

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

FACULTAD DE INGENIERÍA EN GEOLOGÍA Y PETRÓLEOS

**ESTUDIO DE LOS DEPÓSITOS VOLCÁNICOS DESDE EL
PLEISTOCENO SUPERIOR DEL VOLCÁN SUMACO, PROVINCIAS DE
NAPO Y ORELLANA**

TRABAJO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO GEÓLOGO

OPCIÓN: PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

SALGADO LOZA JOSUÉ ANDRES

josue_pp01@hotmail.com

DIRECTORA: MSc. PATRICIA ANN MOTHES

pmothes@igepn.edu.ec

CO-DIRECTORA: DRA. SILVANA IVONNE HIDALGO TRUJILLO

shidalgo@igepn.edu.ec

Quito, enero 2019

DECLARACIÓN

Yo, Josué Andrés Salgado Loza, declaro que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración cedo mis derechos de propiedad intelectual correspondientes a este trabajo, a la Escuela Politécnica Nacional, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normativa institucional vigente.

JOSUÉ ANDRES SALGADO LOZA

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por Josué Andrés Salgado Loza, bajo mi supervisión.

MSc. Patricia Ann Mothes

DIRECTORA

Dra. Hidalgo Trujillo Silvana Ivonne

CO-DIRECTORA

AGRADECIMIENTOS

Quiero expresar mi gratitud a Dios, quien con su bendición llena siempre mi vida.

A mis padres José y Anita, por ser el pilar más importante y demostrarme siempre su cariño y apoyo incondicional. Gracias a ustedes soy quien soy, a través de su amor, paciencia, buenos valores, ayudan a trazar mi camino. A mis hermanas, por el apoyo constante, la confianza y por llenarme de alegría día tras día.

A la Ing. Patricia Mothes, quien desde el primer momento me brindó su amistad, su bondad, su guía y fue de gran apoyo en la realización de este trabajo. Al Dr. Minard Hall e Ing. Bernardo Beate quienes con sus consejos y enseñanzas hicieron que pueda crecer día a día como profesional.

A la Dra. Silvana Hidalgo, por su confianza y consejos para la realización de este trabajo.

Al Ing. Patricio Ramón, quien con su experiencia y conocimiento me orientó en la investigación. Gracias por su valiosa contribución en la elaboración del presente trabajo.

Al Instituto Geofísico por las facilidades brindadas para el desarrollo de esta investigación.

A mis amigos, con todos los que compartí dentro y fuera de las aulas. Aquellos amigos que se convierten en amigos de vida y aquellos que serán mis colegas, gracias por todo su apoyo, consejos y momentos de alegría que hemos compartido.

Un agradecimiento a la comunidad de Pacto Sumaco, por la colaboración brindada durante las campañas de campo.

Agradezco también al Instituto Nacional de Investigación Geológica Minero y Metalúrgico (INIGEMM) por su aporte en la elaboración de las láminas delgadas para esta investigación.

DEDICATORIA

A mi familia, mis padres y mis hermanas Anita Sol y Maite.

La constancia, perseverancia y la actitud te lleva a conquistar lo que más anhelas.

TABLA DE CONTENIDO

DECLARACIÓN	II
CERTIFICACIÓN	III
AGRADECIMIENTOS	IV
DEDICATORIA	V
TABLA DE CONTENIDO	VI
ÍNDICE DE FIGURAS	IX
ÍNDICE DE TABLAS	XVII
RESUMEN	XVIII
ABSTRACT	XIX
CAPÍTULO I	1
INTRODUCCIÓN	1
1.1 Antecedentes	1
1.2 Justificativos	1
1.2.1 Justificación Teórica	1
1.2.2 Justificación Metodológica.....	2
1.2.3 Justificación Práctica	2
1.3 Objetivos.....	3
1.3.1 Objetivo General	3
1.3.2 Objetivos Específicos	3
1.4 Alcance.....	3
1.5 Metodología.....	5
1.6 Caracterización de la zona	6
1.6.1 Localización	6
1.6.2 Vías de acceso	8

1.6.3	Morfología e Hidrografía	9
1.6.4	Clima, Flora y Fauna.....	10
1.6.2	Población	13
1.7	Estudios Relacionados.....	15
2	MARCO TEÓRICO.....	20
2.1	Marco Geodinámico Actual del Ecuador	20
2.2	Volcanismo Cuaternario del Ecuador	22
2.2.1	Cordillera Occidental.....	22
2.2.2	Cordillera Real	23
2.2.3	Valle Interandino	23
2.2.4	Volcanismo de Tras-Arco	23
2.3	Marco Tectónico y Geológico Local.....	24
2.3.1	Fallas y lineamientos principales.....	24
2.3.2	El basamento geológico en el volcán Sumaco	27
3	GEOLOGÍA DEL VOLCÁN SUMACO	34
3.1	Descripción Morfológica del Edificio Volcánico del Sumaco.....	34
3.2	Secuencias estratigráficas en los alrededores del volcán Sumaco	39
3.2.1	Análisis de las cenizas volcánicas.....	40
3.2.2	Descripción de los sitios muestreados	42
3.2.3	Correlación petrográfica de las cenizas volcánicas: su interpretación y significado	64
3.3	Descripción geológica de los productos volcánicos pertenecientes al Sumaco	70
3.3.1	Depósitos de Flujo de Lodo y Escombros (Lahares).....	70
3.3.2	Depósitos de Flujos Piroclásticos.....	76

3.3.3	Depósitos de las Avalanchas de Escombros del Volcán Sumaco	82
3.3.4	Flujos de Lava del Volcán Sumaco	98
3.4	Depósitos Holocénicos acumulados en la orilla de la Laguna Guagua Sumaco ..	104
3.4.1	Características físicas y análisis de componentes de las capas de ceniza ...	107
3.5	Geocronología General de los Depósitos Volcánicos del Sumaco	111
4	CARACTERIZACIÓN PETROGRÁFICA Y GEOQUÍMICA DE LAS ROCAS DEL VOLCÁN SUMACO.....	113
4.1	Caracterización Petrográfica.....	113
4.2	Caracterización Geoquímica.....	135
4.2.1	Óxidos Mayores	138
4.2.2	Diagramas Harker.....	140
4.2.3	Elementos Traza.....	144
4.2.4	Modelo Geoquímico.....	152
5	RESULTADOS.....	157
6	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	165
6.1	Conclusiones.....	165
6.2	Recomendaciones	167
7	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	169
ANEXOS	1
ANEXO I: INFORME DE ANÁLISIS DE DATOS DE RADIOCARBONO	1
ANEXO II: UBICACIÓN DE LAS MUESTRAS USADAS EN LOS ANÁLISIS PETROGRÁFICOS.....	5
ANEXO III: ANÁLISIS GEOQUÍMICOS DE LAS ROCAS DEL SUMACO (ELEMENTOS MAYORES).....	7
ANEXO IV: ANÁLISIS GEOQUÍMICOS DE LAS ROCAS DEL SUMACO (ELEMENTOS TRAZA).....	11

ANEXO V: DESCRIPCIÓN PETROGRÁFICA DE LAS MUESTRAS DE CENIZA Y MATRIZ DE LOS DEPÓSITOS VOLCÁNICOS DEL SUMACO	15
--	-----------

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Volcanes Cuaternarios del Ecuador Continental (modificado de Bernard & Andrade, 2011), en el recuadro rojo se muestra la ubicación del volcán Sumaco.	7
Figura 1.2 El recuadro negro indica el área de interés del presente estudio. La red vial (línea roja) es la carretera conocida como Jondachi-Loreto-Coca (E-20).....	8
Figura 1.3 Mapa de ubicación del volcán Sumaco a nivel regional, incluyendo las poblaciones importantes y red vial (Base topográfica IGM, 2015; MDT tomado del Centro Alemán de Datos de Detección Remota (DFD), resolución 30m).	9
Figura 1.4 Mapa fisiográfico e hidrográfico del volcán Sumaco, incluyendo las poblaciones importantes (Base topográfica IGM, 2015; MDT tomado del Centro Alemán de Datos de Detección Remota (DFD), resolución 30m).	11
Figura 1.5 A) Una de las masas de raíces de los árboles gigantes caído debido a la intensa lluvia, localizado en el sendero de ascenso al volcán Sumaco. B) Árbol de cedro con una altura superior a 25 metros en el sendero PNSNG. (Fotografía: P. Mothes IG-EPN).....	12
Figura 1.6 La agricultura es la principal actividad económica de la población asentada cerca al volcán Sumaco. En la fotografía se observa cultivos de naranjilla en los alrededores de la Comunidad de “Pacto Sumaco”, Provincia de Orellana.	14
Figura 1.7 A) Esquema del sendero de ascenso al volcán Sumaco perteneciente al proyecto ecoturístico de la comunidad Pacto Sumaco auspiciado por la ONG GIZ-GESOREN. B) Cabaña turística de la Comunidad “Pacto Sumaco”, inicio de la travesía a la cumbre del volcán, Provincia de Orellana.	14
Figura 1.8 Modelo esquemático petrogenético de la NVZ en Ecuador, según Bourdon et al., 2003.	17
Figura 1.9 Modelo petrogenético que muestra la configuración esquemática de la zona de subducción y la profundidad relativa de las estabilidades minerales, según Garrison et al., (2018).....	19
Figura 2.1 Esquema geodinámico del Ecuador (Tomado de Yepes et al., 2016). NAB = Bloque Norandino; CCP= Sistema de fallas Cosanga-Chingual-Pallatanga-Puná.	21
Figura 2.2 Fallas principales e inferidas, ubicadas en los alrededores del volcán Sumaco (Egüez et al., 2003; Alvarado et al., 2012).....	26
Figura 2.3 Basamento del Volcán Sumaco, provincias de Napo y Orellana. Mapa geológico tomado de Barragán et al., 2014.	29
Figura 2.4 Formaciones, miembros y ciclos sedimentarios del cretácico de la Cuenca Oriente. El recuadro rojo enfatiza la mega secuencia cretácica de la Zona Subandina, basamento Cretácico del volcán Sumaco. Figura modificada de Haq et al., (1987).	31

Figura 3.1 Se observa las dos cicatrices de deslizamiento identificadas en el volcán Sumaco. La imagen A) muestra la cicatriz, indicada con línea blanca cortada en el lado occidental, con abertura hacia el norte. En la imagen B), se observa el aspecto plano de la cicatriz superior del edificio volcánico; la altura desde la cicatriz a la cumbre es de ~ 160 metros. (Fotografías aéreas tomadas por Ing. Patricio Ramón – IG EPN; 28 de Enero de 2016).....	35
Figura 3.2 Ortofoto del volcán Sumaco, se puede observar la gran cicatriz de deslizamiento, de forma semicircular abierta hacia el Norte, relacionada con el PaleoSumaco. (Ortofotografía: Ing. Patricio Ramón – IG EPN).....	36
Figura 3.3 Morfología del volcán Sumaco. Se puede identificar las 3 fases evolutivas del volcán: Primera fase o PaleoSumaco, segunda fase o Sumaco Reciente y tercera fase o Sumaco Actual (Fotografía aérea tomada por Ing. Patricio Ramón – IG-EPN; 28 de Enero de 2016).....	37
Figura 3.4 Cono actual del volcán Sumaco, creció sobre los restos de la segunda fase del volcán o Sumaco Reciente. Mide aproximadamente 160 metros de altura. Es posible observar las antenas repetidoras (flechas blancas) instaladas en la cumbre del volcán, en su flanco Este. (Fotografía aérea tomada por Ing. Patricio Ramón – IGEPN; 28 de Enero de 2016).....	37
Figura 3.5 Posiblemente un cono parásito, ubicado al nor-occidente del volcán Sumaco, se encuentra a una altura de 3070 msnm. (UTM aprox.: 18S 206560 / 9941126) (Fotografía aérea tomada por Ing. Patricio Ramón – IG EPN; 28 de Enero de 2016).....	38
Figura 3.6 A) Laguna “Guagua Sumaco” (211262 / 9936958, 2500 msnm) ubicada aproximadamente a 1200 metros en línea vertical por debajo la cumbre del volcán Sumaco. B) Vista de la Laguna Guagua Sumaco (2500 msnm). (Fotografías tomadas por Ing. Marco Córdova - IG EPN; 28 de Agosto de 2018).	39
Figura 3.7 Mosaico del procedimiento llevado a cabo en el laboratorio para la observación y análisis de las muestras de ceniza volcánica, coleccionadas en el presente estudio. 1. Lavar las muestras utilizando un limpiador ultrasónico; 2. Secar las muestras al aire libre; 3. Etiquetar las muestras para proceder con el análisis, descripción e interpretación bajo lupa binocular.....	41
Figura 3.8 Mapa de ubicación de las 6 secciones estratigráficas realizadas en el presente estudio.	41
Figura 3.9 Sección elaborada en el sector de Wild Sumaco, flanco sur del volcán Sumaco (210626, 9925285, 1513 msnm/ UTM WGS84-18S).....	43
Figura 3.10 Sección Pacto Sumaco, se observan 3 niveles de ceniza intercaladas con dos capas de suelo (210670/9925609, 1505 msnm/ UTM WGS84-18S).....	45
Figura 3.11 Tope de la sección, elaborada en la comunidad 8 de Diciembre. (231570/9937600, 884 msnm/ UTM WGS84-18S).....	47
Figura 3.12 Base de la sección, elaborada en la Comunidad 8 de Diciembre (231570/9937600, 884 msnm/ UTM WGS84-18S).....	48
Figura 3.13 Líticos de composición basáltica sin plagioclasa, algunos oxidados, de un tamaño hasta 3 centímetros pertenecientes a la muestra de ceniza SUM-JS-43.	49
Figura 3.14 Recolección de las partículas de carbón vegetal de la muestra de ceniza SUM-JS-44. La muestra obtuvo una edad de 4370 +/- 30 años BP.....	50

Figura 3.15 Columna estratigráfica Sección El Desbanque (212862/9926900, 1485 msnm/ UTM WGS84-18S).....	50
Figura 3.16 Sección Boca del Suno (263222/9922959, 278 msnm/ UTM WGS84-18S).	51
Figura 3.17 Capas de ceniza (SUM-JS-22 y SUM-JS-24) coleccionadas en Karutambo. (18M 0233992 / 9931582, 571 msnm / UTM WGS84-18S).	53
Figura 3.18 A) Esta figura muestra la ubicación del área de estudio realizado por Loughlin et al., 2017 B) Sección Vinillos en sus dos porciones fijas (A y B), la sección completa tiene una longitud de 325 cm. C) Perfil trazado desde el volcán Antisana hasta el Oriente Ecuatoriano, en donde se observa una distancia aproximada desde el sector de “Vinillos” al volcán Sumaco de 25 kilómetros. (Modificado de Loughlin et al., 2017)	54
Figura 3.19 Sección estratigráfica “Vinillos”, la capa de ceniza “T3” (recuadro rojo) presenta una composición similar a las cenizas del Sumaco con líticos basálticos de hasta 0.4 mm (Modificado de Loughlin et al., 2017).	57
Figura 3.20 Mapa de ubicación de las secciones estratigráficas localizadas al Nor-occidente del Sumaco.....	58
Figura 3.21 Sección estratigráfica Linares, localizada en las coordenadas (UTM) 190400/9959435, 2032msnm. En la imagen A) se observan dos capas de ceniza intercaladas con dos niveles de suelo; las capas de ceniza son de composición más ácida, en comparación a las capas de ceniza del volcán Sumaco. En la imagen B) se observa el lente de cerámica color negro (flecha blanca) presente en el segundo nivel de suelo de aproximadamente 20 cm de espesor. (18 M 190400/9959435, 2032 msnm / UTM WGS84-18S).....	59
Figura 3.22 Sección estratigráfica “Cedros”. Se observan las dos capas de ceniza (SUM-JS-48 y SUM-JS-49) correlacionadas con las muestras SUM-JS-50 y SUM-JS-51, pertenecientes a la sección Linares. Son capas de ceniza de composición más ácida, en comparación a las capas de ceniza del volcán Sumaco. (18M 189678/9956978, 1815 msnm / WGS84-18S).....	60
Figura 3.23 Recolección de la muestra “SUM-JS-48”, en la sección “Cedros”. La muestra de ceniza es fina, con varios líticos de pómez. Es muy similar a la muestra “SUM-JS-50”, de la sección Linares. .	61
Figura 3.24 Sección estratigráfica Borja, se identifica un nivel de lentes grises intermitentes de ceniza fina (SUM-JS-46). (18M 187391/9958464, 1708 msnm / WGS84-18S).	62
Figura 3.25 Sección estratigráfica Borja, se observa los lentes grises intermitentes de ceniza fina ..	63
Figura 3.26 Sección estratigráfica Ciénega, se ha identificado un depósito de ceniza muy fina (SUM-JS-47), color gris claro intercalada con niveles de suelo muy oscuro. (18M 186979/9951021, 1689 msnm / WGS84-18S).....	64
Figura 3.27 Gráfico de columnas que representan el diámetro de los líticos de roca (A) y pómez (B) pertenecientes a las capas de ceniza caracterizadas en las secciones: “Wild Sumaco” y “8 de Diciembre”. Las capas de ceniza han sido correlacionadas en el presente trabajo. Ambas secciones se encuentran en una zona proximal y distal, respectivamente. La capa de ceniza Ash 5 no presenta líticos.....	67
Figura 3.28 Correlación Estratigráfica entre las secciones: “Wild Sumaco”, “El Desbanque – Pacto Sumaco”, “8 de Diciembre”, las cuales se elaboraron en el presente estudio. La sección “El Desbanque”	

permite extender hacia abajo la sección elaborada en Pacto Sumaco. Las 5 capas de ceniza presentes en la sección 8 de Diciembre se correlacionan con las 5 capas de ceniza identificadas en la sección El Desbanque. Asimismo, las 3 capas de ceniza de la sección Wild Sumaco se correlacionan con las 3 capas de ceniza más recientes de las secciones El Desbanque y 8 de Diciembre. La capa de ceniza SUM-JS-44 tiene una edad ^{14}C de 4370 +/- 30 años AP. 68

Figura 3.29 Mapa de espesores promedio de las 5 capas de ceniza identificadas tanto al Sur (Lodge Wild Sumaco y Desbanque) como al Este (8 de diciembre) del volcán Sumaco. Las líneas cortadas representan isópacas construidas en base al espesor de las capas de ceniza correlacionadas en este estudio (Figura 3.27). Las capas de ceniza en la zona de “8 de Diciembre” presentan un menor espesor. El mapa ha sido elaborado tomando en cuenta que en la zona nor-occidental del volcán no ha sido posible encontrar capas de ceniza de fuente el volcán Sumaco. 69

Figura 3.30 Depósito de lahar de fuente probable el volcán Sumaco, muestra SUM–JS-25. Afloramiento ubicado en la zona de Karutambo – orilla del río Suno. (234090/9931615, 563 msnm/ UTM WGS84-18S). 71

Figura 3.31 Columna estratigráfica elaborada en la sección Puente Loreto. (242753/9922926, 411 msnm/ UTM WGS84-18S). 72

Figura 3.32 Capa de ceniza volcánica SUM-JS-31, tope de la sección Puente Loreto. 73

Figura 3.33 Columna estratigráfica correspondiente a la sección Puente Loreto, se puede evidenciar la matriz densa del depósito lahárico. Al tope del depósito (flecha negra), se tiene un nivel de restos de madera carbonizada, que obtuvo una edad de 25 310 +/- 100 años BP. 74

Figura 3.34 Tope de la columna estratigráfica “Puente Loreto”. Sobre el nivel de suelo orgánico color café, se observa un aparente depósito de lahar perteneciente al volcán Sumaco. (242753/9922926, 411 msnm/ UTM WGS84-18S). 75

Figura 3.35 Mapa de ubicación de los depósitos de flujos piroclásticos caracterizados en el presente trabajo. Los depósitos se encuentran a una distancia entre 33 a 40 km del vento actual del volcán. 76

Figura 3.36 Afloramiento en la comunidad de Boca del Suno, localizado en el margen izquierdo del río Suno. A la base, se observa el posible depósito de flujo piroclástico de composición traquibasáltica, perteneciente al volcán Sumaco. La muestra coleccionada es SUM–JS-16. (246150/9924246, 363 msnm / UTM WGS84-18S). 78

Figura 3.37 Columna estratigráfica elaborada en la sección Mina Río Suno – Loreto, ubicado en la vía que conduce a la localidad de Puerto Murialdo. (246150/9924246, 363 msnm / UTM WGS84-18S). 79

Figura 3.38 Depósito de flujo piroclástico (SUM-JS-26), ubicado en la mina del Consejo Provincial de Orellana, margen izquierdo del Río Suno. El depósito es de composición traquiandesítico. (239248/9931636, 497 msnm/ UTM WGS84-18S). 80

Figura 3.39 Mapa de la zona de estudio, con los principales afloramientos pertenecientes a los depósitos de avalanchas de escombros: DAE-RS, DAE-CHR, DAE-LP y DAE-RG. 82

Figura 3.40 Esquemas morfológicos de la cicatriz de deslizamiento y la morfología al pie del colapso del edificio volcánico del Sumaco hacia el oriente. El círculo rojo en la imagen **A**) marca la zona de montículos al este del Sumaco. 83

Figura 3.41 Depósito DAE-RS, en la localidad de Karutambo. La potencia de este afloramiento es ~ 10 metros. El tamaño de los bloques basálticos alcalinos, varía entre 3 – 4 metros. El depósito de la avalancha posee un espesor promedio de 100 metros (233824/9937148, 652 msnm / UTM WGS84-18S).	84
Figura 3.42 Depósito DAE-RS, ubicado en la antigua mina del Consejo Provincial de Orellana. La potencia de este afloramiento es ~ 12 metros, con un tamaño de los bloques entre 1 - 2 metros. Al depósito sobreyace un nivel de material volcánico disgregado (SUM-JS-26), de composición traquiandesita (239248/9931636, 497 msnm/ UTM WGS84-18S).	85
Figura 3.43 Afloramiento DAE-RS con facies de mezcla, localizado a 28 km de distancia del volcán Sumaco, en el sector de Karutambo. El depósito es homogéneo, con un contenido mayor al 90% de matriz (B) y clastos angulares de tamaño 1 metro menor al 10% (A). (234020/9931532, 552 msnm / UTM WGS84-18S; 24 de enero de 2018).	86
Figura 3.44 Fractura tipo jigsaw-cracks dentro de la facies de matriz del DAE-RS. (Foto: Patricia Mothes, IGEPN; 25 de enero de 2018).	87
Figura 3.45 Madera carbonizada (círculo rojo) usada para datación ¹⁴ C con una edad > 43 500 años BP, localizada en el afloramiento de la antigua mina del Consejo Provincial de Orellana. (239248/9931636, 497 msnm/ UTM WGS84-18S).	88
Figura 3.46 Depósito DAE-CHC con rocas traquíticas pertenecientes al volcán Sumaco. Sobre este depósito se observa una capa de material retrabajado, presenta estructuras fluviales de color beige claro (flecha blanca). (229143/9926997, 664 msnm / UTM WGS84-18S).	90
Figura 3.47 Depósito DAE-CHC con facies de mezcla, a 25 km de distancia del volcán Sumaco, localizado en la vía Loreto- Ávila Viejo. El depósito es heterogéneo, con un contenido mayor al 90% de matriz.	91
Figura 3.48 Fotografía tomada hacia el margen derecho del Río Guamaní, se observa el flujo de lava Guamaní junto al depósito DAE-RG, ubicado en la parte superior. (206146/9920135, 1071 msnm / UTM WGS84-18S).	92
Figura 3.49 Depósito DAE-RG, ubicado en el puente “El Tigre”, al margen izquierdo del río Guamaní. La potencia promedio del depósito es de aproximadamente 80 metros. (206146/9920135, 1071 msnm / UTM WGS84-18S).	93
Figura 3.50 Depósito DAE-RG en facies de matriz, se observa pómez blanca, con tamaño de hasta 1 cm.	94
Figura 3.51 Matriz muy consolidada con líticos grises de composición similar a las rocas del Sumaco de hasta 3 cm. La pómez blanca tiene un tamaño de hasta 1 cm. La muestra recolectada pertenece a SUM-JS-34.	94
Figura 3.52 Depósito avalancha de escombros ubicado en Las Peñas, margen izquierdo del Río Huataraco. El depósito contiene una gran cantidad de restos de madera carbonizada, este material no se fechó debido a que el depósito se encuentra muy meteorizado por lo que se considera un depósito viejo. (235868 / 9920392, 387 msnm/ UTM WGS84-18S).	95
Figura 3.53 Depósito DAE-LP, localizado en la vía que conduce al Balneario Las Peñas - El Balcón. (235868 / 9920392, 387 msnm/ UTM WGS84-18S).	96

Figura 3.54 Mapa de la zona de estudio con los principales afloramientos de los flujos de lava pertenecientes al volcán Sumaco (FL. Hollín, FL. Guamaní, FL. Huataracu).	98
Figura 3.55 Afloramiento tipo del flujo de lava Río Hollín, ubicado en el paradero Hollín. El flujo de lava corresponde a una tefrita porfírica (47-48 wt% SiO ₂) con grandes fenocristales del clinopiroxeno augita. (196117 / 9923056, 1036msnm / UTM WGS84-18S).....	99
Figura 3.56 Afloramiento tipo del flujo de lava Guamaní, ubicado al margen derecho del río Guamaní, flanco sur del volcán Sumaco. El flujo de lava es de composición tefrita y presenta grandes fenocristales de augita. (205907/9920215, 1069 msnm / UTM WGS84-18S).....	100
Figura 3.57 Flujo de lava Río Huataracu, flanco sur del volcán Sumaco. (212862/9926900, 1484 msnm / UTM WGS84-18S)	101
Figura 3.58 En este mapa, se ha representado los diferentes depósitos de flujos de lava asociados al Sumaco. En general, los flujos son poco viscosos y recorren grandes distancias, descendiendo por los drenajes principales. La zona norte del volcán no ha sido estudiada debido a la inaccesibilidad por carretera a los afloramientos. La figura ha sido planteada utilizando los diversos afloramientos caracterizados en este trabajo.	103
Figura 3.59 Batimetría obtenida de la Laguna Guagua Sumaco (Batimetría realizada por Celi y Pereira – IKIAM, comunicación personal).	104
Figura 3.60 Mapa de ubicación de la Laguna Guagua Sumaco, se puede identificar también el sendero PNSNG. La laguna se encuentra en las coordenadas (UTM) 18S 211262 / 9936958, 2500 msnm.	105
Figura 3.61 Toma de la muestra de turba OL3 (Figura 3.62) del testigo de perforación SUM-001 para la respectiva datación radiocarbón mediante el método LCS. La edad obtenida es de 360 +/- 30 años BP.	106
Figura 3.62 Resumen fotográfico de la obtención del testigo de perforación SUM –001, en las orillas de la Laguna Guagua Sumaco. La perforación alcanzó una profundidad de 3 metros y se identificó 9 capas de ceniza intercaladas con niveles de turba y sedimento. La fotografía derecha abajo corresponde al primer metro perforado.....	106
Figura 3.63 Columna estratigráfica del testigo de perforación obtenido de la Laguna Guagua Sumaco junto con las ubicaciones de las capas de ceniza, descripción breve de cada una de ellas y el resultado de la datación ¹⁴ C (360 ± 30 años AP).....	109
Figura 4.1 Mapa de ubicación de muestras representativas recolectadas en el presente estudio. Las muestras con el código SUM-JS- pertenece al estudio actual. Mientras las muestras con código GS- son pertenecientes al estudio de Garrison et al., 2018.	113
Figura 4.2 Muestra SUM-JS-09, vista al microscopio (objetivo 2.5x). Se puede observar grandes cristales color verde pálido de titanio-augita con golfos de corrosión (parte superior, LPP y NX).	115
Figura 4.3 Muestra SUM-JS-03 vista al microscopio (objetivo 2.5x). Se distingue grandes fenocristales de titanio-augita color verde pálido (superior izquierda, LPP) que sobresalen en una matriz microcristalina compuesta por cristales de plagioclasa + minerales opacos.	116
Figura 4.4 Muestra es SUM-JS-38 (objetivo 2.5x). Se observa cristales pequeños subhedrales de hauyina (superior izquierda, LPP), junto a los cristales de titanio-augita color verde pálido.	117

Figura 4.5 Muestra SUM-JS-41 vista al microscopio (objetivo 2.5x). Se observa cristales incoloros de hauyna con golfos de corrosión (inferior izquierda, LPP), varios cristales prismáticos verdes del mineral titano-augita y cristales de plagioclasa con textura “sieve” (flecha roja).	119
Figura 4.6 Muestra SUM-JS-28 (objetivo 20x). Se observa cristales de clinopiroxeno con varias inclusiones de apatito (cristales incoloros alargados mostrando su cara basal) (flecha roja). Se observa también algunos minerales opacos (flecha azul).	120
Figura 4.7 Muestra SUM-JS-28 (objetivo 2.5x), en donde se observan grandes cristales verdes pálidos de titano-augita (parte superior en la fotografía izquierda, LPP).	120
Figura 4.8 Cristales orientados de plagioclasa de composición bitownita (An_{70-90}) con su característica textura “sieve” (flecha roja) (Muestra SUM-JS-35).	122
Figura 4.9 Muestra SUM-JS-35 (objetivo 2.5x). Se puede observar cristales prismáticos incoloros de plagioclasa (bitownita) con maclas de polisintéticas (parte inferior de la imagen derecha, NX), cristales de titano-augita (parte izquierda, LPP). Además, se observa un cristal con relieve y birrefringencia alto de olivino (parte superior de ambas imágenes, LPP y NX).	122
Figura 4.10 Muestra es SUM-JS-33 (aumento 2.5x). Se distingue claramente la orientación de los microcristales de plagioclasa (bitownita) y apatito que forma la textura pilotáxica de la roca.	123
Figura 4.11 Muestra SUM-JS-40 (aumento 2.5x). Se observa grandes vesículas (flecha roja) creadas por el escape de los gases. Se observa grandes cristales de titano-augita (inferior izquierda, LPP) y pequeños cristales alterados a arcillas de hauyna (parte central, LPP).	124
Figura 4.12 Muestra SUM-JS-42 (aumento 2.5x). La roca se encuentra muy meteorizada. Se observa cristales de hauyna con bordes de reacción (parte izquierda, LPP). Cristales de titano-augita son llamativos por su alta birrefringencia (parte derecha, NX)	125
Figura 4.13 Muestra GS-17 (aumento 2.5x). Se observa cristal de hauyna en tonalidad azul (parte superior izquierda, LPP) que es isotrópico (imagen NX). Cristales prismáticos esparcidos de titano-augita y varios cristales incoloros de plagioclasa con maclas polisintéticas.	126
Figura 4.14 Muestra 1.20.29, perteneciente al primer grupo de rocas del río Pucuno. Se observa cristales de titano-augita (parte superior izquierda, LPP) y pequeños cristales ordenados de bitownita.	128
Figura 4.15 Muestra SUM A perteneciente al segundo grupo de rocas del Río Pucuno. Se observa agregados cristalinos de titano-augita (parte inferior derecha, LPP).	128
Figura 4.16 Muestra SUM C (aumento 2.5x). Se observan cristales de hauyna con bordes de oxidación (parte central inferior, LPP) con coloración azulada. Cristales de titano-augita con golfos de corrosión (parte izquierda, LPP).	129
Figura 4.17 Lámina delgada de la muestra SU-19-RF-10 (aumento 2.5x). Se observan varios cristales incoloros de hauyna (parte superior derecha, LPP) con forma euhedral – subhedral. La bomba pertenece a las rocas más jóvenes del volcán Sumaco al presentar una composición similar a las rocas de la cumbre (ejemplo: muestra GS-9).	131
Figura 4.18 Muestra SUM-JS-36 (aumento 2.5x). Se observa agregados cristalinos de titano-augita (abajo derecha, LPP) y cristales euhedrales con zonación reloj de arena (flecha roja). Además, se	

