Zealand II. The Taupo ignimbrite. *Phil. Trans. R. Soc. Lond.* A314, 229-310.

Wilson, C.J.N., G.P.L.Walker, 1982. Ignimbrite depositional facies: the anatomy of a pyroclastic flow. *J. Geol. Soc. Lond.* 139, 581-592.

Wilson C.J.N. y G.P.L. Walker 1985. The Taupo eruption New Zealand I. General aspects. *Phil. Trans. R. Soc. Lond.* A314, 192- 228.

Wilson M. 1989. *Igneous petrogenesis*. 1989. Harper Collins Academic. 466p.

Wright J.V. y G.P:L. Walker 1981. Eruption, transport and deposition of ignimbrite: a case study from Mexico. *J. Volcanol. Geotherm. Res.* 9, 111-131.

Wright J.V. y G.P:L. Walker 1981. The ignimbrite source problem: significance of a co-ignimbrite lag-fall deposit. *Geology* 5, 729- 732.

White W. M., 2005 *Geochemistry*. John Hopkins University Press. 413 p.