<i>observa cristales marrones de hornblenda con bordes de oxidación (parte derecha, LPP). Los cristales de plagioclasa (labradorita a andesina) presentan textura sieve (flecha blanca).....</i>	132
Figura 4.19 <i>Mapa de ubicación de las muestras de rocas que son parte del análisis geoquímico. Los datos geoquímicos utilizados por IRD-IGEPN, no poseen ubicación.....</i>	135
Figura 4.20 <i>Diagrama LOI vs SiO₂.....</i>	137
Figura 4.21 <i>Diagrama Total Alkali Sílica (TAS) (Le Bass et al., 1986) que muestra el grupo de rocas más máficas y el grupo de rocas más diferenciadas del Sumaco. También se muestran diferentes rocas pertenecientes al Arco Ecuatoriano.....</i>	139
Figura 4.22 <i>Diagrama SiO₂-K₂O (Peccerillo and Taylor 1976). Se muestra las rocas del Sumaco pertenecientes a la serie shoshonítica comparadas con las rocas de otros volcanes del Arco Ecuatoriano.....</i>	140
Figura 4.23 <i>Diagrama de elementos mayores con respecto al SiO₂.....</i>	141
Figura 4.24 <i>Diagrama de elementos mayores con respecto al SiO₂. (Continuación).....</i>	143
Figura 4.25 <i>Diagrama Spider de Elementos Traza para las rocas del Sumaco normalizados a la composición del manto primitivo (Sun & McDonough, 1989).....</i>	144
Figura 4.26 <i>Diagrama Spider de Elementos de Tierras Raras (REE) para las rocas del Sumaco normalizados a la composición del manto primitivo (McDonough & Sun, 1995).....</i>	145
Figura 4.27 <i>Diagramas Harker de elementos traza (ppm) vs. Sílice (wt%).....</i>	148
Figura 4.28 <i>Diagramas Harker de elementos traza (ppm) vs. Sílice (wt%) (Continuación).....</i>	149
Figura 4.29 <i>Diagramas Harker de elementos traza (ppm) vs. Sílice (wt%) (Continuación).....</i>	150
Figura 4.30 <i>Diagramas Harker de elementos traza (ppm) vs. Sílice (wt%) (Continuación).....</i>	151
Figura 4.31 <i>Diagrama de variación entre Mg # vs. Th. La correlación mostrada sugiere que la evolución de las rocas del Sumaco está dominada por un proceso de cristalización fraccional.....</i>	153
Figura 4.32 <i>Diagramas para el modelo evolutivo del volcán Sumaco (Relaciones establecidas por Schiano et al., 2010) (continuación). Los gráficos de la derecha muestran las tendencias de los modelos aplicables.....</i>	155
Figura 5.1 <i>Cristales de hornblenda color marrón idiomorfos en LPP. La imagen de la izquierda pertenece a la muestra SUM-JS-36, perteneciente al Debris Flow del Tena. La imagen de la derecha es la sección delgada de la muestra SUM-JS-40 perteneciente al flujo de lava Huataracu.....</i>	162
Figura 5.2 <i>Sección estratigráfica panorámica entre los depósitos volcánicos del Sumaco. Todos los depósitos se estudiaron en este trabajo y han sido correlacionados con cada unidad del edificio volcánico. Significado de las abreviaturas: ads: andesina, byt: bitownita, crst: cristales, hbl: hornblenda, hyn: hauyna, lab: labradorita, ol: olivino, pl: plagioclasa, ti-aug: titano-augita.....</i>	164

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Descripción simplificada de cenizas volcánicas presentes en la sección Wild Sumaco.	43
Tabla 2. Descripción simplificada de cenizas volcánicas presentes en la sección Pacto Sumaco.	44
Tabla 3. Descripción simplificada de cenizas volcánicas presentes en la sección 8 de Diciembre. HC = Hercinita; FRY = Ferrihidrita.	47
Tabla 4. Descripción simplificada de cenizas volcánicas presentes en la sección El Desbanque. HC = Hercinita; FRY = Ferrihidrita.	49
Tabla 5. Descripción simplificada de cenizas volcánicas presentes en la sección Boca del Suno. FRY= Ferrihidrita; FS= Feldespato de potasio; ZRN = Zircón.	52
Tabla 6. Descripción simplificada de cenizas volcánicas presentes en la sección Karutambo.	53
Tabla 7. Resumen de la composición y descripción de las capas de ceniza coleccionadas en sitios accesibles al volcán Sumaco. Significado de las abreviaturas: AUG: Augita, BIOT: Biotita, BOTR: Botroidal, ESC: Escoria, FRY: Ferrihidrita, FS: Feldespato de K, HC: Hercinita, HBD: Hornblenda, LIT: Líticos, MIN: Minerales, POM: Pómez, SRH: Shard, VIDR: Vidrio volcánico, ZRN: Zircón.	65
Tabla 8. Descripción simplificada del análisis bajo lupa binocular de la muestra SUM-JS-25, obtenida del sector de Karutambo. El depósito corresponde a la parte lateral de un flujo de lodo del volcán Sumaco.	71
Tabla 9. Descripción simplificada del análisis bajo lupa binocular de la muestra SUM-JS-16, obtenida del afloramiento ubicado al margen izquierdo del río Suno, al este de la ciudad de Loreto.	78
Tabla 10. Descripción simplificada del análisis bajo lupa binocular de la muestra SUM-JS-26, obtenida del afloramiento ubicado en la mina del Consejo Provincial de Orellana, margen izquierdo del Río Suno.	81
Tabla 11. Resumen de las características físicas y composición de las capas de ceniza encontradas en la Laguna Guagua Sumaco. Significado de las abreviaturas: AUG: Augita, BIOT: Biotita, HC: Hercinita, HBD: Hornblenda, OBSD: Obsidiana, SHRD: Shard, ZR: Zircón.	110
Tabla 12. Resumen de las dataciones radiométricas utilizadas en el presente estudio.	112
Tabla 13. Resumen de la mineralogía para las rocas del volcán Sumaco, considerando el tipo de depósito. An=Anortita; Hbl=Hornblenda; Hyn=Hauyna; Ti-aug=Titano-augita; Pl=Plagioclasa; Ol=Olivino.	134
Tabla 14. Análisis Geoquímicos. Los elementos mayores están dados en wt%. El código de las muestras es el siguiente: SUM XX = Hidalgo et al., (2012); SU-XXX = Garrison et al., (2018); SUM-JS-XX = Presente Estudio; Muestra T3 = Loughlin et al., (2017).	7
Tabla 15. Análisis Geoquímicos. Los elementos traza están dados en ppm. El código de las muestras es el siguiente: SUM XX = Hidalgo et al., (2012); SU-XXX = Garrison et al., (2018); SUM-JS-XX = Presente Estudio; Muestra T3 = Loughlin et al., (2017).	11

RESUMEN

El volcán Sumaco (3830 msnm) es un estrato volcán que se encuentra en la zona subandina norte de Ecuador, a 105 km al suroeste de Quito, 25 km al sureste de Baeza y 35 km al noroccidente de Loreto. Este volcán se caracteriza por un edificio volcánico principal cónico y muy simétrico con una base aproximada de 20 km y con una pendiente de sus flancos altos de hasta 30° de inclinación.

En el presente trabajo se identificó los productos del volcán desde el Pleistoceno Superior hasta el reciente. Los productos encontrados han sido estudiados petrográficamente, además se recolectaron muestras representativas para realizar análisis geoquímicos y secciones delgadas. En total se estudiaron cuatro depósitos de avalancha (DAE-RS, DAE-CHC, DAE-LP y DAE-RG), tres flujos de lava (F.L. Hollín, F.L. Guamaní y F.L. Huataracu), un depósito de flujo de lodo (Lahar Loreto) y dos depósitos de flujos piroclásticos (“Antigua Mina Loreto” y “Mina Consejo Provincial Karutambo”). Dataciones con el método de radiocarbono fueron realizados del depósito de avalancha DAE-RS (sector NE, cerca de Karutambo), el resultado del análisis indica una edad mayor a 43 500 años BP. Además, el flujo de lodo “Puente Loreto” ha dado una edad de 25 310 años BP.

Se ha identificado mediante el estudio de cuatro secciones estratigráficas al menos cinco capas de ceniza en los alrededores del volcán Sumaco. Los espesores de las capas y el tamaño de los líticos sugieren que las erupciones fueron con un VEI entre 3 y 4. La capa de ceniza SUM-JS-44 obtuvo una edad radiocarbón de 4370 años BP.

Una perforación manual llevada a cabo en la Laguna “Guagua Sumaco” permitió conocer que el volcán experimentó al menos 6 erupciones pequeñas durante los últimos 360 años. Confirmando su actividad reciente con una última erupción aproximadamente en 1660 AD, lo que permite clasificarlo dentro del grupo de volcanes potencialmente activos del Ecuador.

Finalmente, cada depósito estudiado fue correlacionado con las tres diferentes unidades del edificio volcánico. Las unidades fueron identificadas mediante una interpretación de fotografías aéreas, imágenes satelitales y modelo digital de elevación.

Palabras clave: *Sumaco, Trasarco, Hauyna, Fonolita, Tefrita*

ABSTRACT

Sumaco volcano (3830 msnm) is a stratovolcano located in the northern Sub-Andean area of Ecuador, 105 km southwest of Quito, 25 km southeast of Baeza and 35 km north-west of Loreto. This volcano is characterized by a conical and very symmetrical main volcanic building with an approximate base of 20 km and with a slope of its high flanks of up to 30° inclination.

In the present work the products of the volcano from the Upper Pleistocene until the recent one were identified. The products found have been studied petrographically, and several representative samples were collected to perform geochemical analyzes and thin sections. In total, four avalanche deposits were studied (DAE-RS, DAE-CHC, DAE-LP and DAE-RG), three lava flows (FL Hollín, FL Guamaní and FL Huataracu), a lahar deposit (Lahar Loreto) and two deposits of pyroclastic flows ("Antigua Mina Loreto" and "Mina Provincial Council of Karutambo"). Radiocarbon dating was also undertaken of the DAE-RS avalanche deposit (sector NE, near Karutambo), the result of the analysis indicates an age greater than 43 500 BP years. In addition, the lahar "Puente Loreto" has given an age of 25 310 BP years.

It has been identified by studying four stratigraphic sections at least five layers of ash around the Sumaco volcano. The thickness of the layers and the size of the lithic ones suggest that the eruptions were with VEI between 3 and 4. The layer of ash SUM-JS-44 obtained a radiocarbon age of 4370 BP years.

A manual drilling carried out on the Laguna "Guagua Sumaco" allowed us to know the volcano experienced at least 6 small eruptions during the last 360 years. Confirming its recent activity with a last eruption approximately in 1660 AD, which allows it to be classified within the group of potentially active volcanoes of Ecuador.

Finally, each deposit studied was correlated with the different units of the volcanic building. The units were identified through an interpretation of aerial images, satellite images and digital elevation model.

Key words: *Sumaco, Trasarco, Hauyna, Fonolita, Tefrita*

CAPÍTULO I

1 INTRODUCCIÓN

1.1 Antecedentes

El Ecuador es un país con actividad volcánica reciente y en curso, la cual se ve evidenciada en los diferentes depósitos volcánicos los cuales representan la historia evolutiva de un volcán.

El arco volcánico ecuatoriano está compuesto por al menos 84 centros eruptivos de edad Plio-Cuaternaria (Bernard & Andrade, 2011) los cuales han presentado episodios eruptivos desastrosos e instantáneos. Esto nos convierte en un país con un alto nivel de riesgo volcánico, especialmente dado que un alto porcentaje de la población vive cerca de un volcán potencialmente activo. Para un mejor entendimiento en la evolución de un volcán se requiere de información detallada para interpretar, caracterizar, construir y distinguir los diferentes períodos de construcción y destrucción de los edificios volcánicos.

El volcán Sumaco está localizado en la amazonia ecuatoriana (0,54° S; 77,63° W), actualmente no tiene monitoreo instrumental y ha sido poco estudiado en el pasado, principalmente por su difícil acceso y ubicación remota. Su forma cónica casi perfecta, en una zona de alta erosión y pluviosidad, nos da indicios de una actividad reciente y vigorosa que no ha sido registrada en los recuentos históricos. («SUMACO - Instituto Geofísico - EPN», s. f.) Aunque las erupciones históricas del volcán no han sido observadas, se estima que las más recientes ocurrieron entre 1865 y 1925 (Colony & Sinclair, 1928).

El volcán representa una amenaza potencial para los habitantes de Pacto Sumaco, Loreto y Ávila Viejo, pueblos aledaños. La importancia de estudiar este volcán radica en confirmar su aparente juventud. Conocer y entender este volcán permitirá hacer una evaluación de las amenazas potenciales asociadas al mismo, así como también constituir una base para futuros proyectos geovolcanológicos más detallados.

1.2 Justificativos

1.2.1 Justificación Teórica

El Sumaco es un volcán con lavas de composición alcalina por lo cual ha sido objeto de varios estudios petrológicos (Colony & Sinclair, 1928; Bourdon et al., 2003; Garrison et al., 2018). Sin embargo, debido a su ubicación remota, se conoce poco sobre su desarrollo

estructural y su historia eruptiva reciente. El volcán se encuentra constituido por un edificio antiguo que ha sufrido un gran deslizamiento y un cono nuevo que ha crecido al interior del anfiteatro dejado tras el deslizamiento: el cono se habría formado por una continua e intensa actividad estromboliana, supuestamente (“SUMACO - Instituto Geofísico - EPN”, s. f.). La edad del último periodo eruptivo del volcán no ha sido confirmada, tampoco su evolución e historia eruptiva.

Esto justifica la necesidad de realizar el presente estudio con el objetivo de contribuir al conocimiento del volcán, identificando sus productos eruptivos desde los últimos 50000 años y realizando un análisis vulcanológico, petrográfico y geoquímico para intentar establecer su evolución, misma que ha dado origen a su configuración actual.

1.2.2 Justificación Metodológica

Se realizó la fotointerpretación de imágenes satelitales y aéreas con el fin de establecer un plan de trabajo para las jornadas de campo y levantamiento geológico, así como también para interpretar la morfología del edificio volcánico. Al mismo tiempo, se estableció los lugares tentativos para la recolección de muestras de rocas y depósitos representativos del volcán. Además, se realizó una perforación en la laguna “Guagua Sumaco” para obtener un registro de las capas de cenizas acumuladas en las orillas de la lagunita. Se establecieron las relaciones cronoestratigráficas mediante la elaboración y descripción de columnas estratigráficas. El análisis de las muestras se realizó en base a estudios petrográficos y geoquímicos como son descripciones macroscópicas y en lámina delgada de las muestras de roca, descripciones usando lupa binocular de las capas de ceniza, análisis a detalle del testigo de perforación obtenido de la laguna “Guagua Sumaco” y análisis geoquímicos (elementos mayores, menores y elementos traza) de muestras representativas que fueron realizados en laboratorios internacionales. Adicionalmente se complementó con dataciones radiocarbón con el fin de tener una geocronología de los depósitos del volcán. Esto permitió conocer los diferentes procesos geológicos que ocurrieron durante su desarrollo y sus principales productos eruptivos.

1.2.3 Justificación Práctica

Los estudios geológicos de los volcanes permiten adquirir el conocimiento necesario para una adecuada definición de sus amenazas volcánicas potenciales. Los fenómenos asociados al volcán Sumaco representan una amenaza para los habitantes principalmente de Pacto Sumaco, Loreto, Ávila y Ávila Viejo e infraestructura como puentes, carreteras y sistemas de agua potable. Una correcta evaluación de la amenaza requiere de trabajos

investigativos sobre la evolución, dinámicos y fenómenos asociados a un volcán. Por lo cual, el presente trabajo permitió mejorar la evaluación de las amenazas asociadas a este volcán, incidiendo positivamente en la reducción de la vulnerabilidad y aportando a la evaluación del riesgo.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo General

Contribuir al conocimiento del volcán Sumaco mediante una identificación y caracterización de los productos eruptivos del volcán desde el Pleistoceno superior.

1.3.2 Objetivos Específicos

- i. Identificar los productos eruptivos desde el Pleistoceno superior del volcán Sumaco.
- ii. Realizar la descripción de columnas estratigráficas.
- iii. Realizar un estudio microscópico (láminas delgadas) y macroscópico de las rocas coleccionadas en las campañas de campo.
- iv. Analizar bajo lupa binocular las cenizas coleccionadas en las campañas de campo.
- v. Caracterizar de manera cualitativa los depósitos de avalanchas, flujos de lodo y escombros desde el Pleistoceno superior pertenecientes al volcán Sumaco, en partes accesibles.
- vi. Realizar un análisis de los testigos de perforación obtenidos de la Laguna “Guagua Sumaco”.
- vii. Analizar las fotografías aéreas del volcán Sumaco e interpretar la morfología de su edificio volcánico.
- viii. Establecer la evolución del Volcán Sumaco.

1.4 Alcance

En este trabajo se estudió los productos eruptivos emitidos durante los últimos 50000 años del volcán Sumaco para contribuir a un mayor conocimiento de la evolución y estructura del edificio volcánico y comprobar su actividad reciente.

Se realizó una interpretación morfológica del edificio volcánico mediante el análisis del Modelo Digital de Elevación de resolución espacial de 4 m, 12 m y 30 m, 3 ortofotos y 32 fotografías aéreas.

Se hizo un análisis petrográfico macroscópico de 25 muestras de roca coleccionadas en las diferentes campañas de campo y un análisis petrográfico microscópico de 25 láminas delgadas correspondientes a las muestras más representativas de los productos eruptivos del volcán. El estudio de las secciones delgadas se realizó en el laboratorio del Instituto Geofísico de la EPN, utilizando el microscopio marca ZEISS modelo Axio Scope.A1.

Se realizaron 6 análisis geoquímicos de elementos mayores, menores y trazas de los productos eruptivos representativos del volcán Sumaco y se realizó una comparación con una base de 68 análisis químicos anteriores correspondientes a rocas del volcán Sumaco. Los análisis geoquímicos presentan concentraciones de 10 óxidos mayores y de 21 elementos trazas. Los datos geoquímicos fueron recalculados al 100% sobre una base anhidra, es decir, excluyendo el valor del LOI (loss on ignition = pérdida al fuego). Todos los datos geoquímicos que se presentan en el estudio se encuentran normalizados en base anhidra.

Los 6 análisis geoquímicos fueron realizados en laboratorios internacionales los cuales corrieron a cargo de los investigadores: Patricia Mothes, cuatro muestras (SUM-JS-03, SUM-JS-09, SUM-JS-16, SUM-JS-26) enviadas al GeoAnalytical Laboratory de la Universidad del Estado de Washington en EEUU y, Silvana Hidalgo con dos muestras (SUM-JS-33 y SUM-JS-40) enviadas al Laboratorio de la Universidad de Bretaña Occidental en Francia.

Igualmente se realizó una descripción cualitativa de avalanchas, flujos de lodo y escombros pertenecientes al volcán Sumaco, en las partes accesibles.

Se realizó una perforación de 3 metros en la laguna “Guagua Sumaco” que se localiza en el flanco sur oriental del volcán Sumaco y aproximadamente a 1200 metros en línea vertical por debajo de su cumbre, y se analizó el testigo de perforación obtenido.

Se elaboraron secciones estratigráficas en los alrededores accesibles del volcán Sumaco con el fin de caracterizar los componentes de las capas de ceniza y se coleccionó material orgánico para su datación radiocarbón.

Se caracterizó bajo lupa binocular las 20 capas de ceniza identificadas en las 9 columnas estratigráficas estudiadas. Para el estudio de las capas de ceniza se utilizó el microscopio binocular marca Olympus modelo SZ61 de propiedad del Instituto Geofísico de la EPN.

En este estudio se realizaron cuatro dataciones radiocarbón, las muestras fueron enviadas al laboratorio BETA Analytc Inc. en Miami, Florida, EE.UU, las cuales fueron pagadas por P. Mothes.

Los cuatro resultados de dataciones ^{14}C de material orgánico fueron incorporados para saber la frecuencia de las erupciones más recientes de este volcán.

La calibración de las edades radiocarbón obtenidas se lo realizó en el programa 'OxCal' (v4.3) desarrollado por Bronk Ramsey (2009), mediante el método HPD (High Probably Density Range Method) empleando la curva de calibración atmosférica SHCAL 13.

La logística de las campañas de campo estuvo a cargo del Instituto Geofísico de la EPN. Además, dos salidas de campo fueron realizadas con la colaboración de Dr. M. Hall.

1.5 Metodología

- Se recopiló y analizó la información bibliográfica de los trabajos previos en la zona de estudio, publicaciones científicas nacionales e internacionales, informes inéditos, estudios geológicos tanto regionales como locales en la zona de estudio; así como también, cartografía topográfica y geológica a escala 1:25000 y 1:50000, DEM, ortofotos, imágenes satelitales, fotografías aéreas y oblicuas para tener un suficiente conocimiento previo del tema con el fin de realizar un reconocimiento a la zona de estudio, planear el trabajo de campo y comenzar la investigación.
- Se analizó el Modelo Digital de Elevación (DEM) con resolución espacial de 4 m, 12 m y 30 m, fotografías aéreas y oblicuas para identificar posibles afloramientos, interpretar la morfología del edificio volcánico e identificar características morfológicas que evidencien la existencia de cicatrices de deslizamiento en el volcán.
- Se realizaron campañas de campo con el fin de estudiar los afloramientos accesibles, tomar muestras de rocas representativas, levantar columnas estratigráficas y buscar evidencias de una actividad reciente del volcán.
- Se realizó una perforación de hasta 3 metros de profundidad en las orillas de la laguna "Guagua Sumaco" para obtener un registro de las capas de cenizas que se encuentran preservadas en este lugar. Para la obtención del testigo de perforación llamado "SUM – 001" se utilizó una perforadora manual y se llevó un control continuo de la profundidad con la ayuda del flexómetro. En el lugar se hizo una

breve descripción de las capas de tefra caracterizando su color, tamaño de grano y componentes macroscópicos principales.

Para la recolección del testigo de perforación se utilizó un tubo de PVC previamente recubierto con papel aluminio. Una vez ya colocado el testigo en el tubo se procedió a envolverle en una película de plástico para evitar la contaminación externa precautelando una mejor preservación y transporte.

En el laboratorio, los testigos de perforación fueron introducidos dentro de un horno eléctrico a una temperatura de 40°C con el objetivo de eliminar la humedad. A esta temperatura el agua estructural de los componentes no se evapora y se evita alguna alteración en los resultados analíticos (Santamaría et al., 2017). En el proceso de secado se realizó un control continuo del peso hasta que la muestra quedó seca. Al finalizar, se realizó un estudio a detalle de los testigos de perforación.

Las muestras de tefra fueron lavadas utilizando un limpiador ultrasónico durante 5 minutos con el fin de separar, en lo posible, la ceniza volcánica de la materia orgánica (pedazos de tallos, raíces y hojas). Posteriormente, las muestras fueron secadas al aire libre para proceder a realizar el respectivo análisis de componentes.

- Se analizó y procesó las muestras de roca y capas de ceniza recolectadas en las campañas de campo para describirlas macroscópicamente, en lámina delgada y usando la lupa binocular. Además, se realizó dataciones radiocarbón y análisis geoquímicos (roca total, elementos mayores, menores y trazas) los cuales se llevaron a cabo en laboratorios internacionales.
- El magnetismo fue medido relativamente con un lápiz magnético sobre todas las muestras de roca.
- Para el análisis visual de las cenizas se utilizó un formato basado en la descripción de los rasgos importantes de los diferentes componentes de las cenizas. Los rasgos principales para la descripción de las cenizas son: color, brillo, forma, vesicularidad, inclusiones, forma cristalina, traslucidez, estructuras fluidales, fracturamiento, alteración. Se debe tomar en cuenta que no todos los componentes siempre se identifican con todos los rasgos descritos.

1.6 Caracterización de la zona

1.6.1 Localización

El volcán Sumaco 0,54° S; 77,63° W, con una altura de 3830 msnm. se encuentra localizado al nororiente del Ecuador entre las provincias de Napo y Orellana a 105

kilómetros al Sur-Este de Quito, capital del Ecuador y a 35 kilómetros al NW de Loreto, ciudad de la provincia de Orellana. A 15 km al Norte del Sumaco se ubican los volcanes extintos Pan de Azúcar y Yanaurcu, además del volcán activo Reventador que se encuentra solamente a 50 km de distancia del Sumaco a lo largo de un eje principal NNE-SSO (Figura 1.1). El área de interés del presente estudio se enmarca en un recuadro negro (Figura 1.2).

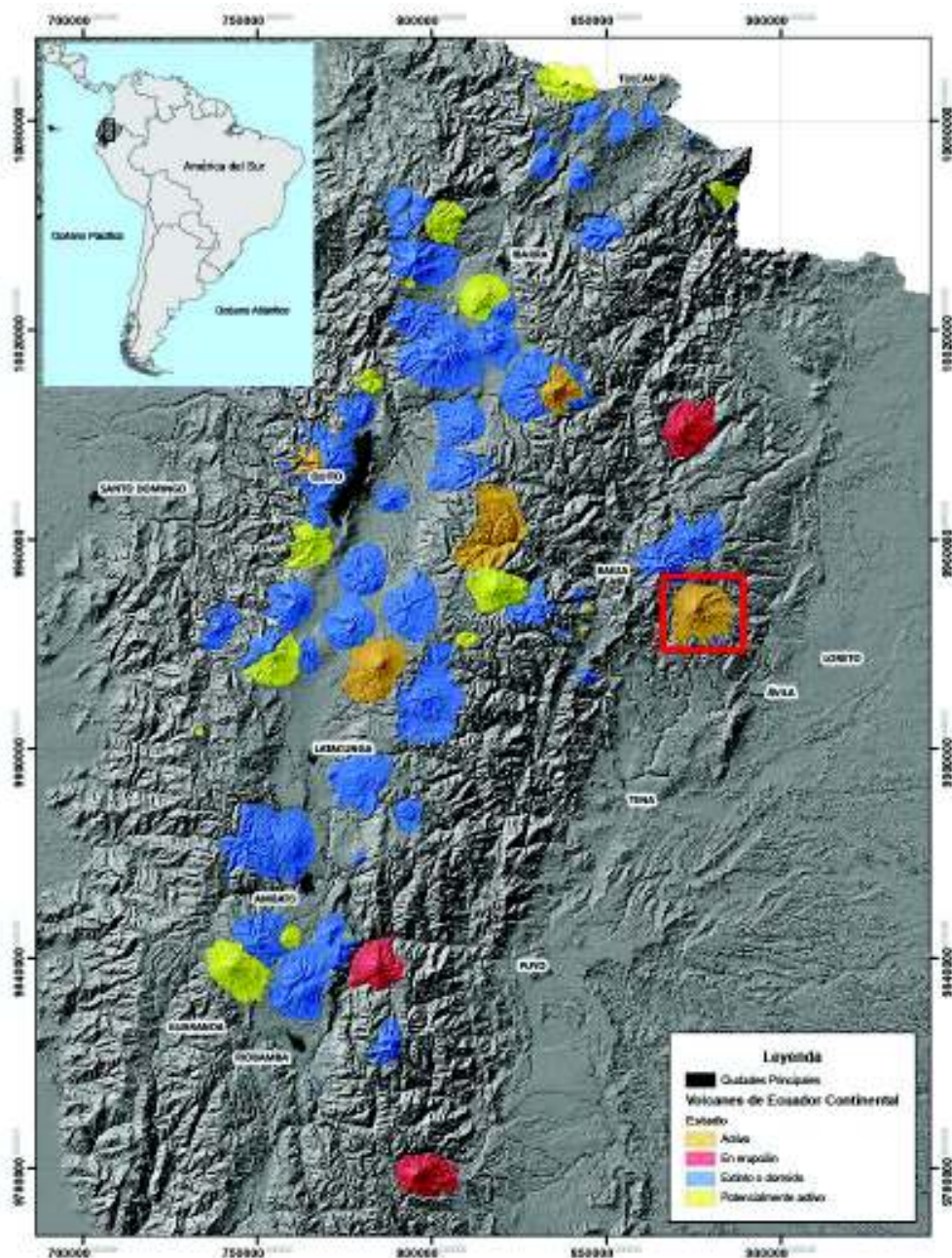


Figura 1.1 Volcanes Cuaternarios del Ecuador Continental (modificado de Bernard & Andrade, 2011), en el recuadro rojo se muestra la ubicación del volcán Sumaco.

1.6.2 Vías de acceso

Debido a la ubicación remota, el acceso hacia el volcán Sumaco únicamente se lo puede hacer caminando. El pueblo más cercano a partir del cual se puede realizar una caminata para llegar al volcán es Pacto Sumaco (1530 msnm); el ingreso se lo realiza siguiendo la vía pavimentada Jondachi-Loreto-Coca hasta la comunidad de Guagua Sumaco (1347 msnm), donde se toma el desvío hacia la población de Pacto Sumaco (1530 msnm) (Figura 1.3). La vía a Pacto Sumaco en su mayor parte es lastrada con una distancia aproximada de 7.5 km.

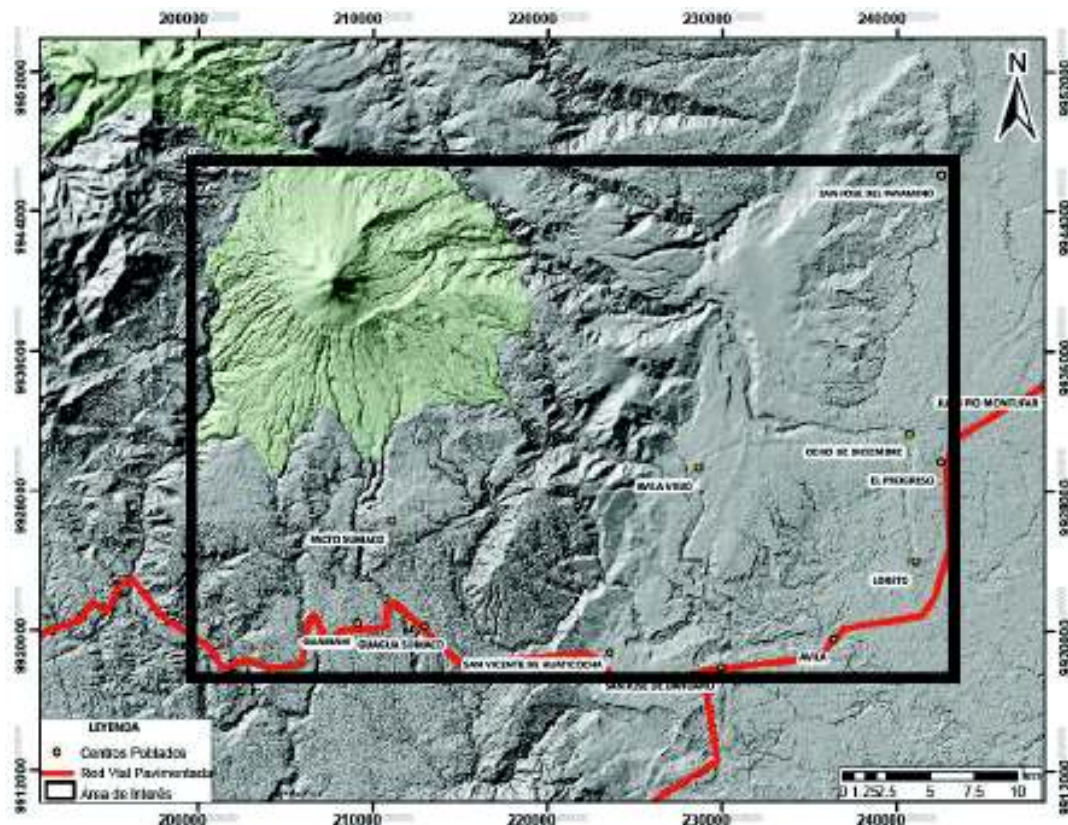


Figura 1.2 El recuadro negro indica el área de interés del presente estudio. La red vial (línea roja) es la carretera conocida como Jondachi-Loreto-Coca (E-20).

Desde Pacto Sumaco, inicia el sendero del Parque Nacional Sumaco Napo Galeras (PNSNG) que conduce hacia la cima del volcán. La travesía consiste en 3 días de ascenso y 2 de descenso, siendo indispensable una buena condición física y uno a dos guías nativos.

En la misma comunidad existen senderos que conducen a los terrenos de cultivo de naranjilla, creados con el fin de transportar los productos de cosecha. Los senderos son

empalizados y utilizan mulas para llevar el producto a Pacto Sumaco; facilitando así su posterior transporte a mercados de ciudades grandes como Ambato. Estos senderos sólo se localizan en el flanco Sur del volcán, siguiendo paralelamente al sendero PNSNG.

No existen otras vías de acceso al volcán Sumaco, pero existen dos vías lastradas que llegan hasta aproximadamente 25 kilómetros medidos en línea recta al volcán (Figura 1.3). Estas vías se encuentran en la parte sur-oriental, cerca de la ciudad de Loreto. La primera vía conduce a la comunidad de Ávila Viejo y termina en el río Chacayacu (UTM: 18N 229135 / 9927024). La segunda vía, cuyo ingreso se localiza 8 km al Norte de Loreto, conduce a la localidad de Karutambo (km 10), y finaliza en la comunidad 8 de Diciembre (UTM: 18N 231570 / 9937600).

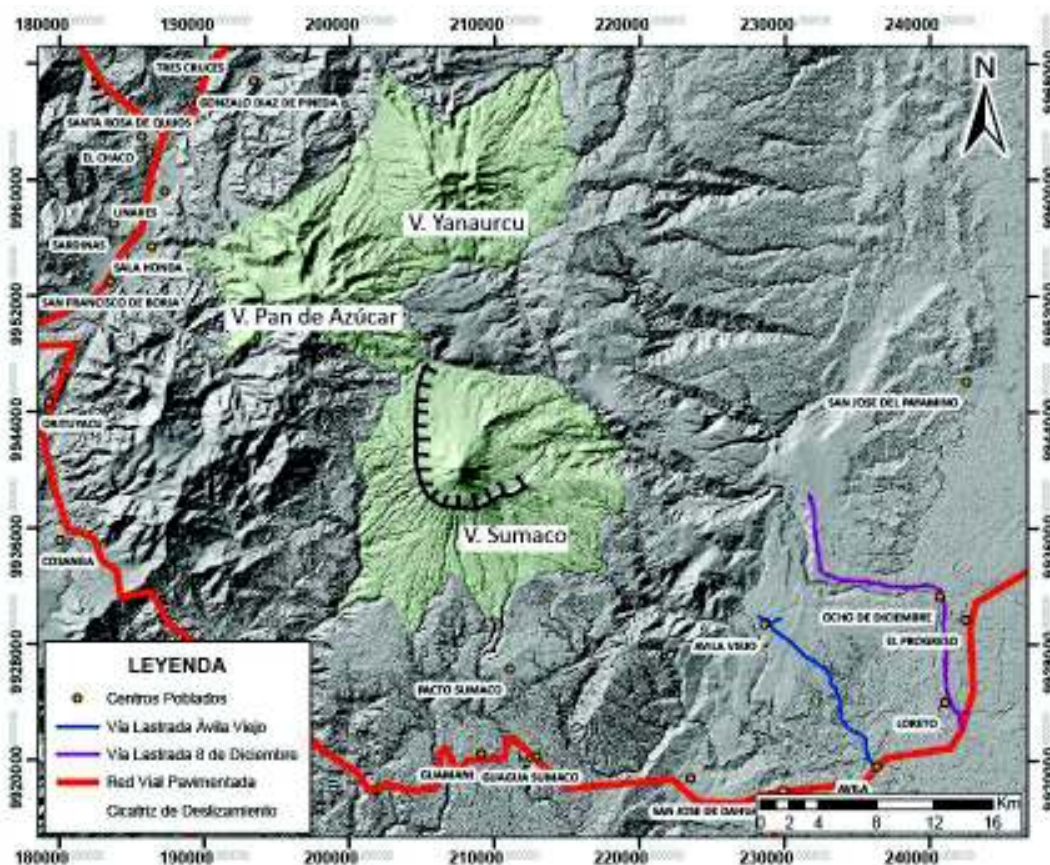


Figura 1.3 Mapa de ubicación del volcán Sumaco a nivel regional, incluyendo las poblaciones importantes y red vial (Base topográfica IGM, 2015; MDT tomado del Centro Alemán de Datos de Detección Remota (DFD), resolución 30m).

1.6.3 Morfología e Hidrografía

El volcán Sumaco comprende un área de aproximadamente 250 km² que forman parte de la zona sur del Parque Nacional Sumaco. Es un estrato volcán de forma cónica, el diámetro

de su base es de aproximadamente 20 km y tiene 2.2 km de relieve (altura medida desde su base hasta su cima). El cono actual del cráter de la cumbre tiene un diámetro de 100 m que incluye remanentes de varias pequeñas estructuras de domos de lava y conos parásitos producto de erupciones con edades desconocidas, que se encuentran levemente erosionados y al parecer son recientes (Garrison et al., 2018). En base a la morfología de su cumbre se estima a ojo que su última erupción fue en 1933 (Hantke y Parodi, 1966).

Los flujos de lava del volcán se extienden al menos 10 km al sur del volcán y se encuentran sobre rocas sedimentarias cretácicas de la formación Napo, incluyendo las areniscas petrolíferas. Los flancos del volcán, cubiertos por selva, tienen pendientes entre 12° y 14° en su parte baja y valores entre 28° y 30° en las partes altas. El volcán posee dos cicatrices de colapso de su edificio volcánico.

El volcán Sumaco forma parte de la cuenca hidrográfica del Río Napo, uno de los principales afluentes directos del Río Amazonas en su curso alto. El Río Napo posee subcuencas afluentes importantes: Río Hollín, Río Suno, Río Guamaní, Río Huataracu, Río Chacayacu, Río Pucuno y Río Pingullo, las cuales reciben aportes de agua significativos de los drenajes que nacen de parte alta del Sumaco.

En el flanco norte del volcán está el drenaje del Río Suno que fluye hacia el este. En el lado oriental está el drenaje del Río Chacayacu que posteriormente llega a unirse con el Río Huataracu. En la cara sur del volcán se encuentra el drenaje del Río Guamaní que aguas abajo se conecta con el Río Hollín; hacia el lado sur-suroriental se tiene el drenaje del Río Pucuno dirigiéndose hacia el sur-este y luego cambiando su rumbo al oriente, igual que el drenaje del Río Huataracu. Finalmente, en el flanco occidental-suroccidental se cuenta con el Río Hollín que se dirige a la parte sur del volcán, conectándose aguas abajo con el Río Misahuallí (Figura 1.4).

Todos los drenajes generados en el volcán Sumaco posteriormente pasan a formar parte del Río Napo y luego desembocan en el Amazonas, el cual desemboca en el Océano Atlántico.

1.6.4 Clima, Flora y Fauna

El clima de la Amazonía ecuatoriana es cálido húmedo, con abundantes precipitaciones durante todo el año. Esta región es muy diversa en términos de flora y fauna en el mundo. Además, posee un alto porcentaje de humedad relativa debido al influjo de masas de aire o también llamados vientos alisios que provienen de las zonas amazónicas profundas.

La variación climática oscila entre 6 – 8 °C en los páramos amazónicos (3400 - 3830 msnm), mientras que en las partes bajas (< 600 msnm) la temperatura alcanza los 24 °C. La lluvia aparece aun con la presencia del sol, incluso en el mes más seco hay mucha lluvia. (“PARQUE NACIONAL SUMACO – Ministerio del Ambiente”, s. f.)

Desde la población de Pacto Sumaco hasta la cima del Sumaco existen varios pisos altitudinales: Montano Bajo (desde el ingreso del PNSNG hasta el primer campamento El Mirador (1700 msnm)), Montano Alto (desde el primer campamento “El Mirador” hasta el segundo campamento de “La Laguna” (2500 msnm)) y Páramo de Pajonal (desde el segundo campamento hasta el tercer campamento “Pava Yacu” (2770 msnm)), lo cual permite el desarrollo de una gran variedad de especies plantas y animales en la zona.

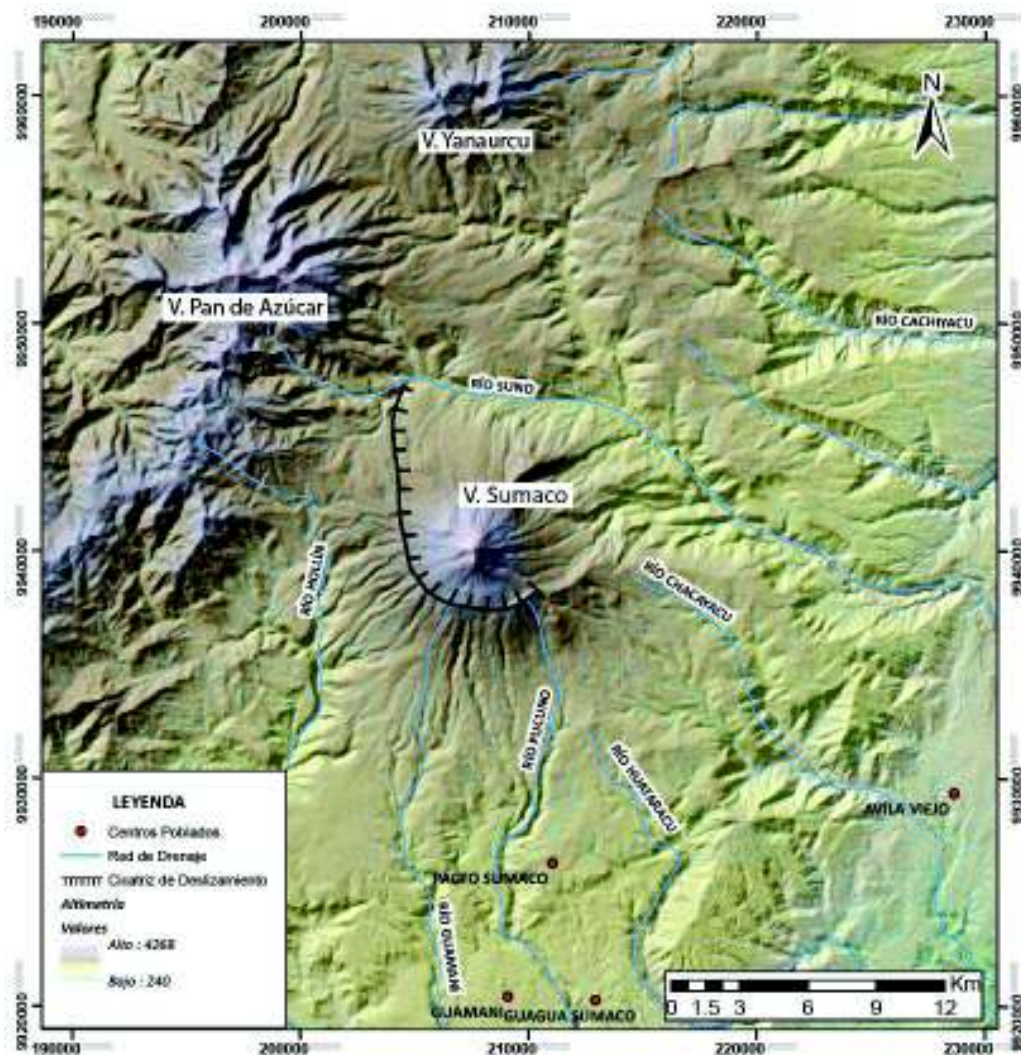


Figura 1.4 Mapa fisiográfico e hidrográfico del volcán Sumaco, incluyendo las poblaciones importantes (Base topográfica IGM, 2015; MDT tomado del Centro Alemán de Datos de Detección Remota (DFD), resolución 30m).

En las zonas bajas, como Pacto Sumaco, se desarrolla un bosque con árboles de más de 30 metros con especies representativas como el cedro, moral, laurel, guabos, arrayán, entre otras (Figura 1.5). En el sotobosque se encuentran especies como las gesnerias, la pata de gallo, cafetillos y la oreja de elefante. Además de plantas como platanillos y la ortiga gigante que son muy usadas en la medicina tradicional. (Ministerio del Ambiente del Ecuador, 2013).

Las zonas más altas se caracterizan por una vegetación de bambú que posteriormente pasa a un bosque bajo con árboles de no más de 15 metros de alto, en donde se puede observar una gran cantidad de epífitas como bromelias, incluyendo numerosas orquídeas. Es a partir de los 3300 msnm donde predomina el páramo de pajonal compuesto por sigses y helechos.



Figura 1.5 A) Una de las masas de raíces de los árboles gigantes caído debido a la intensa lluvia, localizado en el sendero de ascenso al volcán Sumaco. **B)** Árbol de cedro con una altura superior a 25 metros en el sendero PNSNG. (Fotografía: P. Mothes IG-EPN).

El área del volcán Sumaco es un sitio ideal para encontrar un sinnúmero de especies tanto mamíferos, reptiles, aves, anfibios y mariposas. La zona cuenta con grupos de monos lanudos o chorongos, chichico negro, monos araña, monos capuchinos y nutrias neotropicales. En la zona existe la posibilidad de ver jaguares, tigrillos, tapires de montaña y osos de anteojos; tucanes, loros, guacamayos, especies de quetzales, tangaras, serpientes y variedad de ranas, además de roedores como la guanta y el guatín (Ministerio del Ambiente del Ecuador, 2013).

La flora y la fauna desarrollados en la región del Sumaco se debe a sus condiciones biogeográficas, debido a la existencia de varios pisos altitudinales favorecido por los cambios de temperatura y las precipitaciones significativas.

1.6.2 Población

El crecimiento poblacional en las provincias de Napo y Orellana está relacionado con el inicio de actividades económicas en la región. La explotación de caucho inició en 1920, pero fue en la década de los 60 cuando impulsó el crecimiento poblacional y, que continuó en la década de los 70 por la exploración y explotación de petróleo.

El crecimiento de la población en los flancos meridionales del volcán Sumaco se debe a la construcción de la carretera Jondachi-Loreto-Coca a partir de 1971.

La migración ha contribuido a un crecimiento significativo de la colonización cerca al volcán. Un primer proceso migratorio ocurrió desde fines de la década del 50 hasta la década de los 70, debido a la extracción petrolera en la Amazonía y por la construcción de la carretera Quito - Lago Agrio. El segundo proceso migratorio ocurrió tras el terremoto de marzo de 1987 particularmente desde la zona del volcán Reventador; algunas personas damnificadas fueron reubicadas en la actual comunidad de Pacto Sumaco mediante una solicitud validada por el Presidente de la época, León Febres Cordero, quien previo a estudios técnicos realizados por el Banco Ecuatoriano de la Vivienda, autorizó la reubicación de esta población en los alrededores del volcán Sumaco, particularmente en su flanco sur, zona perteneciente a la provincia de Orellana (Pobladores de la comunidad "Pacto Sumaco", comunicación personal).

Pacto Sumaco está ubicada a más de 14 km al sur del volcán Sumaco (Figura 1.3), y posee alrededor de 78 familias considerando que su población inicial estaba, básicamente, conformada por los damnificados de aquel desastre. (Ministerio del Ambiente del Ecuador, 2013)

Actualmente, la población asentada cerca al Sumaco se dedica a la agricultura, especialmente al cultivo de naranjilla (Figura 1.6). Además, realizan nuevos emprendimientos como la ganadería vacuna, el cultivo de hongos ostra y plantar café. En estos últimos años, los habitantes iniciaron un proyecto eco-turístico con ayuda de la ONG GIZ-GESOREN para promocionar el ascenso al volcán (Figura 1.7) (“Al encuentro del Sumaco| La Revista de Viajes de Ecuador”, 2016).



Figura 1.6 La agricultura es la principal actividad económica de la población asentada cerca al volcán Sumaco. En la fotografía se observa cultivos de naranjilla en los alrededores de la Comunidad de “Pacto Sumaco”, Provincia de Orellana.



Figura 1.7 A) Esquema del sendero de ascenso al volcán Sumaco perteneciente al proyecto eco-turístico de la comunidad Pacto Sumaco auspiciado por la ONG GIZ-GESOREN. **B)** Cabaña turística de la Comunidad “Pacto Sumaco”, inicio de la travesía a la cumbre del volcán, Provincia de Orellana.

1.7 Estudios Relacionados

El volcán Sumaco ha sido objeto de varios estudios petrográficos debido a la particular mineralogía de sus lavas. En el aspecto geomorfológico/geológico, al contrario, su ubicación remota sumada a la densa vegetación y la falta de caminos complica el interés de científicos e investigadores para desarrollar estudios geológicos en el volcán.

Las primeras investigaciones realizadas entre los años de 1920 – 1930 se desarrollaron gracias a la exploración petrolera en el Oriente Ecuatoriano, principalmente porque el área estaba bajo concesión de la compañía neoyorquina Leonard Exploration Company.

A pesar que el aspecto petrográfico es el más estudiado del volcán, los estudios continúan siendo limitados y en la actualidad todavía no se conoce el detalle de su evolución volcano-estructural.

A continuación, se describen brevemente algunos estudios y trabajos:

Sinclair, J. H., & Wasson, T. (1923). Explorations in Eastern Ecuador.

Los autores presentan una descripción general de su travesía exploratoria que inició en Ambato y terminó en la ciudad de Riobamba, para determinar las posibilidades de una eventual producción de petróleo en el Oriente Ecuatoriano. Esta expedición a través de largos ríos y segmentos de selva virgen fue la primera en localizar y obtener la elevación del volcán Sumaco. Según los autores *El Sumaco* es la característica fisiográfica más remarcable que observaron en la planicie amazónica, con una altura de 12 700 pies.

Colony, R. J., & Sinclair, J. H. (1928). The lavas of the Volcano Sumaco, eastern Ecuador, South America.

Los autores al inicio describen algunas expediciones realizadas con el objetivo de explorar la región localizada al este de los Andes Ecuatorianos. En base a los relatos de Jiménez de la Espada y el Comandante Dyott sobre el cráter del volcán Sumaco concluyen la posible existencia de un periodo de actividad volcánica entre 1865 – 1925. Además, narran el trabajo petrográfico realizado por el Comandante Dyott, incluyendo el análisis microscópico y geoquímico, que revela la presencia de minerales feldespatoides en el magma del volcán Sumaco, principalmente la presencia de hauyna.

Hall, M. (1977). El Volcanismo en el Ecuador. Quito-Ecuador: IPGH, Sección Natural del Ecuador.

En este trabajo se presenta un resumen del volcanismo cuaternario en el Ecuador a la fecha de la publicación. El autor describe aspectos importantes del volcanismo en el Ecuador, su historia y los conocimientos de cada volcán del territorio ecuatoriano, principalmente de los volcanes "activos". Se incluye también aspectos generales de los 27 volcanes considerados como "apagados". Hall describe a cada volcán por sus principales características geomorfológicas y petrográficas, además de algunos rasgos fisiográficos. En el caso del Sumaco, el menos conocido de todos los volcanes activos, describe su historia conocida, la petrografía de sus lavas y confirma la inactividad del volcán en las últimas décadas, sin descartar una actividad en los últimos siglos al tener un cono poco afectado por la erosión.

Barragan, R., Geist, D., Hall, M., Larson, P., & Mark Kurz. (1998). Subduction controls on the compositions of lavas from the Ecuadorian Andes.

Los autores presentan los resultados del estudio de tres volcanes de los Andes Ecuatorianos: Atacazo, Antisana y Sumaco con la finalidad de definir el rol de la asimilación en la génesis del magma y poder determinar características geoquímicas representativas de cada uno. Con respecto al volcán Sumaco el estudio presenta una caracterización de sus lavas que muestran su afinidad shoshonítica diferente de otras provincias shoshoníticas de los Andes, además de su menor contenido en SiO₂ respecto a las lavas del Atacazo, relación opuesta a la esperada por los procesos de asimilación de material crustal.

Eissen, J.-P., Bourdon, E., Beate, B., Hidalgo, S., & Cotten, J. (2002). Second partial melting stage of a slab-melt metasomatized mantle at Sumaco volcano (Northern Volcanic Zone, Ecuador).

En este trabajo, los autores realizan un estudio petrográfico, geoquímico e isotópico de las lavas del volcán Sumaco. Estas lavas presentan grandes afinidades geoquímicas con los basaltos ricos en Nb que se encuentran de manera casi sistemática en asociación con las adakitas en otros arcos volcánicos del planeta. La principal característica de estas lavas es su alta concentración en Nb, por lo cual, los autores sugieren que se producen en un manto metasomatizado por magmas adakíticos resultado de una segunda etapa de fusión parcial más profunda a una tasa de fusión mucho más baja.

El estudio también comprende una descripción morfológica del volcán, siendo evidente la existencia de al menos un evento de avalancha que colapsó el flanco noreste del edificio volcánico. Los autores presentan un modelo petrogenético esquemático en tres pasos, en donde indican que los magmas del frente de arco (ej. volcán Pichincha) están alimentados principalmente por magmas adakíticos resultantes de la fusión parcial directa del slab, pero los fundidos adakíticos también están metasomatizando la cuña del manto. Por lo tanto, debajo de la Cordillera Oriental (ej. volcán Antisana), los fundidos son principalmente pseudo-adakitas producidas por la fusión parcial de estas peridotitas metasomatizadas. Y finalmente, en el trasarco, (ej. volcán Sumaco), los fundidos dan como resultado una segunda etapa de fusión parcial más profunda a una tasa de fusión mucho más baja. (Figura 1.8).

Bourdon, E., Eissen, J.-P., Gutscher, M.-A., Monzier, M., Hall, M. L., & Cotten, J. (2003). Magmatic response to early aseismic ridge subduction: the Ecuadorian margin case.

Los autores presentan un modelo petrogenético esquemático de la NVZ a partir de un corte petrológico de oeste a este a través de los volcanes Pichincha, Antisana y Sumaco. La caracterización a lo largo de este corte permitió a los autores sugerir un cambio progresivo del magmatismo comenzando con un magmatismo calco-alcalino (Pichincha), pasando por una fase intermedia entre rocas adakitas y rocas calco-alcalinas clásicas (Antisana) y en la parte más oriental con rocas absarokitas y shoshonitas fuertemente subsaturadas en sílice y enriquecidas en elementos incompatibles (Sumaco). La reciente entrada en subducción de la cordillera de Carnegie (menos de 1.5 Ma) permite a los autores sugerir una transición entre una subducción normal, con pendiente fuerte, a una subducción subhorizontal.

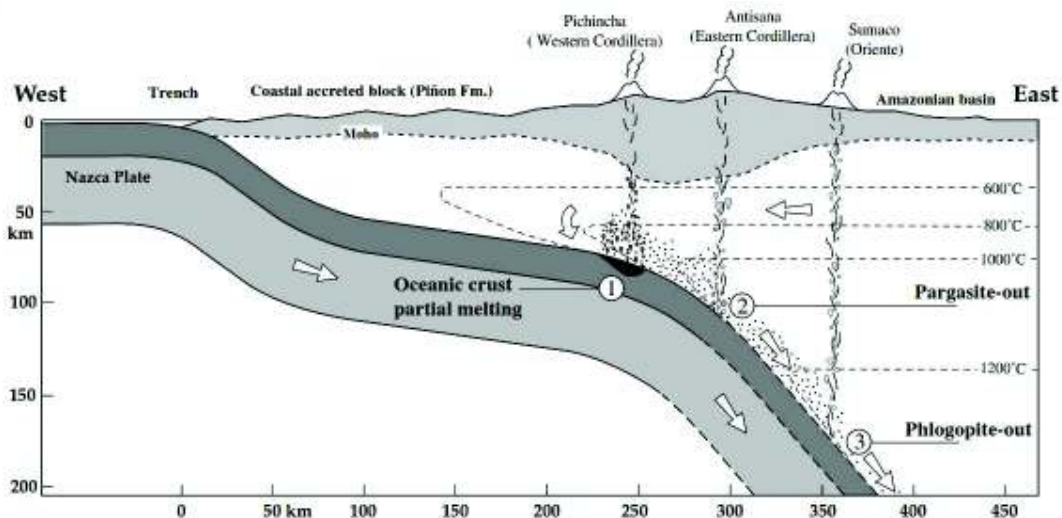


Figura 1.8 Modelo esquemático petrogenético de la NVZ en Ecuador, según Bourdon et al., 2003.

Respecto a la caracterización de las lavas del Sumaco, estas poseen características isotópicas similares con las lavas del Pichincha lo que sugiere un origen común y ninguna participación de la corteza continental. Los autores sugieren que pueden ser producidas por la desestabilización de la flogopita en el manto.

Hoffer, G., Eissen, J.-P., Beate, B., Bourdon, E., Fornari, M., & Cotten, J. (2008). Geochemical and petrological constraints on rear-arc magma genesis processes in Ecuador: The Puyo cones and Mera lavas volcanic formations.

Los autores presentan el estudio de dos formaciones volcánicas localizadas aproximadamente a 100 km al sur del volcán Sumaco, lo que permite extender la provincia volcánica del tras arco ecuatoriano hacia el sur del país. El flujo de lava El Mera y los conos de escoria El Puyo son formaciones con características singulares de trasarco por su contenido de 42 % wt SiO₂, se clasifican dentro del campo de absarokitas ultrapotásicas y presentan características químicas asociadas a esta provincia volcánica.

En el estudio, estas formaciones volcánicas son comparadas con otras lavas pertenecientes al tras arco ecuatoriano como son las lavas del Sumaco con el objetivo de cuantificar las condiciones de génesis de estos magmas y proponer modelos del magmatismo ecuatoriano.

Garrison, J. M., Sims, K. W. W., Yogodzinski, G. M., Escobar, R. D., Scott, S., Mothes, P., Ramon, P. (2018). Shallow-level differentiation of phonolitic lavas from Sumaco Volcano, Ecuador.

Este trabajo representa el estudio petrográfico más reciente del volcán Sumaco. Los autores se enfocan en el estudio mineralógico y geoquímico de las lavas del Sumaco con el objetivo de desarrollar un modelo petrogenético de estas rocas volcánicas.

El modelo petrogenético presentado en este trabajo muestra esquemáticamente la configuración de la zona de subducción y la profundidad relativa donde los minerales tienden a ser estables.

Considerando las características de la zona de subducción y la geoquímica de la serie fonolítica los autores sugieren un modelo combinado de fusión por descompresión e hydrous flux melting para el volcán Sumaco. Además, proponen tres ensamblajes mineralógicos alcalinos que comprenden al menos dos regímenes presión/temperatura.

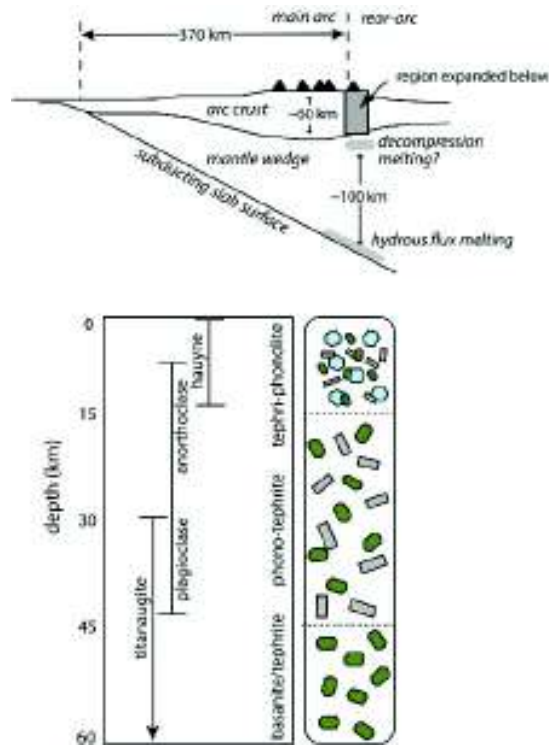


Figura 1.9 Modelo petrogenético que muestra la configuración esquemática de la zona de subducción y la profundidad relativa de las estabilidades minerales, según Garrison et al., (2018).

El presente trabajo se desarrolla en los siguientes cinco (5) capítulos. En el segundo capítulo se realiza un resumen del marco geodinámico actual del Ecuador y del volcanismo cuaternario, colocando un mayor énfasis en la geología y tectónica del basamento de la zona de estudio.

En el capítulo 3 se realiza la descripción detallada de cada depósito volcánico del Sumaco y la descripción morfológica de su edificio volcánico. El cuarto capítulo abarca la caracterización petrográfica y geoquímica de los productos volcánicos del Sumaco, herramientas que brindan parámetros necesarios para describir y clasificar correctamente a una roca, facilitando así la correlación entre los depósitos estudiados. Finalmente, en el capítulo 5 se realiza un resumen de los resultados obtenidos, para lo cual se hace referencia al nuevo conocimiento geológico que ya fue presentado en los capítulos anteriores.

En el capítulo 6 se encuentran las conclusiones del presente trabajo, así como también se detallan varias recomendaciones de actividades que permitirán mejorar este estudio.

En el último capítulo se publica la lista en orden alfabético de todas las referencias bibliográficas utilizadas en este trabajo.

CAPÍTULO II

2 MARCO TEÓRICO

2.1 Marco Geodinámico Actual del Ecuador

El contexto geodinámico actual de los Andes ecuatorianos, se encuentra dominado por un margen convergente activo, caracterizado por la subducción desde el Mioceno Temprano de la placa oceánica Nazca bajo la placa continental Sudamericana (Pennington, 1981; Ego et al., 1996; White et al., 2003; Lonsdale, 2005; Yepes et al., 2016). La subducción de la placa Nazca ocurre a una velocidad promedio de 56 mm/año en latitudes ecuatoriales (Nocquet et al., 2009; Trenkamp et al., 2002) con una dirección de convergencia de N 83° E (Nocquet et al., 2014; 2009; Knedrick et al., 2003) y una inclinación que varía entre 20° y 35°, la cual se aplana gradualmente conforme avanza hacia Perú (Font et al., 2013; Guillier et al., 2001; Gutscher et al., 1999; Pennington, 1981; Yepes et al., 2016) (Figura 2.1).

La subducción de la Placa Nazca bajo el continente sudamericano se complica por la penetración tanto de la cordillera asísmica de Carnegie (~200 km de ancho, 2000 m de altura) y de la fractura de Grijalva, relacionada con el contraste de densidad entre la corteza de Nazca, más joven al Norte y la corteza de Farallón, más antigua y más fría y densa al Sur (Figura 2.1) (Yepes et al., 2016). La cordillera de Carnegie se genera debido a la actividad del punto caliente Galápagos y la placa Nazca, la cual entra en subducción entre las latitudes 1 °N y 2 °S con una dirección NNE (Gutscher et al., 1999; Witt et al., 2006). La fractura de Grijalva es la evidencia resultante de la ruptura de la litósfera de Farallón, debido a que marca el límite entre <3000 m de profundidad de la corteza oceánica Neógena asociada con el centro de expansión de Cocos y el punto caliente de Galápagos, y la corteza oceánica más antigua del Oligoceno en el sur, con una profundidad >3000 m (Lonsdale, 2005).

Al Sur, se tiene la penetración de dos cordilleras topográficas, de 2 km de altura, generadas por erupciones fisurales, llamadas Cordillera de Alvarado y Cordillera de Sarmiento (Figura 2.1). Estas dos cordilleras no muestran un contraste de densidad, por lo cual no poseen características de rifting (Lonsdale, 2005; Gutscher et al., 1999; Michaud et al., 2009).

Varias edades han sido propuestas para la llegada a la zona de subducción tanto de la cordillera asísmica de Carnegie, como de la fractura de Grijalva (Gutscher et al., 1999; Lonsdale, 2005; Collot et al., 2009; Spikings et al., 2001). Sin embargo, Yepes et al., (2016)

establece que han estado ingresando a la zona de subducción desde hace al menos 3 – 6 Ma y probablemente han penetrado hasta 300 – 500 km por debajo del continente. Lo que implica que las dos placas de diferente densidad están en contacto debajo de los Andes ecuatorianos provocando el levantamiento de la superficie costera y teniendo un importante rol para el desarrollo y evolución del arco volcánico cuaternario (Hidalgo et al., 2012; Michaud et al., 2009; Hall et al., 2008; Samaniego et al., 2005; Bourdon et al., 2003; Gutscher et al., 1999).

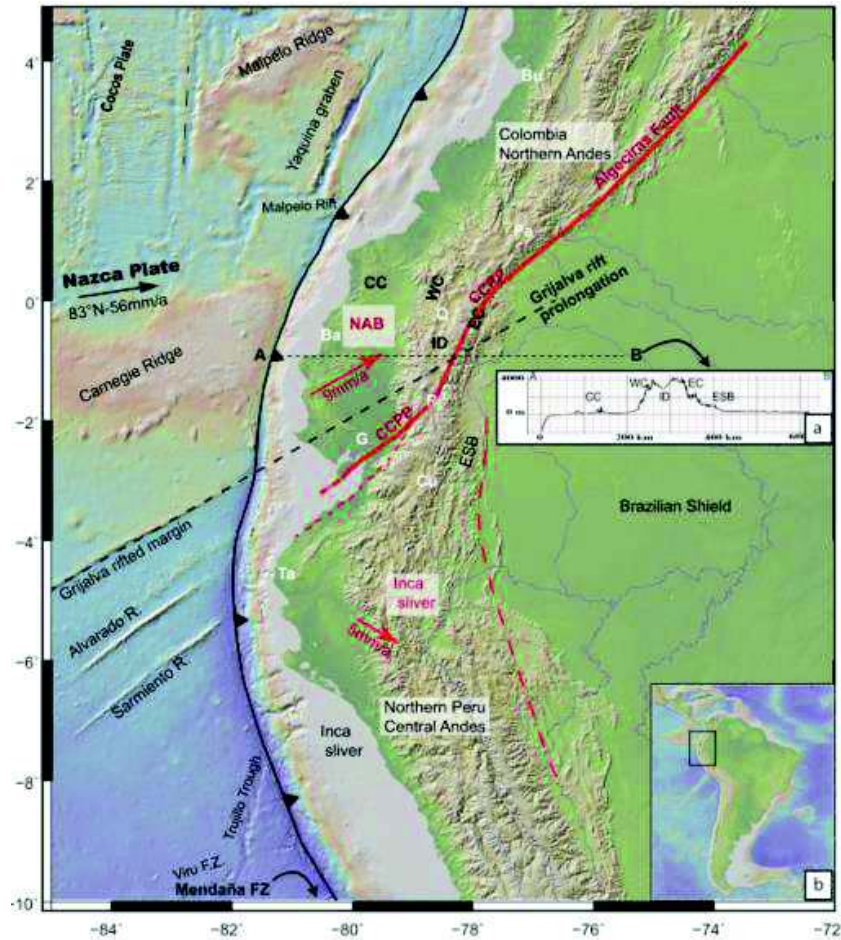


Figura 2.1 Esquema geodinámico del Ecuador (Tomado de Yepes et al., 2016). NAB = Bloque Norandino; CCPP= Sistema de fallas Cosanga-Chingual-Pallatanga-Puná.

El desplazamiento del Bloque Nor-Andino (BNA) es otra evidencia de la llegada a la zona de subducción de la cordillera de Carnegie y la fractura de Grijalva; este bloque se encuentra formado por la cordillera de la Costa, la planicie antearco y la cordillera andina (Collot et al., 2009), desplazándose a una velocidad de ~ 8 a 10 mm/año hacia el NNE (Alvarado et al., 2016; Nocquet et al., 2014), a lo largo de una serie de fallas

transpresionales Puná-Pallatanga-Cosanga-Chingual (CCPP), con rumbo variable entre N-S a NE - SO (Alvarado et al., 2016; Yepes et al., 2016).

2.2 Volcanismo Cuaternario del Ecuador

La cordillera de los Andes Ecuatorianos se encuentra formando parte del “Northern Volcanic Zone” (NVZ), definida entre los 1 °N (Complejo volcánico Chile-Cerro Negro, al norte) y 2 °S (Volcán Sangay, al sur) (Harmon et al., 1984). Es un segmento de 650 km de largo y 150 km de ancho, con una dirección predominante NNE, conformado por dos cordilleras montañosas paralelas: Cordillera Occidental y Cordillera Oriental o Real, las cuales están separadas por una depresión estructural conocida como Depresión Interandina (Hall et al., 2008). Las dos cordilleras tienen elevaciones promedio de 3500 – 4000 m sobre el nivel del mar, mientras que el Valle Interandino tiene una elevación promedio entre 2000 – 3000 m.

La actividad volcánica cuaternaria en los Andes Ecuatorianos ha ocurrido desde el Pleistoceno Tardío hasta el presente (Hall, 1977; Hall & Beate, 1991; Hall, 2008), a lo largo de los 84 centros volcánicos contabilizados entre extintos, potencialmente activos y en erupción (Bernard & Andrade, 2011) (Figura 1.1). Los centros volcánicos se encuentran agrupados según sus características fisiográficas en: Cordillera Occidental, Valle Interandino, Cordillera Real y Tras-arco (Hall et al., 2008).

La subducción de la cordillera asísmica de Carnegie no ha paralizado el volcanismo en el Ecuador, manifestándose en cada uno de los cuatro grupos volcánicos, que cuentan con características morfológicas distintas, estilos eruptivos diferentes y una diversidad petrográfica y química (Hall et al., 2008).

2.2.1 Cordillera Occidental

Los volcanes de la cordillera Occidental, conocidos también como “Frente Volcánico”, se desarrollan sobre el basamento de la Cordillera Occidental, y se encuentran separados sistemáticamente, uno de otro, por una distancia de entre 30 - 35 km, especialmente en su sección central (Hall & Beate, 1991; Hall et al., 2008). Morfológicamente la mayoría de los centros del Frente Volcánico son conos compuestos y ellos comúnmente tienen calderas de 2 a 3 km de ancho, a menudo abiertas al oeste (Hall et al., 2008).

El centro eruptivo más alto del Frente Volcánico y de los Andes Septentrionales, es el Chimborazo, cuya cumbre máxima alcanza los 6267 msnm (Hall, 1977; Hall & Beate, 1991). La actividad reciente de este grupo, se representa en las erupciones de los volcanes

Quilotoa (800 a AP), Guagua Pichincha (1999, 1660 a AD), Pululahua (2300 a AP), Ninahuilca (2270 a AP) y Cuicocha (3000 a AP).

2.2.2 Cordillera Real

Los centros volcánicos de la Cordillera Real, se encuentran sobre el basamento de rocas metamórficas del Paleozoico y Mesozoico (Aspden y Litherland, 1992) y rocas volcánicas del Terciario Tardío (Hall et al., 2008).

Son estratovolcanes de composición principalmente andesítica, que se distribuyen al azar a lo largo de esta cordillera. Alcanzan los 5700 – 5900 m de altura, tienen un diámetro de su base de 15 – 20 km, y un relieve topográfico local de hasta 3 km. Muchos de estos centros han sufrido colapsos del edificio volcánico, generalmente de 2 a 10 km³ de volumen (Ejemplo: Tungurahua, Cotopaxi, Sangay, El Reventador) (Hall et al., 2008).

Los volcanes de la Cordillera Real han presentado una mayor actividad durante el Holoceno, respecto a los volcanes de la Cordillera Occidental, siendo característico caídas de ceniza y lapilli, que han sido llevadas sobre el Valle Interandino por los vientos dominantes desde el E y ESE (Hall et al., 2008).

2.2.3 Valle Interandino

La mayoría de los volcanes pertenecientes al Valle Interandino, se consideran extintos, con inversión topográfica y con rasgos de cicatrices de avalanchas de escombros. Son centros volcánicos andesíticos antiguos, los cuales se sitúan a lo largo del eje del valle. Estos estratovolcanes alcanzan una altura de 3800 - 4700 m, con un diámetro basal de 10 - 20 km. Cerca de Quito, existen tres centros: Ilaló, Paschoa y Rumiñahui, que definen una línea de edificaciones volcánicas del Pleistoceno Medio (Hall et al., 2008).

2.2.4 Volcanismo de Tras-Arco

El volcán Sumaco, pertenece a este grupo de volcanes, localizados en el lado amazónico de la cordillera Real, al este del volcán Antisana. Generalmente, se caracterizan por ser estratovolcanes pequeños, con una altura de 2000 – 4000 m. Las erupciones de estos centros volcánicos son desconocidas, la forma cónica del volcán Sumaco, aparentemente da indicios de una actividad holocénica (Hall et al., 2008).

Los volcanes de Tras-arco poseen características geoquímicas alcalinas, distintas a las mostradas por los volcanes pertenecientes al Frente Volcánico (Atacazo, Pichincha,

Chimborazo), Valle Interandino y Cordillera Real (Cayambe, Sangay, Tungurahua, Antisana) (Bourdon et al., 2003; Hidalgo et al., 2012).

Cerca de Puyo, al este del volcán Tungurahua, se encuentran restos de conos de escoria, de afinidad alcalina, pertenecientes al Pleistoceno Medio, que identifican otra provincia alcalina al sur (Hoffer et al., 2008).

Los edificios más relevantes pertenecientes a este grupo son: Sumaco, Pan de Azúcar, Yanaurcu y los Conos del Puyo (Hall & Beate, 1991; Hall et al., 2008)

2.3 Marco Tectónico y Geológico Local

Esta sección trata dos aspectos importantes en la formación y desarrollo del volcanismo durante el tiempo geológico. El primer aspecto se refiere al tectonismo y el segundo al basamento del volcán.

2.3.1 Fallas y lineamientos principales

La cuenca oriente es una cuenca de trasarco de los Andes Ecuatorianos, se encuentra formada como resultado de dos etapas de estructuración previas a los esfuerzos transpresivos presentes a partir del Cretácico Tardío, los cuales provocaron la emersión de la cordillera Real y la estructuración de la cuenca de tras-arco propiamente dicha. La primera etapa ocurrió en el Triásico – Jurásico Inferior con la inversión tectónica de antiguas fallas normales afectadas por un régimen compresivo que inició en el Turoniano (Rivadeneira y Baby, 1999).

Según Rivadeneira y Baby (1999), existen tres dominios estructurales controlados por fallas, actualmente inversas y de fuerte buzamiento, orientadas en dirección N-S o NNE-SSW. Los dominios tectónicos, de occidente a oriente, son: Sistema Subandino, el Corredor Sacha-Shushufindi y el Sistema Invertido Capirón Tiputini.

El volcán Sumaco se encuentra localizado en la zona Subandina, precisamente en el lado occidental del Levantamiento Napo o –frente subandino-, una de las tres principales morfologías del oriente ecuatoriano. Este levantamiento consiste en un inmenso levantamiento con forma de un domo alargado, de orientación NNE-SSO, limitado al este y al oeste por fallas de rumbo (Díaz et al., 2003).

En el tras-arco ecuatoriano la primera estructura profunda está relacionada con la Zona de Fractura de Grijalva (GFZ), la cual separa a la antigua placa Farallón de la actual placa

Nazca (Yepes et al., 2016). Esta estructura se localiza al norte de los depósitos volcánicos de Puyo – Mera (Figura 2.1).

La principal característica tectónica en los alrededores de la zona de estudio es la presencia del Sistema de Fallas Cutucú-Napo, localizado al oriente y sur-oriente del volcán Sumaco.

El Sistema de fallas Napo-Cutucú es un segmento activo que involucra tectónica de piel fina, afectando la red de drenaje del cuaternario desde la región de Napo, ubicada al Norte, hasta las regiones de Puyo y Pastaza, ubicadas al Sur (Alvarado et al., 2016).

La deformación de la región subandina probablemente esté relacionada con la presencia de una rampa de empuje (thrust ramp), a escala local, que subyace en la Zona Subandina y emerge localmente frente al sistema de fallas Cutucú-Napo (Bès de Berc, 2003; Legrand et al., 2005; Alvarado et al., 2016). Los esfuerzos orientales caracterizan aquí la propagación hacia el este de un prisma de acreción continental, como se observa hacia el sur, en los Andes peruanos (Gil et al., 2001; Alvarado et al., 2016).

A pesar de que varios depósitos volcánicos, y la densa vegetación de la zona, han cubierto ciertos rasgos morfológicos asociados al fallamiento, existen varias fallas localizadas en los alrededores del volcán Sumaco (Figura 2.2).

A continuación, se menciona algunas de las fallas principales:

- **Falla Payamino**

La falla Payamino se ubica al nor-este del volcán Sumaco. Es una estructura que forma el borde de empuje oriental de la elevación de Napo. La falla afecta al sedimento fluvial cuaternario. Tiene una longitud de ~ 50 km y un rumbo aproximado de $N10^{\circ}E \pm 16^{\circ}$, con buzamiento y ángulo desconocido. La falla forma escarpes irregulares a lo largo de su traza sinuosa. El movimiento probablemente corresponde a una falla inversa y se desplaza aproximadamente < 1 mm/año. Esta falla presentaría actividad durante el Cuaternario (Egüez, 2003).

- **Falla Sumaco**

Esta falla forma el borde oriental del Levantamiento Napo y deforma el flanco Suroccidental del volcán Sumaco. La falla tiene una longitud de ~39 km y un rumbo aproximado $N 13^{\circ} E \pm 7^{\circ}$, con buzamiento hacia el oeste. El movimiento probable es de tipo inversa con componente transcurrente dextral. La falla forma escarpes y se encuentra controlando los drenajes alrededor del flanco occidental del Sumaco, que se encuentran prácticamente

ocultos o inferidos en el mapa. La falla se desplaza aproximadamente < 1 mm/año y presentó actividad durante el Cuaternario (Egüez, 2003).

- **Falla Hollín**

Esta estructura define un lineamiento a lo largo del flanco del volcán Sumaco y deforma rocas sedimentarias mesozoicas y rocas volcánicas cuaternarias. Presenta una longitud de ~ 32 km con un rumbo aproximado de $N61^{\circ}E \pm 4^{\circ}$. Se desconoce el buzamiento de la falla. El sentido del movimiento de la falla también es desconocido. El lineamiento formado por la falla se encuentra principalmente oculto o inferido en el mapa. La falla se desplaza aproximadamente < 1 mm/año y presentó actividad durante el Cuaternario (< 1.6 Ma) (Egüez, 2003).

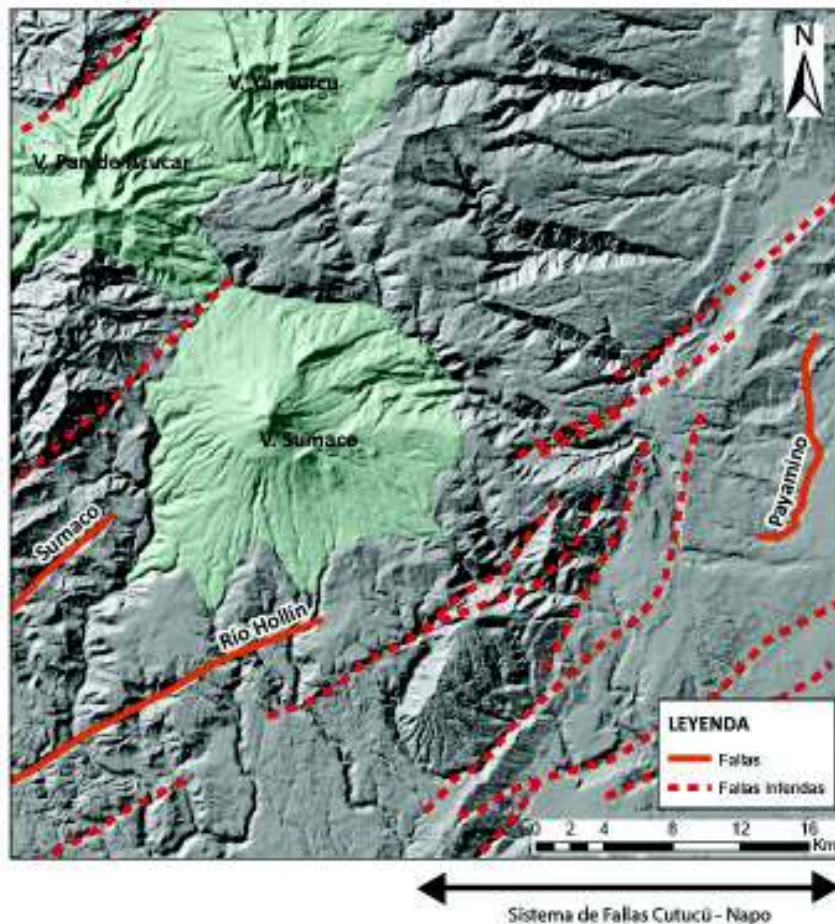


Figura 2.2 Fallas principales e inferidas, ubicadas en los alrededores del volcán Sumaco (Egüez et al., 2003; Alvarado et al., 2012)

Con la utilización del DEM de precisión de 12 m, se ha inferido diversas fallas y lineamientos con dirección predominante NE – SW (Figura 2.2), que generalmente

coinciden con las direcciones prominentes de drenaje, o simplemente provocan cambios abruptos de dirección de los ríos. Los depósitos volcánicos recientes, y la vegetación, se han encargado de ocultar los principales rasgos morfológicos. A pesar de ello, es posible trazar una línea de tendencia por donde iría el trazo de las fallas. El movimiento aparente de estas estructuras es transcurrente con un componente inverso relacionada con el Sistema de Fallas Cutucú – Napo; el campo de esfuerzos predominante en la actualidad.

2.3.2 El basamento geológico en el volcán Sumaco

El volcán Sumaco ubicado en la parte occidental del Levantamiento Napo se levanta sobre un basamento de composición probablemente transicional entre granulitas precámbricas del escudo Guayano - Brasileño y rocas metamórficas Paleozoicas (basamento Precámbrico - Paleozoico). Directamente sobre el basamento pre-Cámbrico descansa una sucesión de sedimentos clásticos continentales (basamento Jurásico). Y a su vez, se desarrolla la sección Cretácica de la Cuenca Oriente (basamento Cretácico).

Las unidades mostradas en la Figura 2.3 y Figura 2.4 afloran cerca al volcán Sumaco. A continuación, se describirá cada una de estas unidades desde la más antigua a la más reciente.

2.3.2.1 Basamento Precámbrico – Paleozoico

El análisis sísmo-estratigráfico realizado en el trabajo de Díaz et al., (2003), establece únicamente dos facies sísmicas en el dominio del Sistema Subandino. La primera facies sísmica corresponde al basamento pre-Cámbrico, asociado al escudo Guayanés, que se encuentra constituido por dos tipos de rocas: rocas ígneas de tipo granito y rocas metamórficas. Además, los autores encontraron lutitas y calizas oscuras, que por su grado de evolución térmica, corresponderían al Paleozoico, relacionadas con la Formación Pumbuiza y Formación Macuma.

✓ Formación Pumbuiza:

Se encuentra compuesta principalmente por pizarras grises a negras y areniscas cuarcíticas de ambiente marino de plataforma. Estas rocas han sufrido fuertes plegamientos y fallamientos, y un cierto grado de metamorfismo (Goldschmid, 1941; Christophoul et al., 1998). Se encuentra sobreyacida por la Formación Macuma, el contacto es una discordancia angular, que implica un relieve de erosión, probablemente asociado al evento tectónico Eo-hercynico (Díaz et al., 2003), que es un evento geológico orogénico

que se produjo al final del Paleozoico. La edad asignada a esta formación es Silúrico Tardío a Devónico Temprano (Dashwood y Abbotts, 1990).

✓ Formación Macuma:

Corresponde a potentes estratos de calizas bioclásticas y dolomitas, con intercalaciones de lutitas negras y areniscas finas a veces glauconíticas (Dozy, 1940, 1941; Christophoul et al., 1988). Probablemente representa la deposición sedimentaria en ciclos regresivos y transgresivos en ambiente marino proximal a plataforma en condiciones relativamente estables (Díaz et al., 2014). Al final de este ciclo se desarrolla un hiato erosivo, que podría estar asociado a periodos de compresión zonificada, en la Margen Occidental de Gondwana al inicio del Triásico (Spikings et al., 2015). Correlaciones paleontológicas sugieren una edad del Carbonífero Superior al Pérmico (Goldschmid, 1941).

2.3.2.2 Basamento Jurásico

La segunda facies sísmica, identificada por Díaz et al., (2003) en su análisis sismo-estratigráfico, corresponde a la Formación Misahuallí, que ha sido descrita en afloramientos ubicados a lo largo del Sistema Subandino y en rípios de perforación (campos Bermejo y Pungarayacu).

✓ Formación Misahuallí:

Comprende acumulaciones volcánicas, flujos piroclásticos, flujos de escombros, coladas de lava, basaltos y andesitas que forman parte del potente arco magmático que corre desde el norte de Perú hasta el norte de Colombia (Romeuf et al., 1997). Es el equivalente lateral de los miembros inferior y medio de la Fm. Chapiza (Jaillard, 1997). Se asume que esta formación se encuentra descansando sobre el basamento Precámbrico (Díaz et al., 2003), y que está asociada con la actividad tectónica Jurásica como parte efusiva de la intrusión de los batolitos de Abitagua, Azafrán y Rosa Florida por Jaillard et al, (1997), quienes le asignan una edad de 165 Ma. Investigaciones recientes han reportado edades en un intervalo de 210 a 135 Ma (Drobe, 2013; Leary et al., 2016; Stewart et al., 2016).

El fin del ciclo coincide con una inconformidad erosiva regional entre rocas volcánicas, volcano-sedimentarias anteriores a secuencias sedimentarias cretácicas. Esta inconformidad representa un periodo intensivo de levantamiento y erosión, el cuál eliminó la mayor parte de los graben y semi-grabens mesozoicos (Baby et al, 2013).

El volcanismo calco-alcalino Misahuallí evidencia un cambio en el marco geodinámico, que corresponde al arranque de la subducción andina (Díaz et al., 2003). Las rocas ígneas del

Jurásico Medio y Cretácico Inferior, se formaron por encima de una única zona de subducción con inmersión hacia el noreste, que se retiraba hacia la margen costera, posteriormente el slab fue afectado por procesos de roll back que generaron un ambiente compresivo en la margen noroccidental de Sudamérica, descrito como el Evento Peltetec (Spikings et al., 2014).

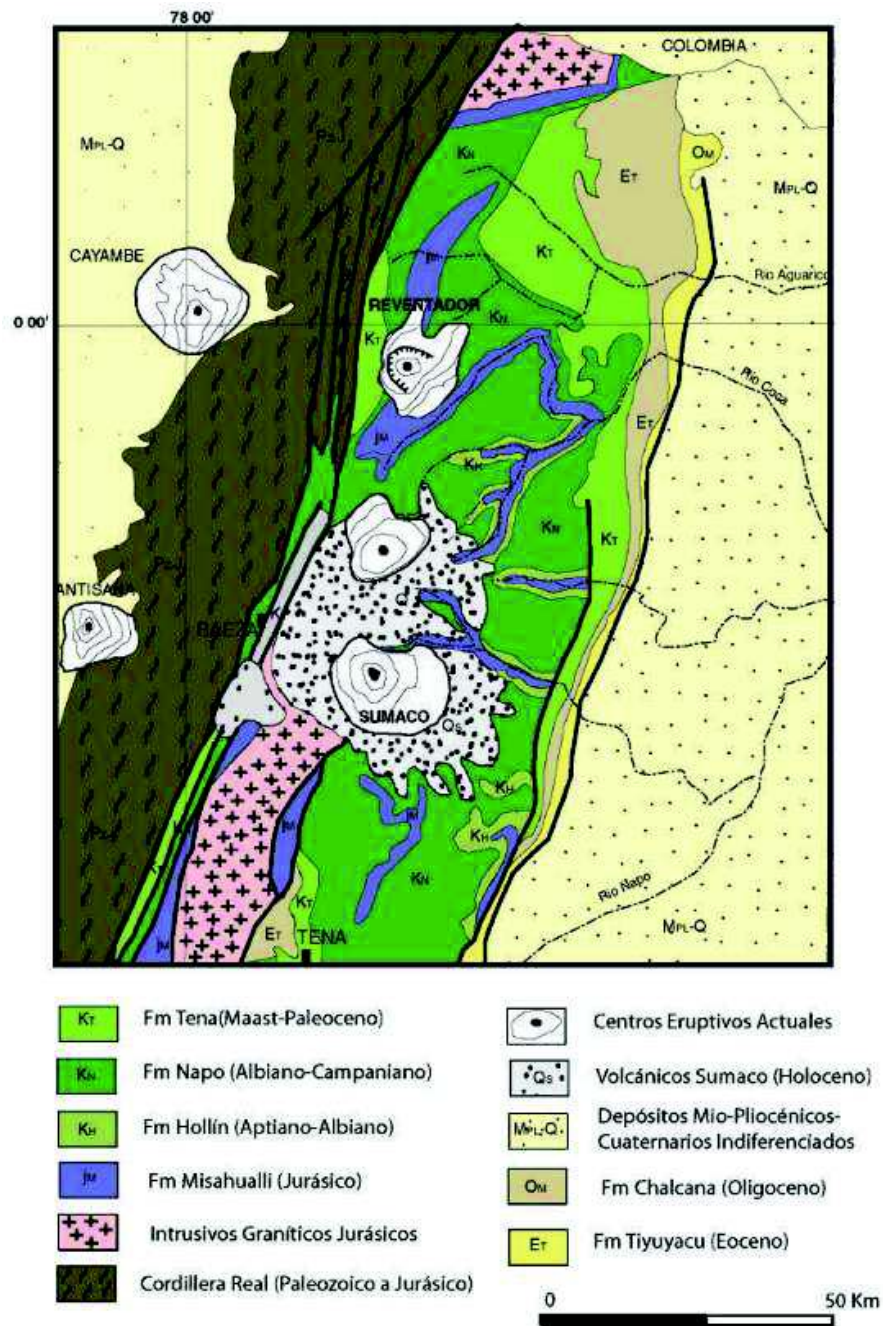


Figura 2.3 Basamento del Volcán Sumaco, provincias de Napo y Orellana. Mapa geológico tomado de Barragán et al., 2014.

2.3.2.3 Basamento Cretácico

La sección cretácica de la Cuenca Oriente, está constituida por las Formaciones Hollín, Napo y Tena Basal, cuyos miembros clásticos documentan las variaciones paleogeográficas, variaciones laterales de facies y fluctuaciones de línea de costa de hasta 200 km dentro de la plataforma marina somera Oriente.

La mega secuencia cretácica se desarrolla en inconformidad sobre el basamento constituido por volcanosedimentos correlacionables con la Formación Chapiza y Formación Misahuallí (Cóndor, 2018).

✓ Formación Hollín:

La deposición de esta Formación, tuvo lugar después de un periodo de erosión de la serie Jurásica y Paleozoica de la Cuenca Oriente. Según Ye, et al., (2014) la Formación Hollín fue depositada conforme la cuenca de ante arco empezaba a desarrollarse.

La parte basal de la Formación Hollín se caracteriza como depósitos fluviales de relleno de valles sobre la superficie erosiva pre-Hollín (Barragán et al., 2014). En el Aptiano, durante un periodo regresivo, grandes espesores de areniscas cuarzosas limpias fueron depositadas en un ambiente fluvial, dominado por ríos trezados de baja sinuosidad (White, et al. 1995; Shanmugam et al., 2000). Las areniscas cuarzosas de Hollín afloran extensamente en la Zona Subandina y se encuentran expuestas en varias partes del Levantamiento Napo (Baldock, 1982).

La transición de ambientes fluviales a entornos marinos someros, tuvo lugar a inicios del Albiano, en el sur de Ecuador y Perú, como resultado de una transgresión marina, en la cual se depositaron intercalaciones de areniscas, lutitas, limolitas calcáreas y niveles de carbones en un ambiente marino somero (White et al., 1995; Robert et al., 2002; Jaillard et al., 2005; Baby et al., 2014; Mariño, 2016).

La Formación Hollín Superior se caracteriza por evidenciar los efectos de la transgresión marina (Barragán et al., 2014), y gradada verticalmente a sedimentos costeros con cuerpos arenosos influenciados por mareas, tormentas y ambientes de plataforma (White et al., 1995). Hacia el tope de Hollín Superior existe una transición de facies proximales a distales, que indican la profundización de la cuenca y el paso hacia la Formación Napo, dentro de la cual existen intervalos transgresivos y regresivos (Ye et al., 2014).

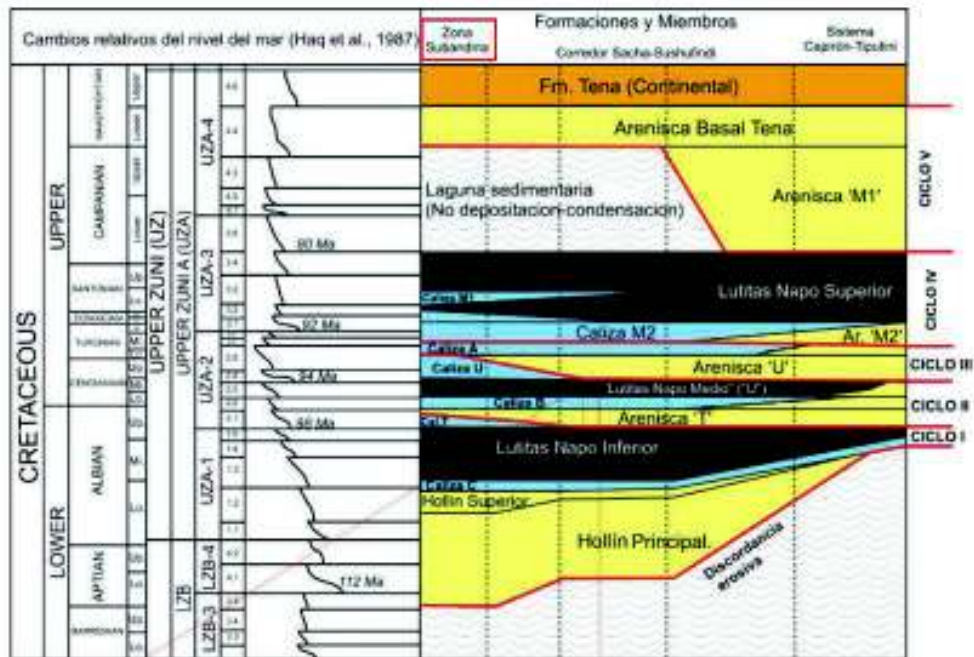


Figura 2.4 Formaciones, miembros y ciclos sedimentarios del cretácico de la Cuenca Oriente. El recuadro rojo enfatiza la mega secuencia cretácica de la Zona Subandina, basamento Cretácico del volcán Sumaco. Figura modificada de Haq et al., (1987).

✓ Formación Napo

Corresponde a una sucesión de lutitas negras, calizas grises a negras y areniscas calcáreas fluviales transicionales a marinas (Barragán et al., 2014). La formación sobryace a la Fm. Hollín por todo el Oriente y tiene un espesor que varía entre menos de 200 m hasta más de 700 metros. La edad asignada a la formación va desde Albiano Medio a Campaniano Tardío.

La Formación Napo se encuentra dividida dentro de varias unidades:

✓ Caliza C

Comprende calizas masivas y lutitas negras, con presencia de glauconita y fosfatos. Jaillard, (1997) asignó una edad de Albiano Temprano a Albiano Medio.

✓ Lutitas Napo Inferior

Constituida de lutitas negras no calcáreas ricas en material orgánico (Amonites e Inoceramus), depositadas en un ambiente de plataforma marina abierta. La edad asignada está entre el Albiano Medio a Tardío (Jaillard, 1997).

✓ Caliza T

Corresponde a una alternancia de margas, calizas arenosas y calizas glauconíticas, fosilíferas y bioturbadas, que se depositaron en un ambiente de plataforma carbonatada somera y abierta. La edad asignada es de Albiano Tardío (Jaillard, 1997).

✓ Arenisca T Principal y Arenisca T Superior

La Arenisca T Principal corresponde a areniscas cuarzosas con estratificación cruzada y laminación planar de grano grueso a fino. La Arenisca T Superior es grano- y estrato-creciente, rico en ondulitas e intraclastos y restos de vegetales carbonosos. En conjunto, las areniscas T parecen representar una secuencia de transgresión (Arenisca T Inferior) y regresión (Arenisca T Superior). La edad asignada es Albiano Superior (White et al., 1995; Jaillard, 1977).

✓ Caliza B

Comprende lutitas, limonitas negras laminadas no calcáreas y no bioturbadas, areniscas oscuras poco calcáreas, glauconíticas, calizas masivas fosilíferas y calizas glauconíticas. La edad de las Calizas B es probablemente Albiano Superior (Jaillard, 1997).

✓ Lutitas Napo Medio

Comprende lutitas laminadas, calcáreas. Según Barragán et al., (2014) pertenecen al Cenomaniano Inferior y fueron depositadas en un ambiente marino anóxico de baja energía (Jaillard., 1977).

✓ Caliza U

Corresponde a calizas glauconíticas, a menudo arenosas y muy fosilíferas, intercaladas con lutitas y limonitas no calcáreas, que se depositaron en un ambiente de plataforma somera en el Cenomaniano temprano a medio (Jaillard, 1997).

✓ Arenisca U Principal y Arenisca U Superior

La Arenisca U Principal se depositó en un ambiente de planicie costera (Jaillard, 1997). Mientras la Arenisca U Superior depositadas en ambiente de plataforma, corresponde a areniscas glauconíticas calcáreas, bioturbadas y de grano fino con intercalación de lutitas (Barragán, 2014).

✓ Caliza A

La Caliza A, consiste en calizas micríticas alternativamente claras y oscuras, laminadas, no o poco bioturbadas, con abundantes cherts negros y restos de peces, escasos bivalvos, y amonites enanos localmente abundantes, que nos indican un depósito muy somero, representando a depósitos de mar abierto y de baja energía (Jaillard, 1997). La edad de la Caliza A es del Turoniano temprano al Turoniano medio (Barragán, 2014).

✓ Arenisca M-2

Consiste de una sucesión de areniscas glauconíticas finas separadas por finas intercalaciones de lutitas calcáreas. Al Oeste de la Cuenca, esta unidad pasa a margas arenosas y glauconíticas que culminan con niveles de calizas hacia el tope. El ambiente de depósito es de plataforma carbonatada somera de baja energía. La edad de la Arenisca M-2 es Turoniano Tardío (Jaillard, 1997).

✓ Caliza M-2

Corresponde a una secuencia de calizas ricas en fósiles, bioturbadas intercaladas con lutitas (White et al., 1995). Según Jaillard, et al., (1997), el ambiente de formación es marino profundo y confinado de baja energía en la base, teniendo un medio más abierto y somero al tope. La edad de la Arenisca M-2 es Turoniano tardío a Coniaciano Temprano (Jaillard, 1997).

✓ Lutitas Napo Superior

Comprende una secuencia de lutitas negras y grises ricas en materia orgánica con varios lentes calcáreos y secuencias de limos arenosos (Rivadeneira et al., 1995). La edad de esta unidad es Santoniano Tardío al Campaniano Temprano (Jaillard, 1997). Según Jaillard, (1977), estas lutitas representan un máximo de inundación. Baby et al., (2014) considera que estos depósitos son de plataforma marina somera asociada a un máximo de inundación.

CAPÍTULO III

3 GEOLOGÍA DEL VOLCÁN SUMACO

3.1 Descripción Morfológica del Edificio Volcánico del Sumaco

En general, la geología volcánica del edificio es poco conocida. No existen estudios enfocados en el desarrollo volcano-estructural del Sumaco; una posible razón es la inaccesibilidad a la zona de estudio.

En el estudio de Eissen et al., (2002) se menciona una evidencia topográfica de una cicatriz semicircular asociada al menos a un evento de avalancha que derrumbó el flanco noreste del volcán.

Se recopiló información que nos permite realizar un análisis morfológico general del edificio volcánico. Para el análisis se utilizó fotografías aéreas, imágenes satelitales y modelo digital de elevación (DEM) con resolución espacial de 4 m, 12 m y 30 m. La información recopilada fue procesada utilizando un Sistema de Información Geográfica (SIG).

Los resultados del análisis morfológico son presentados a continuación:

Se ha identificado dos cicatrices de deslizamiento en el edificio del volcán Sumaco; la primera de gran tamaño, se ubica en la parte sur y nor-occidental del volcán, posee una forma semicircular abierta hacia el norte y se relaciona a un primer colapso del edificio volcánico (Figura 3.1 A).

La segunda cicatriz, se encuentra en la parte superior del edificio, localizada a 160 metros por debajo la cumbre; tiene un aspecto plano y hacia al norte aparentemente se encuentra cubierta por potentes flujos de lava (Figura 3.1 B).

Las cicatrices de deslizamiento nos permiten tener una idea de los complejos procesos de construcción y destrucción que dan lugar a la morfología actual del edificio volcánico. El volcán Sumaco comprende tres fases denominadas: *PaleoSumaco*, *Sumaco Reciente* y *Sumaco Actual*.

La primera fase o *PaleoSumaco*, se refiere a la base del volcán, es decir la fase más vieja que posee un diámetro de aproximadamente 20 km. Esta fase se caracteriza por el primer edificio que está delimitado por la cicatriz de gran tamaño ubicada a una altura de 2800 msnm en la parte sur y nor-occidental del volcán (Figura 3.3). La cicatriz de deslizamiento

se identifica de mejor manera en la ortofotografía, siendo evidente su forma semicircular abierta hacia el norte del edificio volcánico (Figura 3.2).

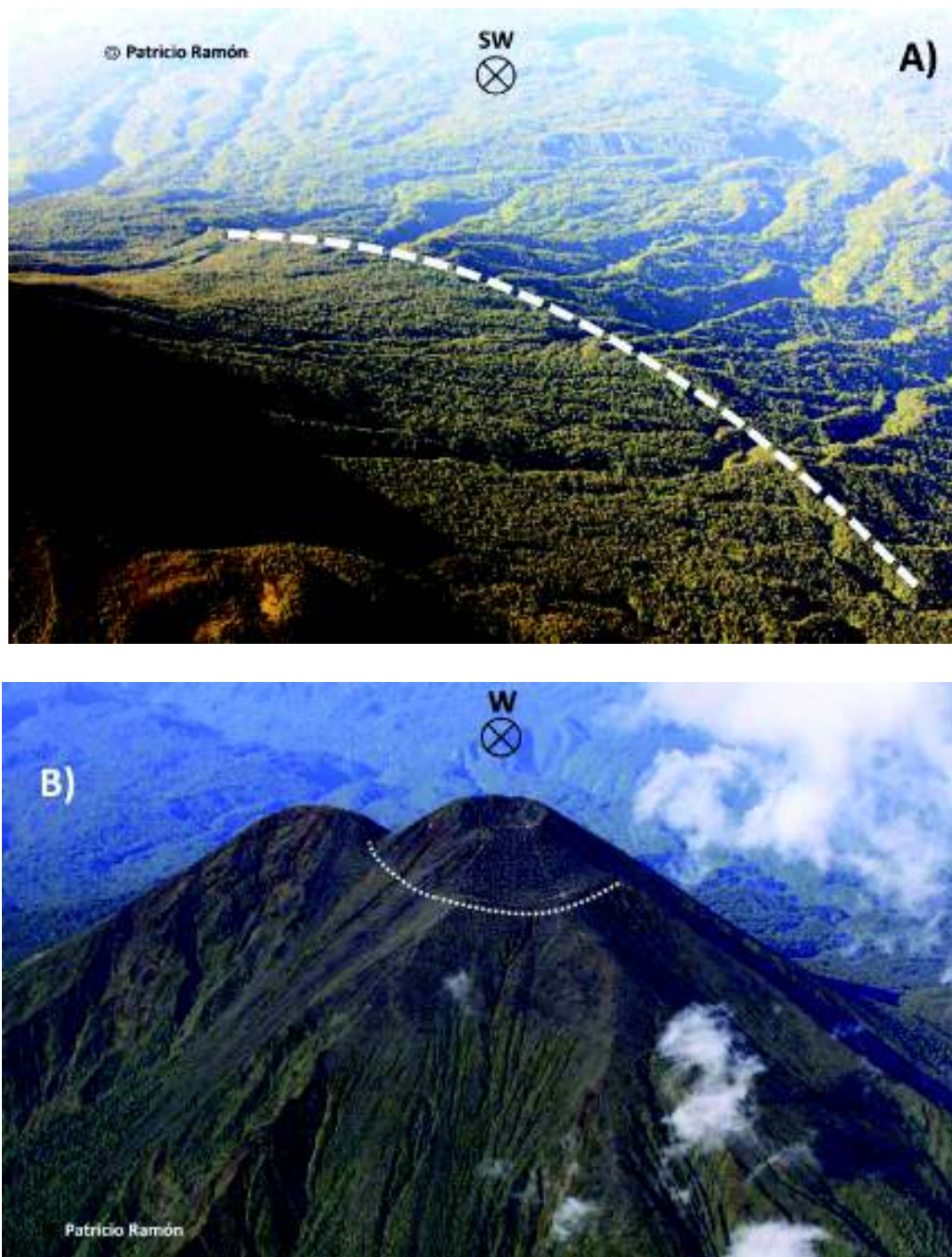


Figura 3.1 Se observa las dos cicatrices de deslizamiento identificadas en el volcán Sumaco. La imagen A) muestra la cicatriz, indicada con línea blanca cortada en el lado occidental, con apertura hacia el norte. En la imagen B), se observa el aspecto plano de la cicatriz superior del edificio volcánico; la altura desde la cicatriz a la cumbre es de ~ 160 metros. (Fotografías aéreas tomadas por Ing. Patricio Ramón – IG EPN; 28 de Enero de 2016).

La segunda fase o *Sumaco Reciente*, se encuentra emplazada sobre el *PaleoSumaco*; tiene un aspecto mucho más rugoso en comparación con el *Sumaco Actual*. En la parte superior se evidencia un alto topográfico, el cual se relaciona con un segundo colapso del edificio volcánico, a su base se tiene la segunda cicatriz de deslizamiento con aspecto plano. Sobre esta segunda cicatriz, se han instalado antenas repetidoras que son de propiedad del Ejército Ecuatoriano (Figura 3.4).

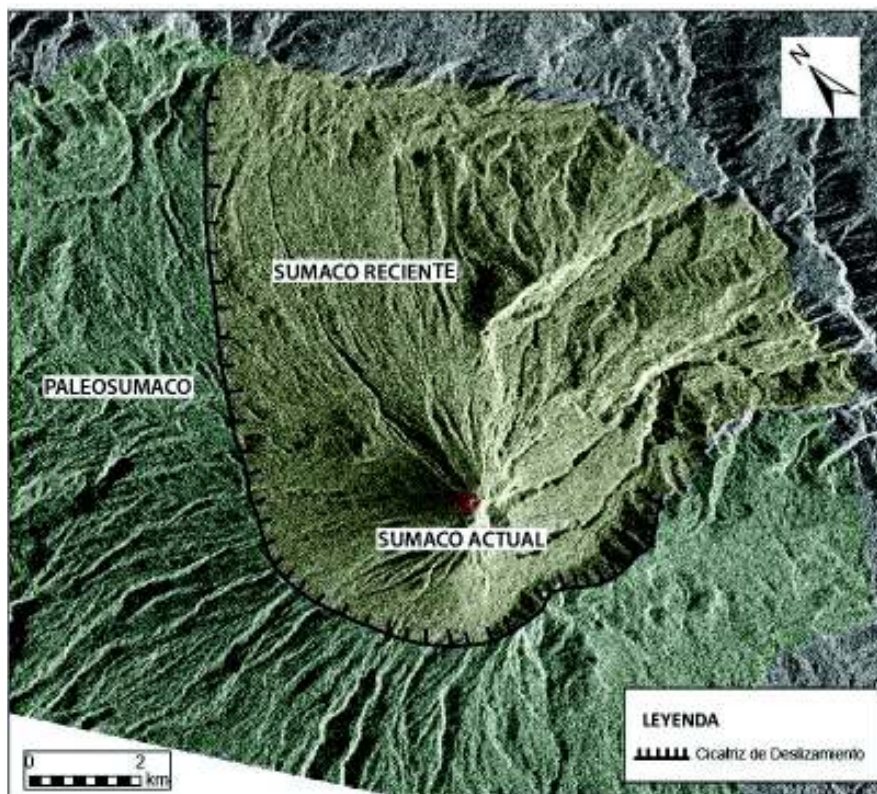


Figura 3.2 Ortofoto del volcán Sumaco, se puede observar la gran cicatriz de deslizamiento, de forma semicircular abierta hacia el Norte, relacionada con el Paleosumaco. (Ortofotografía: Ing. Patricio Ramón – IG EPN).

El *Sumaco Actual*, creció sobre los restos del *Sumaco Reciente*, alcanzando una altura de 3830 msnm. Es la parte más joven del edificio volcánico, corroborado por los flujos de lava que descienden hacia la parte Sur y Norte del volcán (Figura 3.4). La altura del actual cono es de 260 metros, posee un diámetro de aproximadamente 100 m y las pendientes de sus flancos tienen hasta 30° de inclinación.

Casi 3 km al noroeste del cráter principal, existe una evidencia topográfica muy particular, la cual puede ser relacionada con un posible cono parásito cuya altura es de 3070 msnm (Figura 3.5).



Figura 3.3 Morfología del volcán Sumaco. Se puede identificar las 3 fases evolutivas del volcán: Primera fase o PaleoSumaco, segunda fase o Sumaco Reciente y tercera fase o Sumaco Actual (Fotografía aérea tomada por Ing. Patricio Ramón – IG-EPN; 28 de Enero de 2016).

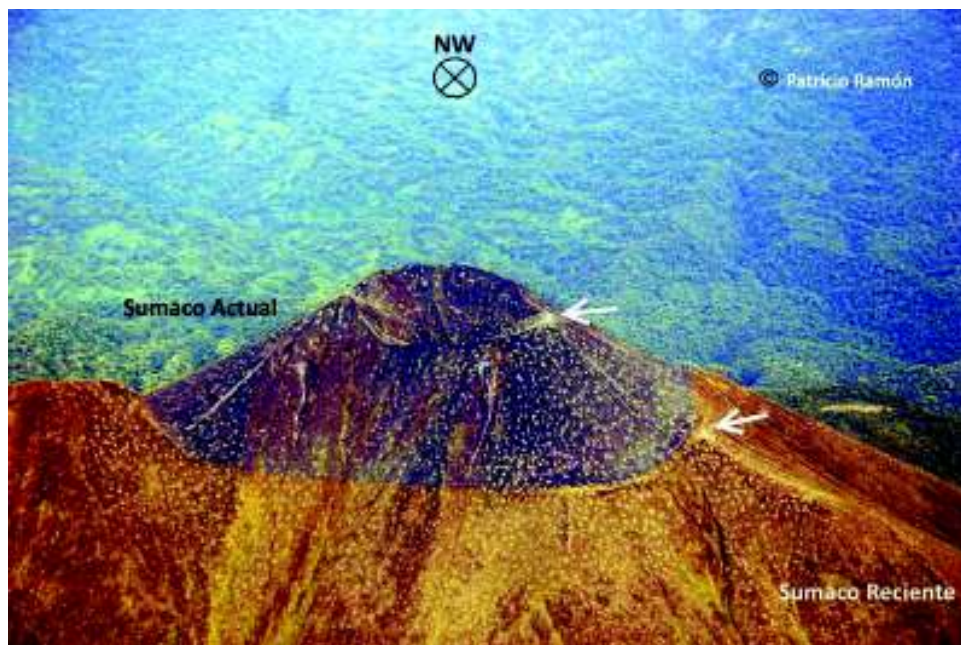


Figura 3.4 Cono actual del volcán Sumaco, creció sobre los restos de la segunda fase del volcán o Sumaco Reciente. Mide aproximadamente 160 metros de altura. Es posible observar las antenas repetidoras (flechas blancas) instaladas en la cumbre del volcán, en su flanco Este. (Fotografía aérea tomada por Ing. Patricio Ramón – IGEPN; 28 de Enero de 2016).



Figura 3.5 Posiblemente un cono parásito, ubicado al nor-occidente del volcán Sumaco, se encuentra a una altura de 3070 msnm. (UTM aprox.: 18S 206560 / 9941126) (Fotografía aérea tomada por Ing. Patricio Ramón – IG EPN; 28 de Enero de 2016).

La parte norte del volcán se encuentra completamente cubierta por flujos de lava, que han descendido hasta llegar a una altura aproximada de 3120 msnm. En esta parte, no es posible diferenciar la cicatriz superior del volcán que distingue al *Sumaco Reciente* del *Sumaco Actual*.

La Laguna Guagua Sumaco (211262 / 9936958, 2500 msnm) se ubica en el flanco sur oriental del volcán Sumaco y a aproximadamente 1.200 m en línea vertical por debajo de su cumbre, emplazada en lo que parece ser un cráter extinto (Figura 3.6). Es todo lo que se puede afirmar respecto a la laguna tomando en cuenta lo observado en campañas de campo.

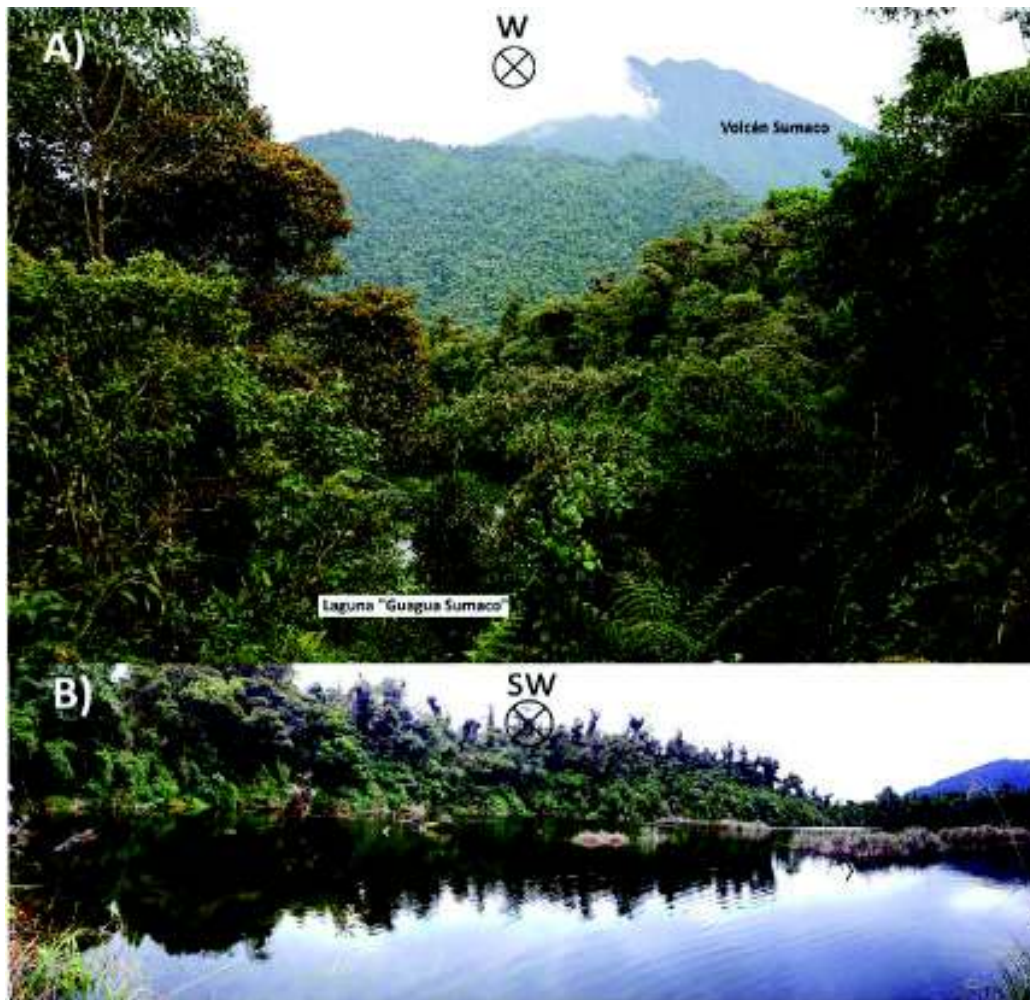


Figura 3.6 A) Laguna “Guagua Sumaco” (211262 / 9936958, 2500 msnm) ubicada aproximadamente a 1200 metros en línea vertical por debajo la cumbre del volcán Sumaco. B) Vista de la Laguna Guagua Sumaco (2500 msnm). (Fotografías tomadas por Ing. Marco Córdova - IG EPN; 28 de Agosto de 2018).

3.2 Secuencias estratigráficas en los alrededores del volcán Sumaco

Uno de los objetivos del presente estudio es realizar la descripción de columnas estratigráficas y recolectar capas de ceniza volcánica para su caracterización en zonas accesibles tanto al Sur, Este y Noroccidente del volcán Sumaco.

Se realizaron varias campañas de campo en las comunidades: Pacto Sumaco, 8 de Diciembre, Boca del Suno y Linares, en donde se estudiaron algunas secuencias estratigráficas recolectando varias muestras de ceniza.

Esta recolección fue efectuada en diferentes tipos de afloramientos:

- Cortes a lo largo de carreteras de segundo y tercer orden.
- Cortes a lo largo de los senderos de ascenso al volcán Sumaco.

El muestreo de las capas de ceniza requiere del siguiente procedimiento:

1. Limpiar el corte y la vegetación para observar la estratigrafía del lugar.
2. Identificar las principales unidades litológicas y realizar una columna estratigráfica.
3. Registrar en la libreta de campo toda la información del lugar y de las capas de ceniza de interés, incluyendo un punto de localización con GPS del lugar.
4. Recolectar las muestras de ceniza, intentando tomar la parte menos contaminada del depósito. Generalmente, es de la parte central, ya que se encuentra menos contaminada que el tope y la base del depósito, así como también de materia vegetal.
5. Describir en detalle cada muestra.
6. Etiquetar la muestra recolectada tanto en la funda como en la libreta de campo.
7. Tomar fotografías del lugar de muestreo.

Las muestras de ceniza volcánica recolectadas, se procesaron en el laboratorio para su observación y análisis de la siguiente manera:

1. Lavar las muestras utilizando un limpiador ultrasónico.
2. Secar las muestras al aire libre.
3. Analizar, describir e interpretar las muestras bajo lupa binocular.

3.2.1 Análisis de las cenizas volcánicas

En el presente estudio, se realizó el análisis usando el microscopio binocular con el objetivo de caracterizar las capas de ceniza pertenecientes al volcán Sumaco. El estudio bajo lupa binocular nos permite determinar características como el tamaño, forma, vesicularidad, color, brillo, translucidez, angulosidad y mineralogía de los elementos constituyentes de las cenizas volcánicas.

Es importante mencionar que, a pesar de estar en una zona de estudio caracterizada por presencia de lluvia durante la mayor parte del año, es decir, en una zona propensa a la erosión. La identificación, descripción y recolección de las capas de ceniza no ha sido un mayor problema, encontrando lugares y afloramientos con capas de ceniza volcánica en lugares tanto proximales como distales al volcán Sumaco.

Todos los lugares en los cuales se elaboraron las secciones estratigráficas y se coleccionó muestras de ceniza se encuentran en la **Figura 3.8**

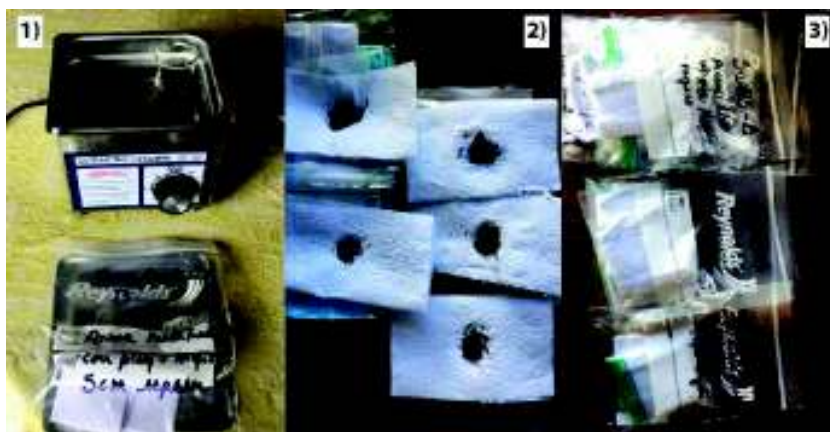


Figura 3.7 Mosaico del procedimiento llevado a cabo en el laboratorio para la observación y análisis de las muestras de ceniza volcánica, coleccionadas en el presente estudio. 1. Lavar las muestras utilizando un limpiador ultrasónico; 2. Secar las muestras al aire libre; 3. Etiquetar las muestras para proceder con el análisis, descripción e interpretación bajo lupa binocular.



Figura 3.8 Mapa de ubicación de las 6 secciones estratigráficas realizadas en el presente estudio.

3.2.2 Descripción de los sitios muestreados

3.2.2.1 Sección Wild Sumaco:

La primera sección se elaboró en las afueras del lodge Wild Sumaco, este sector se encuentra aproximadamente a una distancia de 3 km al Norte de la comunidad de “Guagua Sumaco”, siguiendo el camino lastrado que conduce a “Pacto Sumaco”. Sus coordenadas (UTM) son 18S 0210626/ 9925285, 1513 msnm. (Figura 3.8).

En esta sección se identificó tres capas de tefra, las cuales se encuentran intercaladas con capas de suelo de color café oscuro (Figura 3.9).

La sección empieza con una capa de suelo arenoso de 0.80 m. Inmediatamente, bajo este suelo se encuentra la primera capa de ceniza fina de 0.36 m de espesor (*SUM-JS-52*). La capa es de color café, con tonalidades anaranjadas y se caracteriza por poseer pómez de hasta 1.5 cm. Contiene también líticos de composición basáltica de color gris oscuro, con forma sub-angular sub-prismático y vesicularidad baja; se caracterizan por presentar fenocristales de plagioclasa y piroxeno; tienen un tamaño de diámetro de 1.5 cm.

Después se tiene otra capa de suelo color café de tamaño arena, con un espesor de 44 cm. Bajo esta capa, se ha identificado una capa de tefra correspondiente a la capa *SUM-JS-53*. Esta capa es muy rica en cristales, de color café claro, contiene pómez de un tamaño hasta 2 centímetros y líticos basálticos de hasta medio centímetro. Los líticos basálticos son de color gris oscuro con vesicularidad baja y presentan una forma predominante subangular - subprismático. La temperatura de la ceniza al momento de su deposición ha quemado una pequeña cantidad de material orgánico (tallos o raíces) presente en el lugar formando pequeñas partículas de carbón de un tamaño aproximado de 2 mm.

Seguido se tiene la capa de ceniza *SUM-JS-54*, es color gris, y tiene un tamaño de grano de arena. Presenta pómez entre 2 y 3 cm. Las pómez son de color blanco y café, con forma predominante subangular - subprismático. Se han identificado líticos basálticos de color gris oscuro, presentan una vesicularidad baja y tienen un tamaño de hasta 4 mm.

La mayoría de la pómez se encuentra meteorizada, es por tal razón que presentan una coloración anaranjada.

Los componentes de las capas de ceniza se encuentran resumidas en la siguiente tabla, en donde es evidente el bajo contenido de vidrio presente en todas las capas.

Tabla 1. Descripción simplificada de cenizas volcánicas presentes en la sección Wild Sumaco.

NOMBRE	COMPONENTES					CRISTALES LIBRES				COLOR PÓMEZ EN AFLORAMIENTO
	MIN	POM	VID	LIT	OTROS	PLAG	AUG	HBD	BIOT	
SUM-JS-52	40	50	tr	10		40	54	6		anaranjado
SUM-JS-53	60	35	tr	5		22	68	10		anaranjado
SUM-JS-54	63	32		5		48	39	13		anaranjado

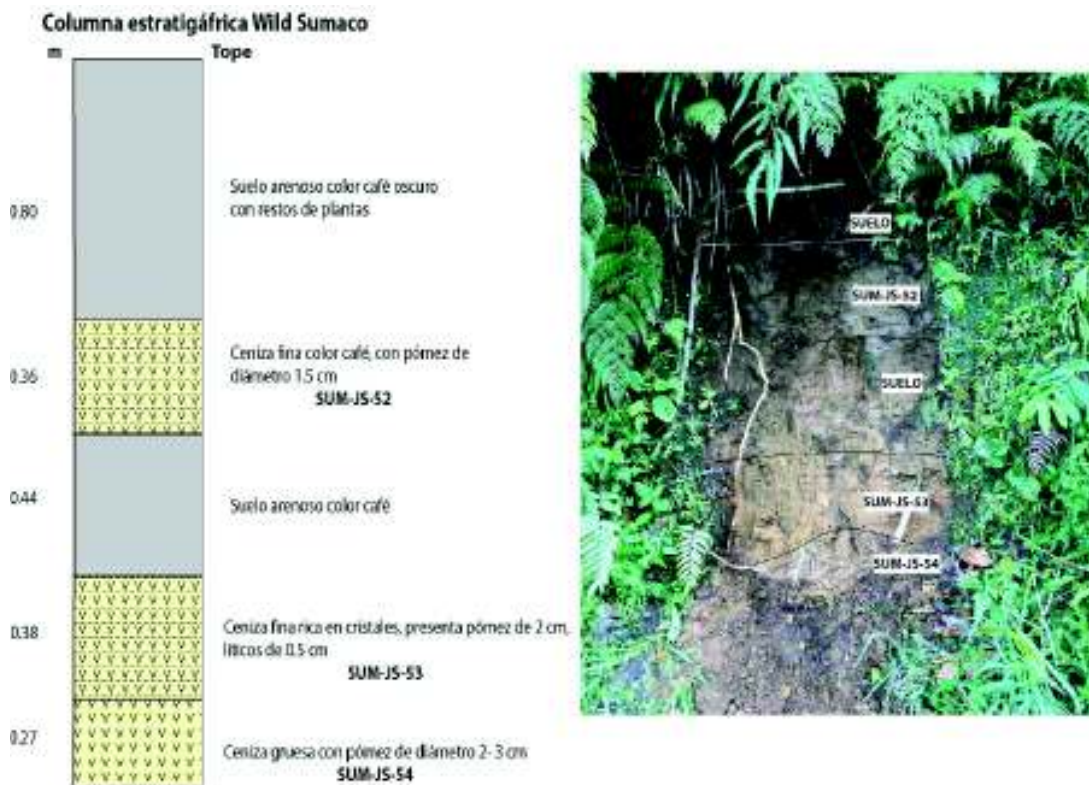


Figura 3.9 Sección elaborada en el sector de Wild Sumaco, flanco sur del volcán Sumaco (210626, 9925285, 1513 msnm/ UTM WGS84-18S).

3.2.2.2 Sección Pacto Sumaco:

Esta sección se encuentra localizada en la comunidad de Pacto Sumaco – Flanco Sur del volcán Sumaco. Sus coordenadas (UTM) son 18M 0210670 / 9925609, 1505 msnm.

En el lugar ha sido posible identificar tres niveles de capas de ceniza intercaladas con capas de suelo color café (Figura 3.10).

El primer nivel de ceniza, se encuentra bajo un nivel de suelo arenoso de 90 cm de espesor. La capa de ceniza es fina y presenta un color café con tonalidades anaranjadas. Entre sus principales componentes se tiene pómez con un tamaño de 1 cm. La muestra contiene cristales de piroxeno, plagioclasa y hornblenda; la cantidad de piroxeno en el contenido

mineral supera el 60% del volumen total. El contenido en líticos es del 11% de volumen, son de color gris claro, subangulares - subprismático, con vesicularidad baja y un diámetro entre 0.3 y 0.6 cm. Los líticos presentan fenocristales de plagioclasa y en mayor cantidad fenocristales de piroxeno.

Subyaciendo a la capa anterior se tiene otro nivel de suelo de 15 cm de espesor. Bajo este nivel de suelo se encuentran las capas de ceniza restantes: *SUM-JS-56* y *SUM-JS-57*.

La capa *SUM-JS-56* es rica en cristales, se caracteriza por presentar pómez de hasta 2 cm y líticos basálticos de hasta 0.5 cm. Los cristales presentes en la muestra son piroxeno, plagioclasa, hornblenda y trazas de cristales laminares negros de biotita. Se observan líticos de composición basáltica de color gris oscuro con vesicularidad baja: tienen un tamaño de diámetro entre 0.2 hasta 0.5 cm. La deposición de la ceniza ha consumido tallos y raíces formando partículas de carbón de un tamaño de 0.3 cm.

La capa de ceniza *SUM-JS-57*, se encuentra bajo la capa anterior; es gruesa de color gris con pómez de color anaranjado con un tamaño de diámetro hasta 3 cm. La muestra contiene líticos de color gris oscuro, son de composición basáltica e igualmente presentan una vesicularidad baja; tienen un diámetro que va desde los 0.2 cm hasta los 0.4 cm. Igual que la capa anterior la deposición de la ceniza ha consumido material orgánico formando partículas de carbón de un tamaño de 2 mm.

La pómez se encuentra meteorizada, es por tal razón que se observan varias pómez con una coloración anaranjada.

En la siguiente tabla, se resume la descripción de las tres capas de ceniza identificadas en la sección Pacto Sumaco.

Tabla 2. Descripción simplificada de cenizas volcánicas presentes en la sección Pacto Sumaco.

NOMBRE	COMPONENTES					CRISTALES LIBRES				COLOR PÓMEZ EN AFLORAMIENTO
	MIN	POM	VID	LIT	OTROS	PLAG	AUG	HBD	HC	
SUM-JS-55	42	47	tr	11		36	60	4		anaranjado
SUM-JS-56	62	30	tr	8		28	60	12		anaranjado
SUM-JS-57	65	30		5		44	39	12	5	anaranjado

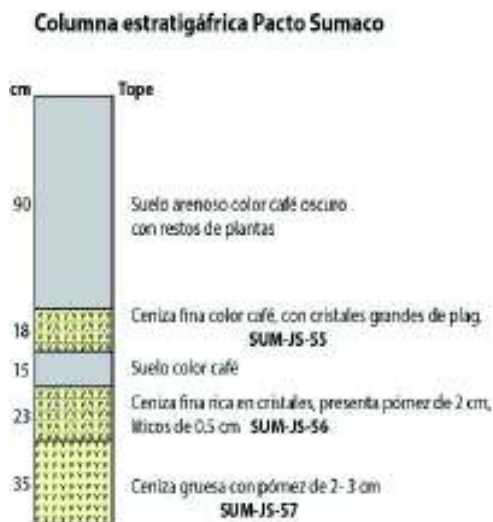


Figura 3.10 Sección Pacto Sumaco, se observan 3 niveles de ceniza intercaladas con dos capas de suelo (210670/9925609, 1505 msnm/ UTM WGS84-18S).

3.2.2.3 Sección Ocho de Diciembre:

La sección se elaboró en la comunidad 8 de Diciembre, localizada al Noreste de la ciudad de Loreto. Para llegar a la comunidad, se debe tomar la vía lastrada que conduce a la Hostería Karutambo (km 10) y seguir por la vía hasta llegar a la guardianía del Parque Nacional Sumaco Napo Galeras (PNSNG) - Comunidad 8 de Diciembre (Figura 1.3).

La construcción de la vía hacia el Norte de la comunidad es reciente, la cual dejó expuesto varios afloramientos. La ubicación del afloramiento se encuentra en las coordenadas (UTM) 18S 0231570 / 9937600, 884 msnm.

La sección comienza con un nivel de suelo arenoso de color anaranjado con restos de plantas de 0.30 m de espesor.

Seguido se tiene la primera capa de ceniza identificada como *SUM-JS-17*. La capa es muy tenue de color café con un espesor de 0.50 m. Esta capa es rica en cristales y se encuentra levemente meteorizada por la presencia de raíces. Presenta pómez de color blanco de hasta 0.5 cm, las cuales se encuentran meteorizadas presentando una tonalidad anaranjada. Entre los componentes minerales se encuentran cristales de piroxeno,

hornblenda y plagioclasa; los cristales de piroxeno son predominantes con un 58% del volumen mineral. La muestra contiene líticos de composición basáltica, son de color gris claro y presentan una vesicularidad media. Se caracterizan por presentar fenocristales de piroxeno y en menor cantidad de plagioclasa.

Bajo la primera capa de ceniza, se tiene una potente capa de suelo arenoso-arcilloso de color anaranjado. El nivel de suelo contiene algunos líticos como también varios cristales de plagioclasa y cuarzo.

La segunda capa de ceniza *SUM-JS-18* se encuentra inmediatamente bajo la capa de suelo de 1.85 m de espesor. La capa se caracteriza por ser rica en cristales con pómez y líticos de composición basáltica con un diámetro entre 0.3 cm y ~ 0.5 cm, respectivamente. La muestra presenta cristales de plagioclasa, piroxeno, hornblenda y trazas de cristales laminares negros de biotita.

La sección continúa con otra capa de suelo laterita de 0.60 m de potencia. Es un suelo arenoso, color anaranjado con cristales de plagioclasa. Bajo este nivel de suelo se tiene tres capas de ceniza homogéneas ubicadas a una distancia de 2.90 m del tope de la sección.

La primera capa *SUM-JS-19* es un nivel de ceniza gruesa, es rica en cristales con pómez blanca de tamaño 3 mm; el contenido de pómez disgregada en la muestra alcanza el 30% del volumen total. Se observan cristales de piroxeno, plagioclasa, hornblenda y cristales granulares de hercinita. Los cristales de hercinita son de color negro, opacos, con brillo vítreo, sin clivaje, con hábito granular y fractura concoidea. La muestra presenta líticos con forma predominante subangular – subprismático de composición basáltica; algunos líticos se encuentran oxidados con un tamaño de 0.2 cm.

La segunda capa de ceniza (*SUM-JS-20*) es una ceniza fina - media con líticos entre 0.5 – 0.7 cm. Los líticos son de composición basáltica, con una vesicularidad media y se caracterizan por presentar fenocristales de piroxeno y en menor cantidad fenocristales de plagioclasa. La muestra presenta cristales de ferrihidrita color marrón con hábito de agregados de cristales microscópicos.

La última capa de ceniza *SUM-JS-21* presenta una gran cantidad de pómez de color blanco, algunas pómez se encuentran meteorizadas presentando una coloración anaranjada. La muestra presenta pocos cristales de plagioclasa y piroxeno, además se identificó partículas de carbón de hasta 1 cm formadas por la quema de la vegetación preexistente durante la deposición de la capa.

Tabla 3. Descripción simplificada de cenizas volcánicas presentes en la sección 8 de Diciembre.
 HC = Hercinita; FRY = Ferrihidrita.

NOMBRE	COMPONENTES					CRISTALES LIBRES						COLOR PÓMEZ EN AFLORAMIENTO
	MIN	POM	VID	LIT	OTROS	PLAG	AUG	HBD	BIOT	FRY	HC	
SUM-JS-17	43	48	tr	9		39	58	3				anaranjado
SUM-JS-18	64	28	tr	8		40	57	3				blanco
SUM-JS-19	65	30		5		44	43	10			3	anaranjado
SUM-JS-20	48	30		22		61	36		tr	3		anaranjado
SUM-JS-21	18	67			15	80	20					blanco

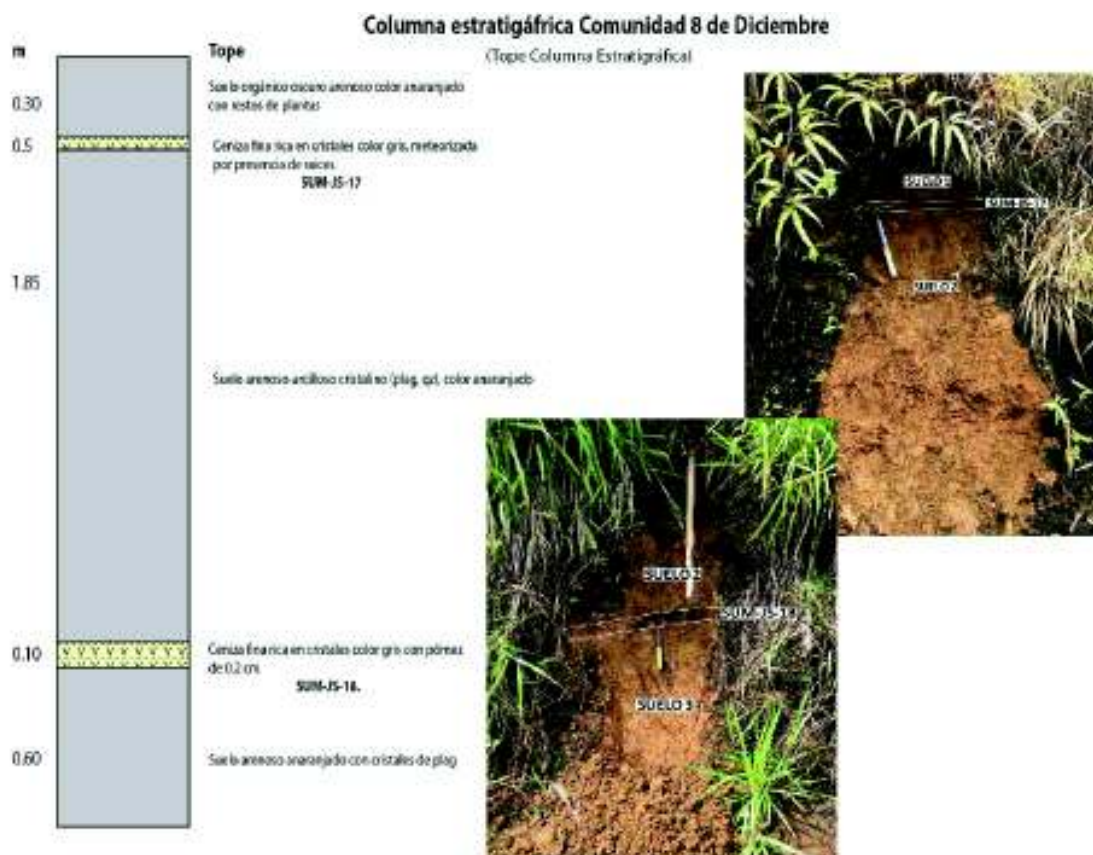


Figura 3.11 Tope de la sección, elaborada en la comunidad 8 de Diciembre.
 (231570/9937600, 884 msnm/ UTM WGS84-18S).

Columna estratigráfica Comunidad 8 de Diciembre (290 cm del Tope de la Columna Estratigráfica)



Figura 3.12 Base de la sección, elaborada en la Comunidad 8 de Diciembre (231570/9937600, 884 msnm/ UTM WGS84-18S).

3.2.2.4 Sección El Desbanque

Esta sección se elaboró en uno de los senderos pertenecientes a la comunidad de Pacto Sumaco. El empalzado del sendero permitió exponer varias capas de ceniza, tres de las cuales fueron ya identificadas en el corte llamado "Pacto Sumaco". La sección, se localiza en las coordenadas (UTM) 18S 0212862 / 9926900, 1485 msnm.

Las dos nuevas capas de ceniza (*SUM-JS-43*, *SUM-JS-44*) se encuentran bajo la secuencia expuesta en Pacto Sumaco. Estas capas de ceniza fueron coleccionadas y analizadas bajo lupa binocular. Es decir, esta sección permite extender hacia abajo la sección elaborada en Pacto Sumaco.

Bajo la capa de ceniza gruesa *SUM-JS-57* descrita en la sección "Pacto Sumaco", se encuentra un nuevo nivel de ceniza (*SUM-JS-43*) color anaranjado con un espesor entre 1.5 - 2 m.

La capa de ceniza *SUM-JS-43* posee varios líticos de roca con un diámetro entre 2 - 3 cm. Los líticos son porfíricos de composición basáltica sin plagioclasa y de color gris oscuro; algunos se encuentran oxidados (Figura 3.13). La muestra contiene una pequeña cantidad

de cristales de piroxeno (augita), plagioclasa y en menor cantidad cristales de biotita, hercinita negra y ferrihidrita color marrón. La muestra no contiene vidrio volcánico.



Figura 3.13 Líticos de composición basáltica sin plagioclasa, algunos oxidados, de un tamaño hasta 3 centímetros pertenecientes a la muestra de ceniza SUM-JS-43.

La capa de capa de ceniza SUM-JS-44, se encuentra subyaciendo a la capa de ceniza anterior. La ceniza es fina de color beige claro con una cantidad dispersa de carbón vegetal. La cantidad de minerales presentes es relativamente baja en comparación con la pómez disgregada en toda la muestra. Los minerales presentes son piroxeno (augita) y plagioclasa. Las partículas de carbón vegetal tienen un tamaño de hasta 2 – 3 cm (Figura 3.14). El material recolectado fue analizado por el laboratorio BETA Analytic Inc. en Miami, Florida, EE.UU. Esta muestra obtuvo una edad de 4 370 +/- 30 años BP. La edad calibrada es de 4975 – 4836 años BP; la calibración se lo realizó en el programa 'OxCal' (v4.3) desarrollado por Bronk Ramsey (2009), mediante el método HPD (High Probably Density Range Method) empleando la curva de calibración atmosférica SHCAL 13 (ANEXO I).

Tabla 4. Descripción simplificada de cenizas volcánicas presentes en la sección El Desbanque. HC = Hercinita; FRY = Ferrihidrita.

NOMBRE	COMPONENTES					CRISTALES LIBRES					COLOR PÓMEZ EN AFLORAMIENTO
	MIN	POM	VID	LIT	OTROS	PLAG	AUG	BIOT	HC	FRY	
SUM-JS-43	40	30		30		65	28	1	3	3	anaranjado
SUM-JS-44	15	70			15	80	20				blanco

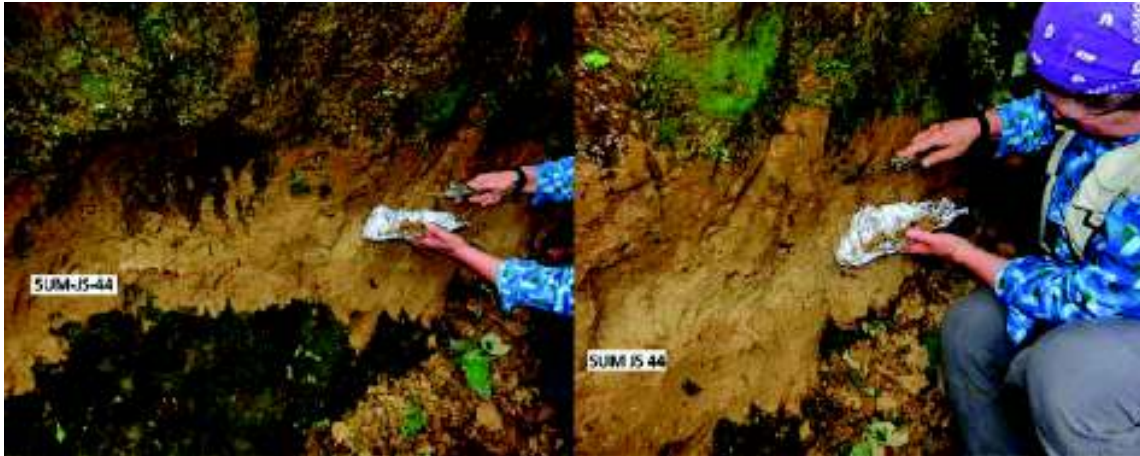


Figura 3.14 Recolección de las partículas de carbón vegetal de la muestra de ceniza SUM-JS-44.
La muestra obtuvo una edad de 4370 +/- 30 años BP.

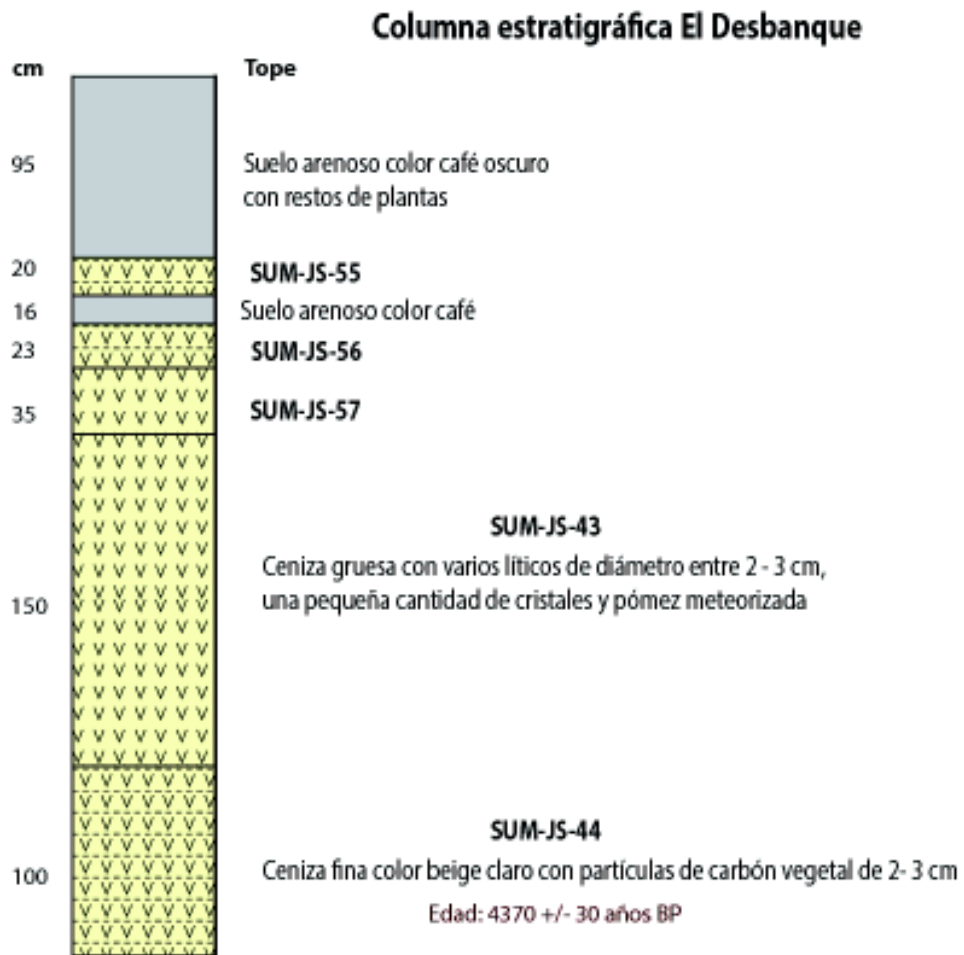


Figura 3.15 Columna estratigráfica Sección El Desbanque (212862/9926900, 1485 msnm/ UTM WGS84-18S).

3.2.2.5 Sección Puerto Murialdo - Boca del Suno

Corresponde a un corte natural ocasionado por el Rio Suno, al suroriente del volcán Sumaco, se localiza en las coordenadas (UTM) 18M 0263222/9922959, 278 msnm.

En esta sección, ha sido posible identificar dos niveles de tefra. La sección comienza con un nivel de suelo limoso sin guijarros de 0.50 m de espesor.

Bajo la capa de suelo se observa una capa de conglomerados clasto-soportado. Los clastos predominantes son sub-redondeados andesíticos con un diámetro entre 10 a 12 cm.

Debajo se logra identificar una capa de arena fina de color gris con incrustaciones de clastos redondeados. Posteriormente, se tiene la capa de ceniza fina *SUM-JS-12*, es de color gris oscuro y presenta a simple vista varios cristales de piroxeno.

Columna estratigráfica Boca del Suno

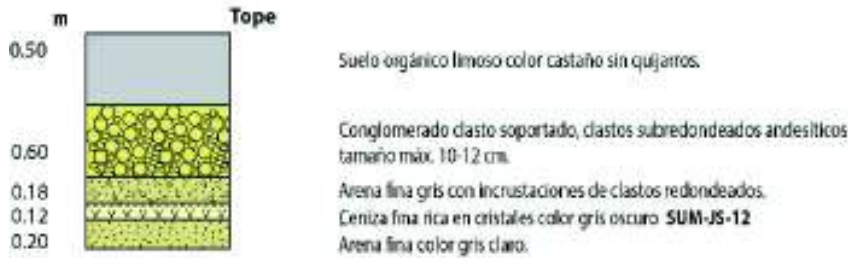


Figura 3.16 Sección Boca del Suno (263222/9922959, 278 msnm/ UTM WGS84-18S).

La capa de ceniza (*SUM-JS-12*) se caracteriza por no presentar pómez. Sin embargo, cuenta con una gran cantidad de cristales incoloros de plagioclasa, cristales cortos verdes de augita, pocos cristales dorados laminares de biotita, cristales prismáticos rosados de feldespatos de K, cristales amarillos granulares de zircón, cristales marrones de ferrihidrita y raros cristales verdes con hábito prismático aparentemente de apatito con un tamaño < 0.1 cm. La muestra contiene obsidiana de color negro con tamaño de 0.2 cm.

La muestra *SUM-JS-12* contiene líticos grises de composición basáltica con forma predominante angular-subprismático; presentan una vesicularidad baja y tienen un tamaño de 0.2 cm.

En la base de esta sección se tiene otro nivel de arena fina color gris claro.

Unos 100 metros más abajo, siguiendo la orilla del río, se ha coleccionado una capa de ceniza fina muy cristalina (*SUM-JS-15*). Esta capa de ceniza se caracteriza por presentar pómez de color café con un tamaño de 0.3 cm. Además, contiene líticos basálticos de color gris oscuro con un tamaño de hasta 3 cm. Los líticos presentan una vesicularidad baja con fenocristales de plagioclasa y piroxeno. La muestra contiene cristales de piroxeno, plagioclasa, ferrihidrita y una mayor cantidad de cristales laminares de biotita (~28%) y por lo tanto es improbable que sea del volcán Sumaco.

Tabla 5. Descripción simplificada de cenizas volcánicas presentes en la sección Boca del Suno. FRY= Ferrihidrita; FS= Feldespato de potasio; ZRN = Zircón.

NOMBRE	COMPONENTES					CRISTALES LIBRES						COLOR PÓMEZ EN AFLORAMIENTO
	MIN	POM	VID	LIT	OTROS	PLAG	AUG	ZRN	BIOT	FS	FRY	
<i>SUM-JS-12</i>	80		3	17		48	39	3	1	3	2	-
<i>SUM-JS-15</i>	42	48	1	9		43	23		28		6	café

3.2.2.6 Sección Karutambo

Es un corte realizado en la Hostería Karutambo, a 100 metros de la orilla del río Suno, al oriente del volcán Sumaco. Localizado en las coordenadas: (UTM) 18M 0233992 / 9931582, 571 msnm. En esta sección ha sido posible identificar dos niveles de ceniza, siendo importante su caracterización bajo lupa binocular.

El primer nivel de ceniza (*SUM-JS-22*), se encuentra bajo una capa de suelo de 30 cm, es muy cristalino con pómez de hasta 0,8 cm. La muestra contiene minerales de plagioclasa, augita, hornblenda y cristales pequeños de hercinita. La cantidad de vidrio presente en la muestra es bajo pero se caracteriza por presentar escoria de color negro con un tamaño de 0.3 cm.

Tabla 6. Descripción simplificada de cenizas volcánicas presentes en la sección Karutambo.

NOMBRE	COMPONENTES					CRISTALES LIBRES				COLOR PÓMEZ EN AFLORAMIENTO
	MIN	POM	VID	LIT	OTROS	PLAG	AUG	HBD	BIOT	
SUM-JS-22	45	50	5			60	25	15		blanco
SUM-JS-24	45	53	2			42	30	25	3	anaranjado

El segundo nivel de ceniza (SUM-JS-24) ha sido recolectado 50 metros más abajo de la sección anterior. Esta capa de ceniza contiene pómez de color blanco con un tamaño de 0.4 mm. El contenido mineral de la muestra es alto con alrededor del 50% del volumen observándose cristales de plagioclasa, augita, hornblenda y en menor cantidad cristales dorados de biotita. La muestra no contiene vidrio volcánico.



Figura 3.17 Capas de ceniza (SUM-JS-22 y SUM-JS-24) coleccionadas en Karutambo.
(18M 0233992 / 9931582, 571 msnm / UTM WGS84-18S).

Estas dos capas de ceniza, no ha sido posible determinar su procedencia debido a que no contienen líticos de composición similar a las rocas del Sumaco además de su diferente contenido mineral en comparación con las muestras de ceniza estudiadas anteriormente. Aparentemente, se trata de muestras de ceniza retrabajadas de una fuente cercana.

3.2.2.7 Sección Vinillos

Loughlin et al., (2017) realizó un análisis palinológico a través de la columna estratigráfica llamada “Vinillos”. La sección se localiza en las coordenadas (UTM) 18S 183047/993363, 2105 msnm, en el sector conocido como Vinillos, parroquia de Cosanga, provincia de Napo. El lugar se encuentra al sur-occidente del volcán Sumaco, aproximadamente a 25 km de distancia (Figura 3.18).

La importancia de analizar esta sección radica en el depósito de tefra “T3”, el cual presenta una composición similar a las capas de ceniza pertenecientes al volcán Sumaco.

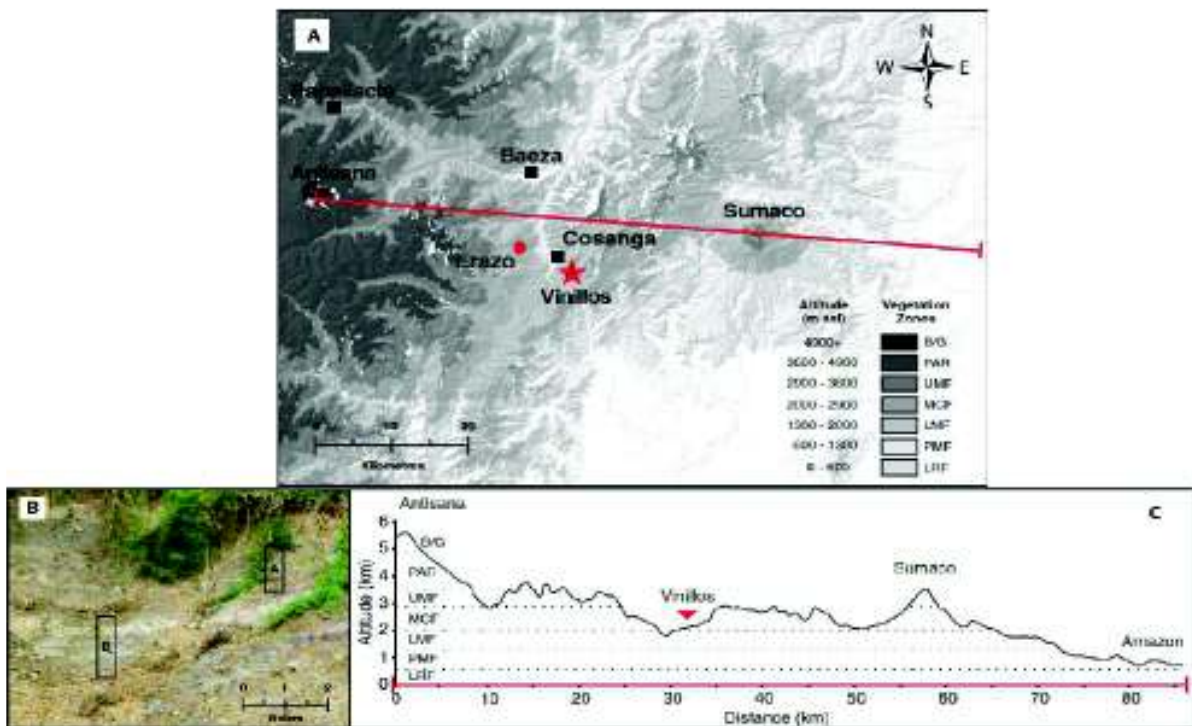


Figura 3.18 A) Esta figura muestra la ubicación del área de estudio realizado por Loughlin et al., 2017 B) Sección Vinillos en sus dos porciones fijas (A y B), la sección completa tiene una longitud de 325 cm. C) Perfil trazado desde el volcán Antisana hasta el Oriente Ecuatoriano, en donde se observa una distancia aproximada desde el sector de “Vinillos” al volcán Sumaco de 25 kilómetros. (Modificado de Loughlin et al., 2017)

La sección, descrita como “Sección Vinillos”, comprende una intercalación de paleosuelos color café oscuro a negro con depósitos de ceniza volcánica de color gris a beige. Los paleosuelos presentan lentes ocasionales de ceniza volcánica color gris pálido (Figura 3.19).

La sección completa tiene una longitud de 325 cm y está compuesta por dos porciones. La sección B (SB) ocurre de 325 cm a 140 cm y la sección A (SA) de 135 cm a 0 cm, separados por una capa de arena de 5 cm que no ha sido muestreada por Loughlin et al., (2017) (Figura 3.18 B y Figura 3.19).

La sección completa presenta cuatro capas de ceniza que han sido analizadas en el presente estudio. Las capas de ceniza tienen espesores de: T1 (18 cm), T2 (25 cm), T3 (40 cm) y T4 (23 cm).

Al tope de la sección A se tiene el primer paleosuelo (SAO1) de 81 cm de espesor. Seguido se tiene la primera capa de ceniza (T1) que se caracteriza por presentar pómez color blanco, cristales de biotita, piroxeno, plagioclasa y cuarzo, además de obsidiana color negro de 0.2 mm.

El segundo paleosuelo (SAO2) de 31 cm de espesor, se encuentra bajo el primer depósito de ceniza (T1). A la base de la sección A se tiene la capa de arena con un espesor de 5 cm; este nivel separa la sección A de la sección B (Figura 3.19).

Al tope de la sección B se encuentra el segundo depósito de ceniza (T2), es de color beige y presenta un contenido de pómez del 36% de su volumen; la pómez es de color blanco. Los cristales presentes en la muestra son de biotita, plagioclasa y augita. Además, la muestra contiene pequeños hilos de vidrio.

Un tercer paleosuelo (SBO1) yace bajo el depósito de ceniza T2. La capa tiene un espesor de 19 cm y sobreyace a la tercera capa de ceniza (T3) color gris de 40 cm de espesor.

La muestra de ceniza "T3" presenta pómez blanca y beige de hasta 0.4 mm, en un 32% del volumen total de la muestra. En relación a los componentes minerales, la muestra presenta cristales de plagioclasa, augita, hornblenda y trazas de cristales laminares de biotita color negro y dorado. Los líticos presentes en la muestra (12% en volumen) son de composición basáltica, con una vesicularidad baja y forma predominante anguloso – subprismático; tienen un tamaño entre 0.2 - 0.4 mm. La muestra tiene una composición química de 59.30 wt-% SiO₂ y 3.84 wt-% K₂O, que en el diagrama de clasificación TAS pertenece al campo de traquiandesita.

Bajo la capa de ceniza de composición similar al volcán Sumaco (T3) se encuentra el cuarto paleosuelo (SBO2) de 18 cm de espesor. La capa de ceniza T4 yace bajo este paleosuelo de color café oscuro. La muestra se caracteriza por un alto contenido en cristales (~73%)

de plagioclasa, biotita, piroxeno, hornblenda y cuarzo. Se observa también pómez de color blanco y escoria color negro, con forma subredondeada esférica de 0.2 mm.

A la base de la sección B se tiene dos niveles orgánicos color café claro (SBO3 y SBO4). Tienen un espesor de 44 cm y 16 cm, respectivamente.

Las capas de ceniza T1, T2 y T4 tienen una composición más ácida en relación a la capa de ceniza "T3". Las capas de ceniza muestran una composición de andesita, andesita basáltica y dacita, respectivamente (Loughlin et al., 2018). En general, presentan una mayor cantidad en cristales de biotita, además de su contenido en cuarzo y vidrio volcánico (obsidiana, escoria) que no son componentes característicos en las capas de ceniza del volcán Sumaco.

Los autores han realizado una cronología de la sección mediante dataciones radiocarbón de dos muestras de residuos palinomorfos obtenidos de la parte superior e inferior de la sección (20 cm y 39 cm). Las muestras pertenecen a los niveles orgánicos SAO1 y SBO4, respectivamente (Figura 3.19). Las dataciones radiocarbón han sido realizadas mediante el método AMS (Accelerator mass spectrometry) obteniendo una edad calibrada de 42 670 años BP para la muestra SAO1 y 44 300 años BP para la muestra SBO4. Los autores realizaron la calibración de las fechas reportadas en OxCal 4.2.4 utilizando la curva atmosférica IntCal13.

En el estudio no se determina una tasa de sedimentación para la secuencia sedimentaria. Sin embargo, estarían asociados a un periodo de deposición durante el Pleistoceno Tardío (45 – 42 ka). Por tanto, la capa de ceniza "T3" relacionada al volcán Sumaco, tiene una aparente edad entre 45 – 42 ka.

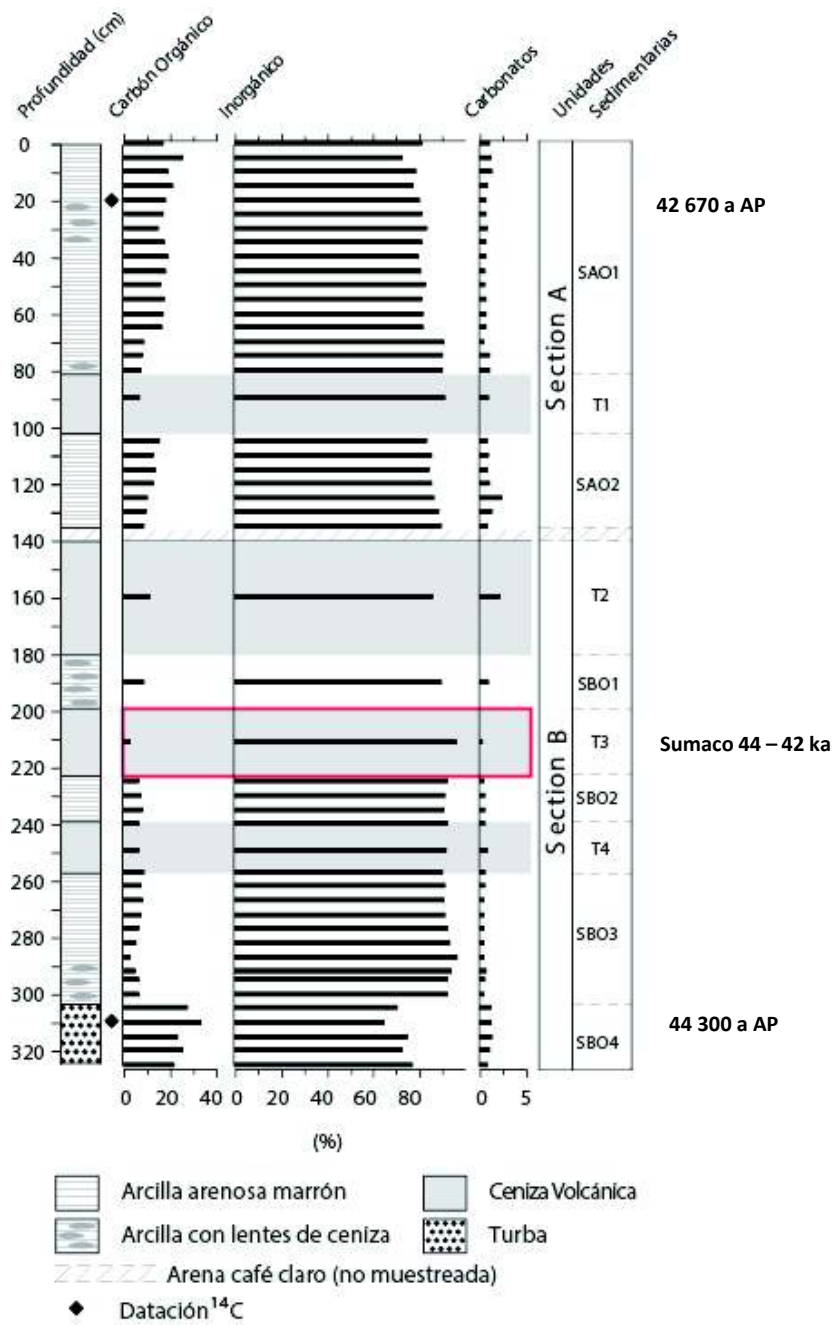


Figura 3.19 Sección estratigráfica “Vinillos”, la capa de ceniza “T3” (recuadro rojo) presenta una composición similar a las cenizas del Sumaco con líticos basálticos de hasta 0.4 mm (Modificado de Loughlin et al., 2017).

3.2.2.8 Secciones Estratigráficas ubicadas al Nor-occidente del Sumaco

Para el estudio de las capas de ceniza del volcán Sumaco, el área ubicada al nor-occidente del volcán es un lugar potencial para la toma de muestras de ceniza. Según los patrones de clima globales confirmados por los datos manejados por la NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration) la mayor parte del año la dirección de los vientos se dirige hacia el occidente con referencia al Sumaco. Estos datos se confirman con la dirección preferencial registrada en las columnas de ceniza de erupciones volcánicas recientes en el Ecuador (por ejemplo: Tungurahua, 2006; Reventador, actualidad). Son pocos los meses en los cuáles la dirección predominante es hacia el sur, sur-este del volcán («Weather systems & patterns | National Oceanic and Atmospheric Administration», s. f.; «Imagery and Data | NOAA National Environmental Satellite, Data, and Information Service (NESDIS)», s. f.).

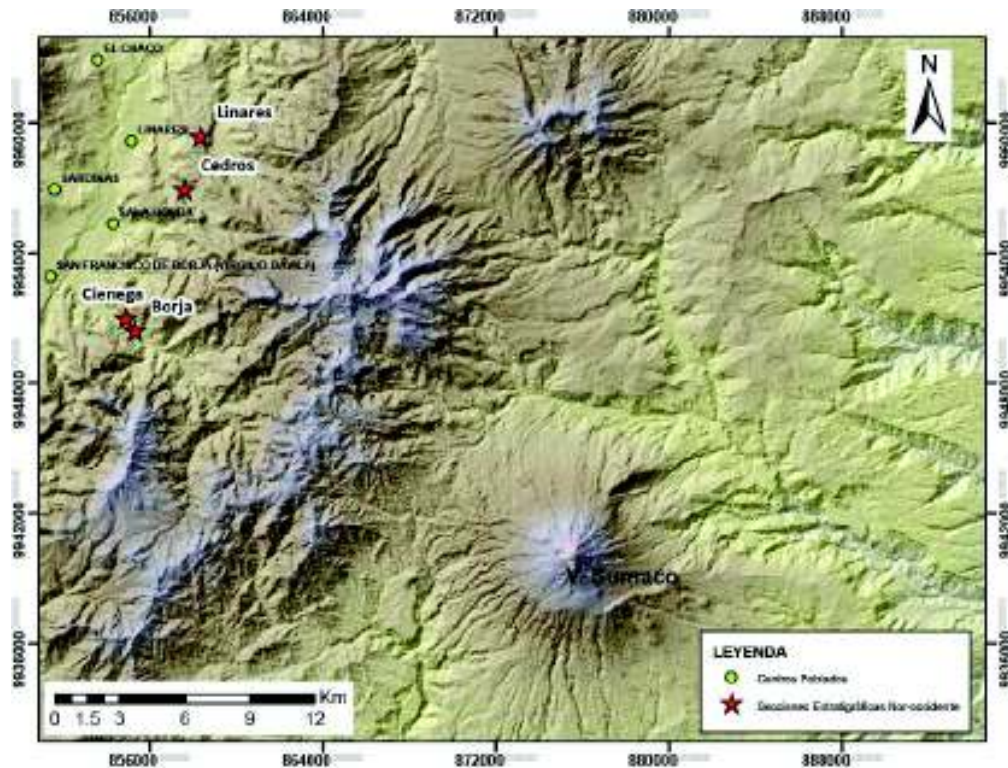


Figura 3.20 Mapa de ubicación de las secciones estratigráficas localizadas al Nor-occidente del Sumaco.

Se ha realizado un estudio de las capas de ceniza identificadas al nor-occidente del Sumaco, con el objetivo de caracterizar estos depósitos y confirmar su relación o no con el volcán. Todas las capas de ceniza identificadas en las secciones al W-NW del volcán

Sumaco no tienen una relación composicional con las capas de ceniza del volcán, es decir no pertenecen al Sumaco.

Las secciones estratigráficas estudiadas se ubican en las parroquias de Linares y San Francisco de Borja, pertenecientes a la provincia del Napo, a 23 y 26 kilómetros respectivamente del volcán Sumaco (Figura 3.20). Vale mencionar que la zona al oriente de las secciones realizadas no tiene caminos ni senderos de acceso hacia el volcán Sumaco.

3.2.2.8.1 Sección Linares

La sección estratigráfica “Linares” se ubica en la parroquia de Linares, cantón El Chaco, provincia de Napo. Se localiza en las coordenadas (UTM) 190400 / 9959435. En el lugar se identificó dos capas de ceniza separadas por una capa de suelo con lentes de cerámica de color negro (Figura 3.21).



Figura 3.21 Sección estratigráfica Linares, localizada en las coordenadas (UTM) 190400/9959435, 2032msnm. En la imagen **A)** se observan dos capas de ceniza intercaladas con dos niveles de suelo; las capas de ceniza son de composición más ácida, en comparación a las capas de ceniza del volcán Sumaco. En la imagen **B)** se observa el lente de cerámica color negro (flecha blanca) presente en el segundo nivel de suelo de aproximadamente 20 cm de espesor. (18 M 190400/9959435, 2032 msnm / UTM WGS84-18S).

Al tope de la sección se tiene una capa de suelo color café, presenta varias raíces y un espesor de 25 cm.

La primera capa de ceniza (*SUM-JS-50*) yace bajo este nivel de suelo, es de color café con una potencia de 25 cm. La muestra es rica en matriz fina con pómez color blanco (25%) y cristales de hornblenda, plagioclasa y biotita. Presenta partículas oxidadas (12%) y obsidiana color negro.

La segunda capa de ceniza (*SUM-JS-51*) se localiza justo por debajo de la intercalación de suelo color café con lentes de cerámica negra (Figura 3.21); el espesor de este depósito es de 20 cm. La capa *SUM-JS-51* tiene una potencia de 15 cm, es de color gris, tiene un tamaño de grano de arena y presenta pómez blanca (38%). Con referencia al contenido mineral, la muestra presenta cristales de plagioclasa y hornblenda. Además, la muestra contiene obsidiana.



Figura 3.22 Sección estratigráfica “Cedros”. Se observan las dos capas de ceniza (*SUM-JS-48* y *SUM-JS-49*) correlacionadas con las muestras *SUM-JS-50* y *SUM-JS-51*, pertenecientes a la sección *Linares*. Son capas de ceniza de composición más ácida, en comparación a las capas de ceniza del volcán *Sumaco*. (18M 189678/9956978, 1815 msnm / WGS84-18S).

Estas dos capas de ceniza han sido correlacionadas con las capas de ceniza encontradas en la sección denominada “Cedros”, localizada en las coordenadas (UTM) 189678/9956978, 1815 msnm (Figura 3.22 y Figura 3.23).

La diferencia entre estas capas de ceniza radica en el tamaño de grano más fino y el buen sorteo presente en las cenizas de la sección “Linares”. Composicionalmente, las capas de ceniza nombradas *SUM-JS-48* y *SUM-JS-50*, como las capas de ceniza *SUM-JS-49* y *SUM-JS-51*, son muy similares entre sí y no son del volcán Sumaco.



Figura 3.23 Recolección de la muestra “SUM-JS-48”, en la sección “Cedros”. La muestra de ceniza es fina, con varios líticos de pómez. Es muy similar a la muestra “SUM-JS-50”, de la sección Linares.

3.2.2.8.2 Sección Borja

En la parroquia San Francisco de Borja, cantón Quijos, provincia de Napo. Se realizó dos secciones estratigráficas ubicadas en la vía que conduce a la parroquia de Sumaco, tomando la intersección a mano derecha, a la orilla del río Borja.

La primera sección estratigráfica, se localiza en las coordenadas (UTM) 187391/9958464, 1708 msnm. En esta sección se ha identificado lentes intermitentes de ceniza fina color gris (*SUM-JS-46*) (Figura 3.25). Al tope de la sección se tiene un nivel de suelo color café, tiene una potencia de 30 cm. Bajo este nivel de suelo, se tiene entre 10 a 12 cm de un nivel con lentes grises de ceniza fina; los lentes son intermitentes. A la base del depósito hay

otro nivel de suelo color café de 15 cm de espesor el cual sobreyace a una capa de rocas silíceas de color entre blanco – anaranjado (Figura 3.24).



Figura 3.24 Sección estratigráfica Borja, se identifica un nivel de lentes grises intermitentes de ceniza fina (SUM-JS-46). (18M 187391/9958464, 1708 msnm / WGS84-18S).

La capa de ceniza (SUM-JS-46) presenta pómez blanca (25%) de forma subangular – subprismático. En cuanto a la composición mineral, la muestra presenta cristales de plagioclasa, hornblenda y biotita. Es posible reconocer obsidiana color negro de un tamaño de 0.2 mm.

La segunda sección estratigráfica “Ciénega” se localiza en las coordenadas (UTM) 186979/9951021, 1689 msnm. El lugar es un sitio pantanoso, que se encuentra cubierto de cieno. Lo pantanoso alude a la abundancia de charcos y lodo. En esta sección se ha identificado una capa de ceniza muy fina color gris claro (SUM-JS-47).

Al tope de la sección se tiene una capa de suelo color negro de 4 cm de espesor. Bajo esta capa de suelo se tiene un nivel de ceniza muy fina, es de color gris claro con espesor de 20 cm. A la base de la sección se tiene otro nivel de suelo muy rico en materia orgánica, es de color café oscuro a negro y tiene una potencia de 80 cm (Figura 3.26).

La capa de ceniza fina (*SUM-JS-47*) presenta una gran cantidad de cristales (85% de su volumen) de hornblenda, piroxeno, plagioclasa, biotita incolora y cuarzo. La cantidad de pómez blanca es baja (7% de volumen). La muestra presenta líficos de obsidiana negra de un tamaño de 0.2 mm.



Figura 3.25 Sección estratigráfica Borja, se observa los lentes grises intermitentes de ceniza fina

En resumen, las capas de ceniza detalladas en las secciones ubicadas al Nor-occidente del volcán Sumaco no poseen una relación composicional con las capas de ceniza del volcán Sumaco. Es posible que éstas capas de ceniza se relacionen con volcanes ubicados en el valle de Cosanga y Quijos (Knight et al., 2011; Hall, M & Mothes, P, 2012).



Figura 3.26 Sección estratigráfica Ciénega, se ha identificado un depósito de ceniza muy fina (SUM-JS-47), color gris claro intercalada con niveles de suelo muy oscuro. (18M 186979/9951021, 1689 msnm / WGS84-18S).

3.2.3 Correlación petrográfica de las cenizas volcánicas: su interpretación y significado

Para el análisis petrográfico, se cuenta con un total de 17 muestras de ceniza relacionadas con el volcán Sumaco de las cuales 8 corresponden a muestras recolectadas cerca de la comunidad Pacto Sumaco, 5 muestras recolectadas en la comunidad 8 de Diciembre, 2 muestras coleccionadas en la comunidad Boca del Suno y 2 muestras recolectadas en el sector de Karutambo.

La descripción de cada una de las muestras de ceniza se encuentra en ANEXO V según los aspectos petrográficos importantes que se han mencionado en la sección 3.2. Se elaboró una tabla (Tabla 7) para tener una mejor visualización y utilización de los datos, facilitando la identificación de marcadores que permitan correlacionar las muestras entre sí. En la Figura 3.8, se presenta la ubicación geográfica, sólo Sur y Este de todas las muestras analizadas en este trabajo.

3.2.3.1 Carácter petrográfico de las cenizas del Sumaco

Se realizó el análisis de 17 muestras de ceniza distribuidas en lugares tanto proximales como distales al volcán Sumaco. Se debe tomar en cuenta que existen factores que influyen en la calidad de los depósitos de ceniza ya que nos encontramos en un lugar geográfico muy vulnerable a alteración y contaminación por agentes externos como: erosión, clima, precipitación, escorrentías, meteorización mecánica y química, entre otras., los cuales influyen en la buena y mala calidad de los depósitos afectando principalmente a sus componentes.

Es importante considerar el espesor de los depósitos; depósitos con mayor espesor pueden conservarse de mejor manera en comparación con los depósitos pequeños, que son más vulnerables a la erosión.

A continuación, se presenta la tabla resumen de la descripción de las muestras coleccionadas. La descripción se la realizó utilizando los parámetros ya mencionados en la sección 3.2.

Tabla 7. Resumen de la composición y descripción de las capas de ceniza coleccionadas en sitios accesibles al volcán Sumaco. Significado de las abreviaturas: AUG: Augita, BIOT: Biotita, BOTR: Botroidal, ESC: Escoria, FRY: Ferrihidrita, FS: Feldespato de K, HC: Hercinita, HBD: Horblenda, LIT: Líticos, MIN: Minerales, POM: Pómez, SRH: Shard, VIDR: Vidrio volcánico, ZRN: Zircón.

SITIO		COMPONENTES				MINERALES LIBRES								COLOR PÓMEZ EN	VIDRIO		
LUGAR	MUESTRA	MIN	POM	VIDR	LIT	AUG	PLAG	HBD	BIOT	FS	HC	ZRN	FRY	AFLORAMIENTO	SHRD	ESC	OBS.
Wild Sumaco	SUM-JS-52	40	50	tr	10	54	40	6						anaranjado	x		
	SUM-JS-53	60	35	tr	5	68	22	10						anaranjado	x		
	SUM-JS-54	63	32		5	39	48	13						anaranjado			
Pacto Sumaco	SUM-JS-55	42	47	tr	11	60	36	4						anaranjado	x		
	SUM-JS-56	62	30	tr	8	60	28	12						anaranjado	x		
	SUM-JS-57	65	30		5	39	44	12			5			anaranjado			
El Desbanque	SUM-JS-43	40	30		30	28	65		1		3		3	anaranjado			
	SUM-JS-44	12	70		15	20	80							blanco			
8 de Diciembre	SUM-JS-17	43	48	tr	9	58	39	3						anaranjado	x		
	SUM-JS-18	64	28	tr	8	57	40	3						blanco	x		
	SUM-JS-19	65	30		5	43	44	10			3			anaranjado			
	SUM-JS-20	48	30		22	36	61		tr		3			anaranjado			
	SUM-JS-21	18	67		15	20	80							blanco			
Boca del Suno	SUM-JS-12	80		3	17	39	48		1	3		3	2	-	x		
	SUM-JS-15	42	48	1	9	23	43		28				6	café			
Karutambo	SUM-JS-22	45	50	5		25	60	15						blanco	x	x	
	SUM-JS-24	45	53	2		30	42	25	3					anaranjado			

3.2.3.2 Correlación e identificación de rasgos característicos

Se eligió los siguientes criterios para agrupar las diferentes muestras de ceniza: la posición estratigráfica, las características macroscópicas importantes, la mineralogía, el contenido total de minerales con respecto al contenido de pómez. Estos son buenos parámetros al momento de correlacionar e identificar alguna relación entre las muestras. El contenido de vidrio en casi todas las muestras es muy bajo por lo cual este criterio de correlación ha sido descartado.

Usando los parámetros de correlación podemos decir que las muestras recolectadas en Lodge Wild Sumaco y Pacto Sumaco tienen una gran similitud en aspectos característicos principales como el tamaño de la pómez, el tamaño de los líticos y el contenido mineral.

Al analizar la posición estratigráfica de las capas de ceniza y las características macroscópicas importantes se puede evidenciar una correlación importante entre las cenizas recolectadas en la zona de "Pacto Sumaco" con las cenizas recolectadas en la Comunidad "8 de Diciembre. En la comunidad 8 de Diciembre, ha sido posible identificar cinco capas de ceniza, igual que en la zona de Pacto Sumaco (Figura 3.28)

Tomando en cuenta las muestras coleccionadas en las 3 secciones: Wild Sumaco, Pacto Sumaco y El Desbanque, la potencia de las capas de ceniza en ambos sitios difiere debido a la posición geográfica respecto al volcán, proximal y distal respectivamente (Figura 3.28). Las capas de ceniza correlacionadas presentan líticos con mayor tamaño en las partes proximales al volcán (Lodge Wild Sumaco), que disminuye hacia las partes distales (8 de Diciembre) (Figura 3.27 A). Este mismo comportamiento presenta la pómez (Figura 3.27 B).

La mineralogía de los productos es similar. En las muestras existe una relación en el contenido mineral principalmente de augita con un porcentaje composicional entre el 20 y 68% del total de la muestra. El mineral hornblenda se encuentra en la mayoría de las muestras, con un porcentaje composicional entre 4 – 13%. Igualmente se tiene una relación con el tamaño de pómez, líticos y la presencia de fragmentos de carbón vegetal, este último presente, de manera considerable, tanto en la muestra SUM-JS-44 y en la muestra SUM-JS-21, perteneciente a las secciones "Pacto Sumaco" y "8 de Diciembre", respectivamente.

En las otras muestras de ceniza, exceptuando las muestras ya mencionadas, no es posible identificar un patrón característico que nos permita correlacionar las muestras entre sí. Así mismo, no se ha podido correlacionar con otras capas de cenizas correspondientes a erupciones de otros centros volcánicos que han ocurrido en el país. Esto se ha descartado

debido a que las capas de ceniza descritas en este trabajo presentan un alto contenido en el mineral augita. Dicha característica no es encontrada en los depósitos de ceniza de otros edificios volcánicos como Cotopaxi, Pululahua, Quilotoa, Ninahuilca, considerados y detallados en el trabajo de Vallejo (2011), estos volcanes presentan una composición dacítica y andesítica. Así mismo, se descarta que estas capas de ceniza guarden relación con volcanes más cercanos a la zona de estudio como el volcán Reventador cuyas lavas son de composición calco-alkalina.

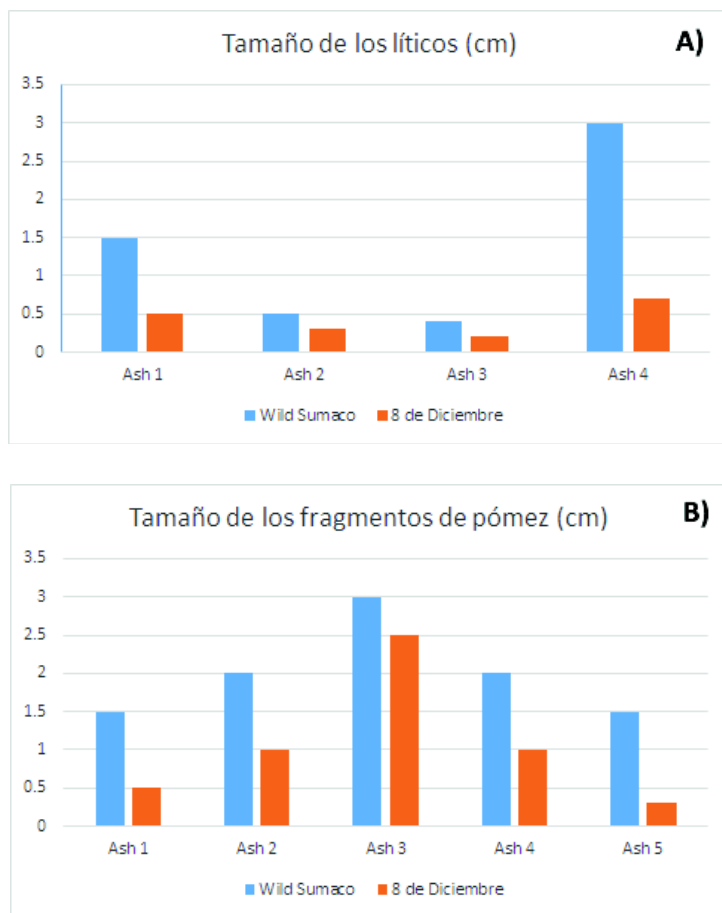


Figura 3.27 Gráfico de columnas que representan el diámetro de los líticos de roca (A) y pómez (B) pertenecientes a las capas de ceniza caracterizadas en las secciones: “Wild Sumaco” y “8 de Diciembre”. Las capas de ceniza han sido correlacionadas en el presente trabajo. Ambas secciones se encuentran en una zona proximal y distal, respectivamente. La capa de ceniza Ash 5 no presenta líticos.

Correlación Estratigráfica entre las secciones: Wild Sumaco, El Desbanque y 8 de Diciembre

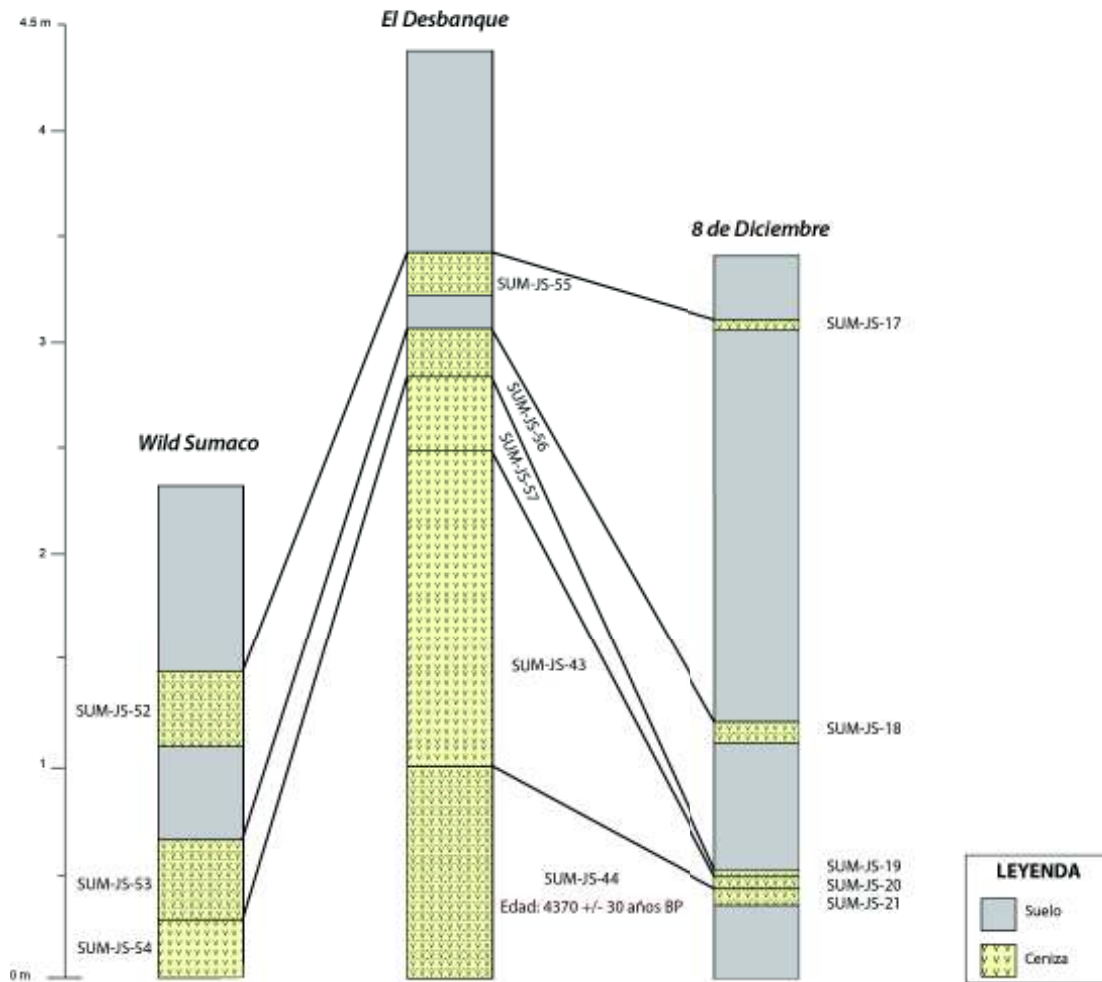


Figura 3.28 Correlación Estratigráfica entre las secciones: "Wild Sumaco", "El Desbanque – Pacto Sumaco", "8 de Diciembre", las cuales se elaboraron en el presente estudio. La sección "El Desbanque" permite extender hacia abajo la sección elaborada en Pacto Sumaco. Las 5 capas de ceniza presentes en la sección 8 de Diciembre se correlacionan con las 5 capas de ceniza identificadas en la sección El Desbanque. Asimismo, las 3 capas de ceniza de la sección Wild Sumaco se correlacionan con las 3 capas de ceniza más recientes de las secciones El Desbanque y 8 de Diciembre. La capa de ceniza SUM-JS-44 tiene una edad ^{14}C de 4370 +/- 30 años AP.

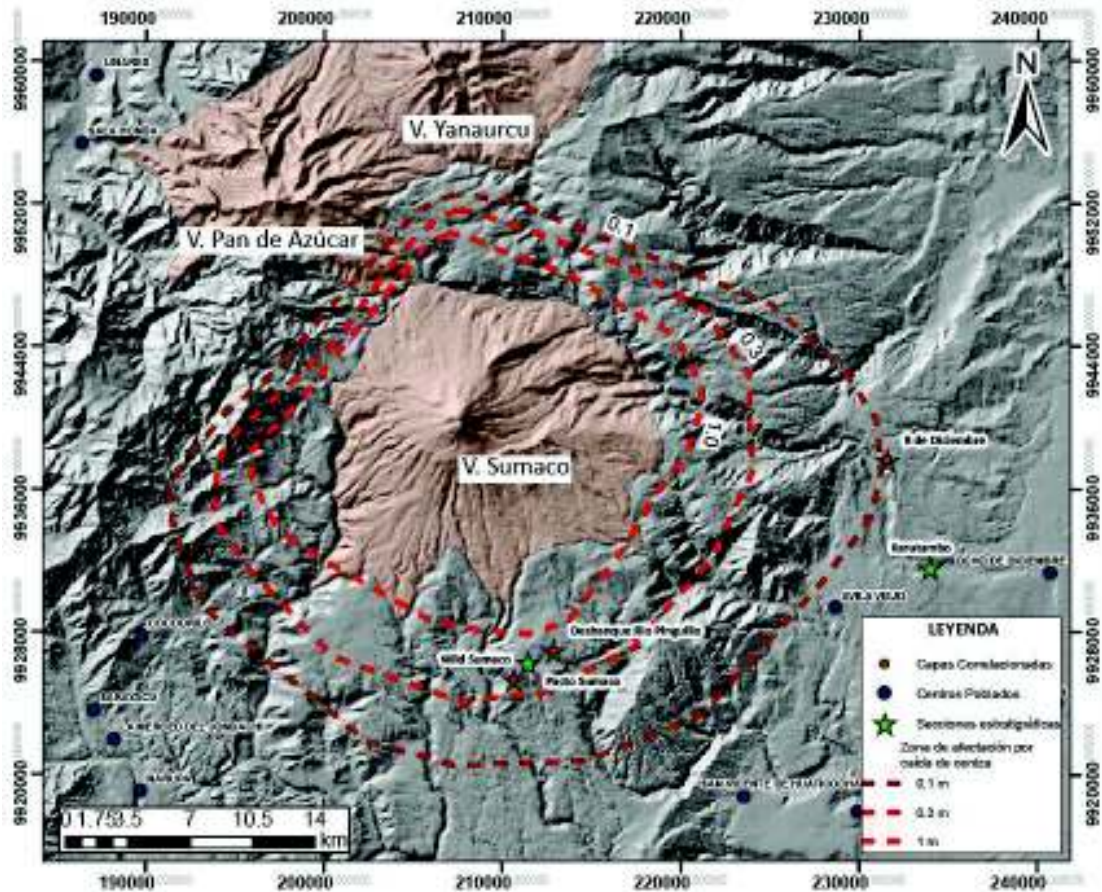


Figura 3.29 Mapa de espesores promedio de las 5 capas de ceniza identificadas tanto al Sur (Lodge Wild Sumaco y Desbanque) como al Este (8 de diciembre) del volcán Sumaco. Las líneas cortadas representan isópacas construidas en base al espesor de las capas de ceniza correlacionadas en este estudio (Figura 3.27). Las capas de ceniza en la zona de “8 de Diciembre” presentan un menor espesor. El mapa ha sido elaborado tomando en cuenta que en la zona nor-occidental del volcán no ha sido posible encontrar capas de ceniza de fuente el volcán Sumaco.

3.3 Descripción geológica de los productos volcánicos pertenecientes al Sumaco

Las diferentes campañas de campo realizadas en los alrededores del volcán Sumaco nos han permitido identificar, caracterizar y describir varios depósitos volcánicos pertenecientes al volcán, como lahares, depósitos de avalancha de escombros, lavas y flujos piroclásticos.

Cada depósito volcánico ha sido descrito considerando: la ubicación, litología (incluye descripción de componentes y tamaño de grano), espesor, textura del depósito, origen y relación estratigráfica.

La descripción petrográfica a detalle y la geoquímica de los productos volcánicos serán tratadas en el siguiente capítulo.

3.3.1 Depósitos de Flujo de Lodo y Escombros (Lahares)

3.3.1.1 Karutambo

En el sector de Karutambo, caminando por las orillas del Río Suno, ha sido posible identificar un depósito que parece ser la parte lateral de un lahar perteneciente al volcán Sumaco. El depósito se encuentra en las coordenadas (UTM) 18S 234090 / 9931615, 563 msnm.

El afloramiento, se encuentra a 100 metros siguiendo la carretera de la Hostería Karutambo, en la margen izquierda del río Suno, al Sur-Este del volcán. El lahar se encuentra ~ 80 cm sobre el nivel actual del río.

El depósito es homogéneo, de matriz soportada, rico en cristales y posee unos lentes de material tamaño de grano arena más gruesos que otros; es muy compacto y se encuentra meteorizado. En el depósito, no ha sido posible observar bloques. Sin embargo, líticos de composición basáltica han sido identificados en la matriz.

La matriz está formada por ceniza gruesa con componentes líticos basálticos de color gris oscuro. Los líticos son subangulares - subprismáticos con tamaño de hasta 1cm y se caracterizan por poseer fenocristales de piroxeno y pocos de plagioclasa, varios se encuentran oxidados y algunos presentan una vesicularidad de media hasta alta.

La matriz rica en cristales contiene minerales de augita, plagioclasa, anfíbol (hornblenda?) y pequeños cristales de hercinita. Los cristales de hercinita son de color negro, opacos, con brillo vítreo, sin clivaje, con hábito granular y fractura concoidea. Además, presenta

varias partículas oxidadas con tonalidades rojizas cuyo volumen presente en la muestra es bajo (~5% del volumen total).



Figura 3.30 Depósito de lahar de fuente probable el volcán Sumaco, muestra SUM–JS-25. Afloramiento ubicado en la zona de Karutambo – orilla del río Suno. (234090/9931615, 563 msnm/ UTM WGS84-18S).

Tabla 8. Descripción simplificada del análisis bajo lupa binocular de la muestra SUM-JS-25, obtenida del sector de Karutambo. El depósito corresponde a la parte lateral de un flujo de lodo del volcán Sumaco.

NOMBRE	COMPONENTES					CRISTALES LIBRES				COLOR PÓMEZ EN AFLORAMIENTO
	MIN	POM	VID	LIT	OTROS	PLAG	AUG	HBD	HC	
SUM-JS-25	63	10		22	5	40	32	25	3	blanco

Bajo el depósito de lahar (SUM-JS-25) se encuentra un nivel de material muy heterogéneo. Este se encuentra formado por una mezcla de líticos, ceniza de tamaño de grano arena color café oscuro. Los clastos (alrededor del 20 - 30%) en su mayoría son redondos, producto del transporte.

El contacto entre estas dos capas es brusco, generando una idea de la energía del depósito. No se observa gradación ni estratificación.

3.3.1.2 Puente de la ciudad de Loreto, provincia de Orellana

La sección estratigráfica “Puente Loreto”, se encuentra en la entrada Sur de la ciudad de Loreto, provincia de Orellana. Es un corte realizado por la carretera principal E-20 o también conocida como carretera Jondachi-Loreto-Coca. El afloramiento se ubica en la carretera principal antes de cruzar el puente sobre el río Suno. Esta sección se encuentra en las coordenadas: (UTM) 18S 242753/9922926, 411 msnm.

En el afloramiento es posible apreciar un depósito de lahar proveniente del volcán Sumaco (Figura 3.31). El depósito es de color gris medio matriz soportado; aparentemente homogéneo compuesto principalmente por bloques basálticos alcalinos de un tamaño < 2 metros. Las rocas poseen una estructura masiva y textura porfirítica.



Figura 3.31 Columna estratigráfica elaborada en la sección Puente Loreto. (242753/9922926, 411 msnm/ UTM WGS84-18S).

El depósito es rico en matriz muy densa y compactada, lo cual indica que la matriz no pudo ser diluida. Está compuesto por un ~75% de matriz, de color gris con un tamaño de grano de arcilla – arena fina, sin la incorporación de cantos rodados.

La matriz del depósito está compuesta por pómez de color blanco con un tamaño de 0,5 mm. Además, contiene líticos de composición basáltica con tamaño variable entre 0.3 hasta 0,5 mm. Dentro de los componentes minerales se tiene piroxeno, plagioclasa, anfíbol; en menor cantidad cristales de biotita y pequeños cristales negros, granulares, con fractura concoidea de hercinita. La matriz no contiene vidrio volcánico.

Al tope del flujo se tiene una capa de turba con un espesor ≤ 4 cm (Figura 3.33), la cual fue coleccionada (SUM-JS-30) y enviada al laboratorio Beta Analytic en Miami, Florida – USA; obteniendo una edad radiocarbono de 25310 +/- 100 años BP.

Sobre esta capa se observa un nivel de material clasto-soportado cuyo origen no se pudo interpretar. La mayoría de los clastos son redondeados de tamaño ~ 50 -70 cm, con muy poca matriz. El tamaño de los clastos es menor en la parte superior del depósito, a lo que se ha llamado como zona de transición (Figura 3.33).



Figura 3.32 Capa de ceniza volcánica SUM-JS-31, tope de la sección Puente Loreto.

En la parte superior de la sección, sobre el nivel de conglomerados, se tiene una capa gris de ceniza volcánica (SUM-JS-31) muy compactada de tamaño arena – limo que posee clastos angulares posiblemente del volcán Sumaco, de tamaño ~ 1,5 m. Este nivel de

ceniza está compuesta por pómez de color café y gris. La composición mineral comprende cristales de augita, plagioclasa, hornblenda y trazas de biotita. Los líticos son de composición basáltica de hasta 3 cm (Figura 3.32).



Figura 3.33 Columna estratigráfica correspondiente a la sección Puente Loreto, se puede evidenciar la matriz densa del depósito lahárico. Al tope del depósito (flecha negra), se tiene un nivel de restos de madera carbonizada, que obtuvo una edad de 25 310 +/- 100 años BP.

En el tope de la columna estratigráfica se tiene una capa de material volcánico de tamaño ceniza gruesa (SUM-JS-32) que contiene clastos de roca dispersos mucho más redondeados que los presentes en el nivel inferior (SUM-JS-31). Los clastos son de la composición de las rocas del volcán Sumaco. Este depósito es de color ocre y está compuesto por pómez blanca. La muestra no contiene mucha cantidad de vidrio volcánico (~ 2%).

Dentro de los componentes minerales se tiene cristales de augita, plagioclasa, hornblenda y en menor cantidad cristales de biotita. Los líticos son de composición basáltica alcalina de color gris oscuro de un tamaño entre 3 hasta 9 mm.

Sobre la capa SUM-JS-32 yace un nivel de suelo color castaño de 0.80 metros de espesor. Sobre este nivel de suelo se observa una intercalación entre suelo con pocos clastos redondeados de origen el volcán Sumaco. Los clastos son relativamente pequeños, algunos con vesicularidad media y de color gris oscuro.

Este depósito se encuentra justo en la parte superior de la columna estratigráfica y aparentemente puede ser considerado como un depósito distal de un lahar proveniente del volcán Sumaco (Figura 3.34).



Figura 3.34 Tope de la columna estratigráfica “Puente Loreto”. Sobre el nivel de suelo orgánico color café, se observa un aparente depósito de lahar perteneciente al volcán Sumaco. (242753/9922926, 411 msnm/ UTM WGS84-18S).

3.3.2 Depósitos de Flujos Piroclásticos

Se ha identificado dos depósitos de flujos piroclásticos ubicados al margen izquierdo del río Suno, al Suroriente del volcán Sumaco. Ambos depósitos aparentemente son similares y se encuentran a una distancia entre 33 a 40 km del viento actual (Figura 3.35).

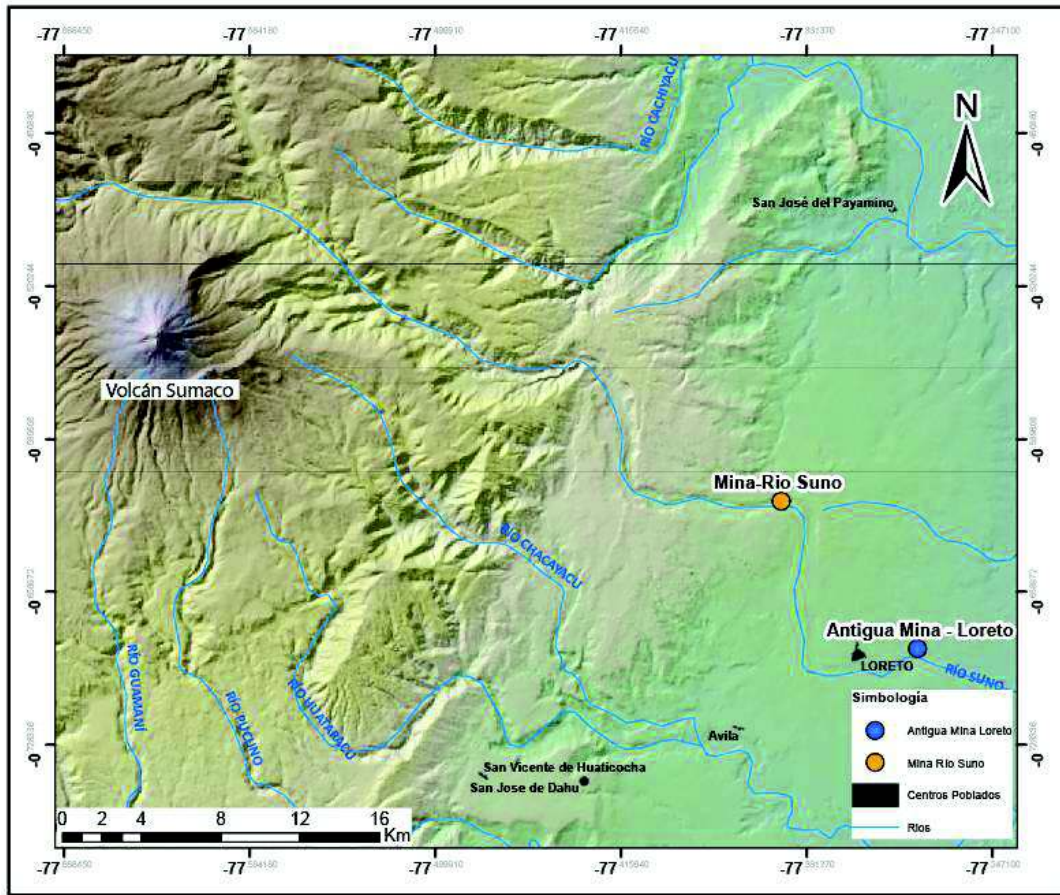


Figura 3.35 Mapa de ubicación de los depósitos de flujos piroclásticos caracterizados en el presente trabajo. Los depósitos se encuentran a una distancia entre 33 a 40 km del viento actual del volcán

3.3.2.1 Antigua Mina - Loreto – Vía hacia Puerto Murialdo

Al este de la ciudad de Loreto, siguiendo la vía que conduce a Puerto Murialdo, se localiza una antigua mina de material pétreo. En la parte lateral de la mina se encuentra un afloramiento de aproximadamente 8 metros de altura, en las coordenadas (UTM) 18S 246150 / 9924246, 363 msnm, a una distancia de ~40 km del viento actual. En el afloramiento ha sido posible identificar un depósito de flujo piroclástico cuya fuente es el volcán Sumaco.

El depósito es homogéneo, matriz soportado (80 – 90 % de matriz), deleznable y cuenta con una cantidad baja de material arcilloso (10 – 20 %). Presenta una apariencia de triturado o disgregado y posteriormente ha sido compactado. El espesor mínimo para el depósito es de 2.60 m, y no fue posible observar su base.

La matriz del depósito está formada por ceniza media a gruesa, líticos de composición basáltica (traquibasaltos?) y minerales de augita, plagioclasa y anfíbol; no se observan cristales de hauyna. Los líticos varían entre angulares y redondeados, con vesicularidad baja y tamaño mediano (hasta 3 cm).

Además, el depósito contiene pómez de color blanco y beige. La pómez encontrada en el afloramiento no supera los 0.5 mm con una forma sub-angular y una vesicularidad baja.

La muestra (SUM-JS-16) de los líticos del depósito presenta un contenido en SiO₂ del 51.05 wt% y de K₂O del 2.71 wt%, correspondiente a un traquibasalto.

En el depósito no se distingue material exógeno que pudo haberse incorporado durante el transporte del flujo, tal como material orgánico, detritos fluviales, o material del basamento. La apariencia fragmentada de la matriz, posiblemente pudo haberse formado por cataclasis de los bloques durante su transporte.

Este depósito no ha sido completamente re-trabajado, ya que se puede identificar la composición de los líticos de fuente el Sumaco. Además, los líticos del depósito se caracterizan por presentar una baja vesicularidad.

Sobre el depósito volcánico se encuentra un nivel de suelo arcilloso – arenoso con una potencia de 0.50 m. Encima se tiene una capa de conglomerados de matriz soportada, con clastos redondeados imbricados propios de un depósito fluvial. El nivel de conglomerados posee un espesor de 1.60 m. Al tope de la sección se tiene otro nivel de suelo orgánico arenoso de color café oscuro con varios rocas redondeados de aproximadamente 1 m de espesor (Figura 3.36).

El aspecto disgregado o triturado de este depósito es muy similar al que presenta el depósito SUM-JS-26, localizado en la Mina del Consejo Provincial de Orellana. Asimismo, presentan una buena relación estratigráfica, ya que son depósitos más jóvenes del volcán posiblemente pertenecientes al Sumaco Reciente (Figura 5.3). Los dos depósitos se localizan al margen izquierdo del Río Suno. La muestra SUM-JS-16 se encuentra más distal en relación al volcán Sumaco e igualmente con referencia a la muestra SUM-JS-26 (Figura 3.35).

Por lo cual, con el objetivo de diferenciar ambos depósitos se ha decidido realizar análisis químicos de ambas muestras de la matriz coleccionadas. Las muestras han sido enviadas al GeoAnalytical Laboratory de la Universidad del Estado de Washington, EEUU.



Figura 3.36 Afloramiento en la comunidad de Boca del Suno, localizado en el margen izquierdo del río Suno. A la base, se observa el posible depósito de flujo piroclástico de composición traquibasáltica, perteneciente al volcán Sumaco. La muestra coleccionada es SUM–JS-16. (246150/9924246, 363 msnm / UTM WGS84-18S).

La muestra SUM-JS-16, perteneciente a la matriz de este depósito, presenta un contenido en SiO₂ del 51.05 wt% y de K₂O del 2.71 wt%. En el diagrama de clasificación TAS (Total Alkali Sílica) (Le Bass et al., 1986) pertenece al campo de traquibasaltos.

Tabla 9. Descripción simplificada del análisis bajo lupa binocular de la muestra SUM-JS-16, obtenida del afloramiento ubicado al margen izquierdo del río Suno, al este de la ciudad de Loreto.

NOMBRE	COMPONENTES					CRISTALES LIBRES					COLOR PÓMEZ EN AFLORAMIENTO
	MIN	POM	VID	LIT	OTROS	PLAG	AUG	HBD	BIOT	FS	
SUM-JS-16 51.05 wt% SiO ₂ , 2.71wt% K ₂ O Traquibasalto	60	30	2	8		48	40	12	0	0	anaranjado

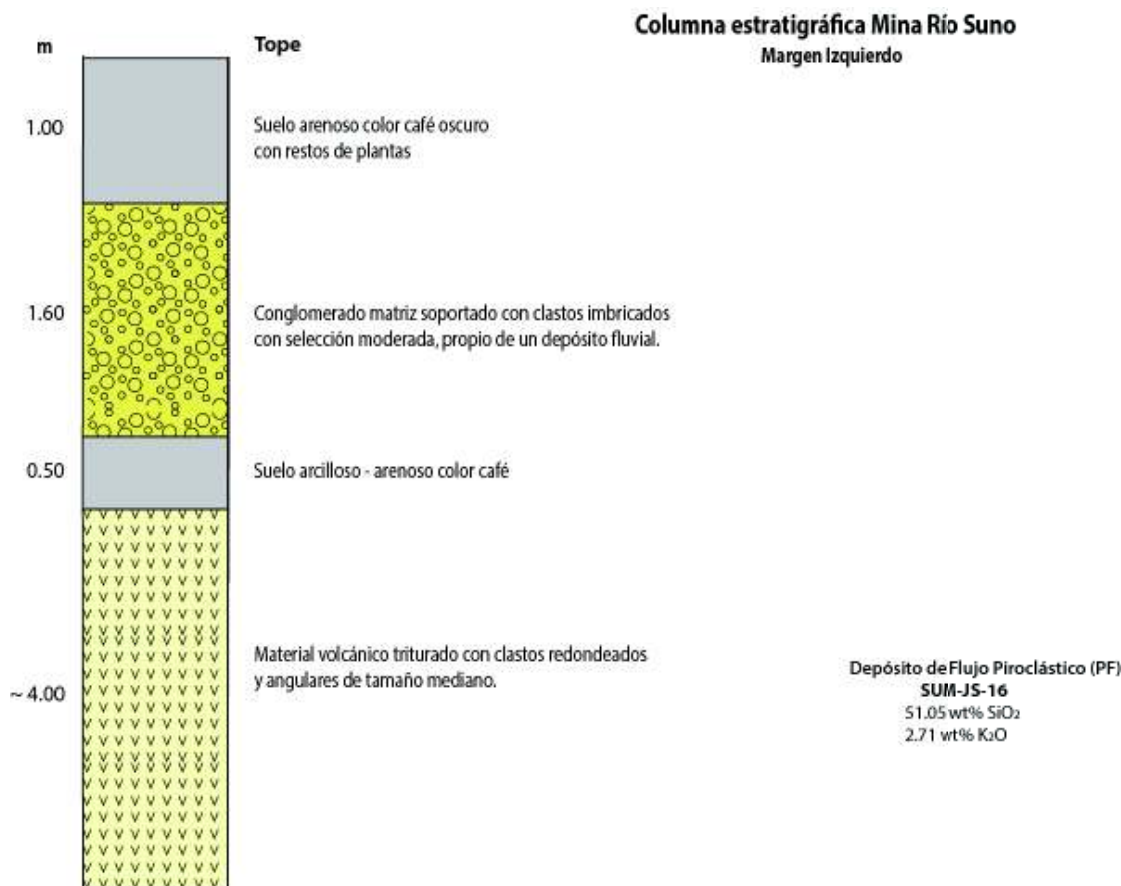


Figura 3.37 Columna estratigráfica elaborada en la sección Mina Río Suno – Loreto, ubicado en la vía que conduce a la localidad de Puerto Murialdo. (246150/9924246, 363 msnm / UTM WGS84-18S).

3.3.2.2 Mina Consejo Provincial Orellana - Río Suno - Karutambo

En la vía que conduce a la Hostería Karutambo se encuentra la mina perteneciente al Consejo Provincial de Orellana, al margen izquierdo del Río Suno (UTM) 18S 239248/9931636 a una distancia de aproximadamente 33 km del viento actual. En el lugar se observa un afloramiento de ~12 metros de altura donde se puede identificar un depósito de flujo piroclástico con un espesor de 2 metros (Figura 3.38). El depósito es rico en líticos grises de composición basáltica.

El depósito es matriz soportado (85 – 90 % de matriz), se encuentra bien consolidado, de tamaño de grano de arena fina a gruesa, cuenta con una baja cantidad de material arcilloso (10–15 %) y presenta un aspecto de disgregado o triturado que podría asociarse a un alto grado de fragmentación por colisión entre bloques. El depósito no se encuentra completamente re-trabajado; comparativamente se encuentra menos re-trabajado y

presenta una gran similitud con el depósito SUM-JS-16; ambos pueden ser correlacionados estratigráficamente y por medio de componentes. El espesor mínimo para el depósito es de ~2 m.



Figura 3.38 Depósito de flujo piroclástico (SUM-JS-26), ubicado en la mina del Consejo Provincial de Orellana, margen izquierdo del Río Suno. El depósito es de composición traquiandesítico. (239248/9931636, 497 msnm/ UTM WGS84-18S).

La matriz está formada por ceniza fina a gruesa con minerales de augita, plagioclasa y anfíbol. Además, se observa trazas de cristales de biotita color negro-dorado que por su baja cantidad, podrían ser de una fuente externa. Los líticos son subangulares subprismáticos de color gris, composición basáltica y de tamaño entre 0.2 – 0.3 mm. También, el depósito contiene pómez de color blanco y beige con un tamaño de hasta 0.6 mm y una vesicularidad del 10%.

La muestra de los líticos (SUM-JS-26), pertenecientes a este depósito, presenta un contenido en SiO₂ del 57.46 wt% y de K₂O del 3.83 wt%. En el diagrama de clasificación TAS (Total Alkali Sílica) (Le Bass et al., 1986) pertenece al campo de traquiandesitas.

Este depósito es diferente químicamente de la composición de los líticos del depósito volcánico SUM-JS-16, el cual se encuentra localizado en la antigua mina de material pétreo – vía a Puerto Murialdo. El depósito SUM-JS-16 presenta una composición traquibasáltica.

En base al análisis químico, aparentemente, ambos depósitos no pueden ser correlacionados a pesar de presentar una similitud tanto estratigráfica como de componentes. Son depósitos retrabajados y no se encontró otras evidencias en las partes proximales del volcán.

Este depósito volcánico sobreyace al depósito de avalancha nombrado DAE-RS. Y sobre éste (SUM-JS-25), yace una capa de suelo color café con varios clastos redondeados de 1.5 m de potencia (Figura 3.38).

Tabla 10. Descripción simplificada del análisis bajo lupa binocular de la muestra SUM-JS-26, obtenida del afloramiento ubicado en la mina del Consejo Provincial de Orellana, margen izquierdo del Río Suno.

NOMBRE	COMPONENTES					CRISTALES LIBRES					COLOR PÓMEZ EN AFLORAMIENTO
	MIN	POM	VID	LIT	OTROS	PLAG	AUG	HBD	BIOT	HC	
SUM-JS-26 57.46 wt% SiO ₂ , 3.83 wt% K ₂ O Traquiandesita	55	30		15		50	43	11	1	5	blanco

3.3.3 Depósitos de las Avalanchas de Escombros del Volcán Sumaco (DAE-SUM)

Durante las campañas de campo realizadas en la zona de estudio, se pudo identificar cuatro depósitos de avalanchas de escombros, las cuales se denominan: DAE-RS, DAE-CHC, DAE-LP y DAE-GM.

Los mismos se presentan a continuación:

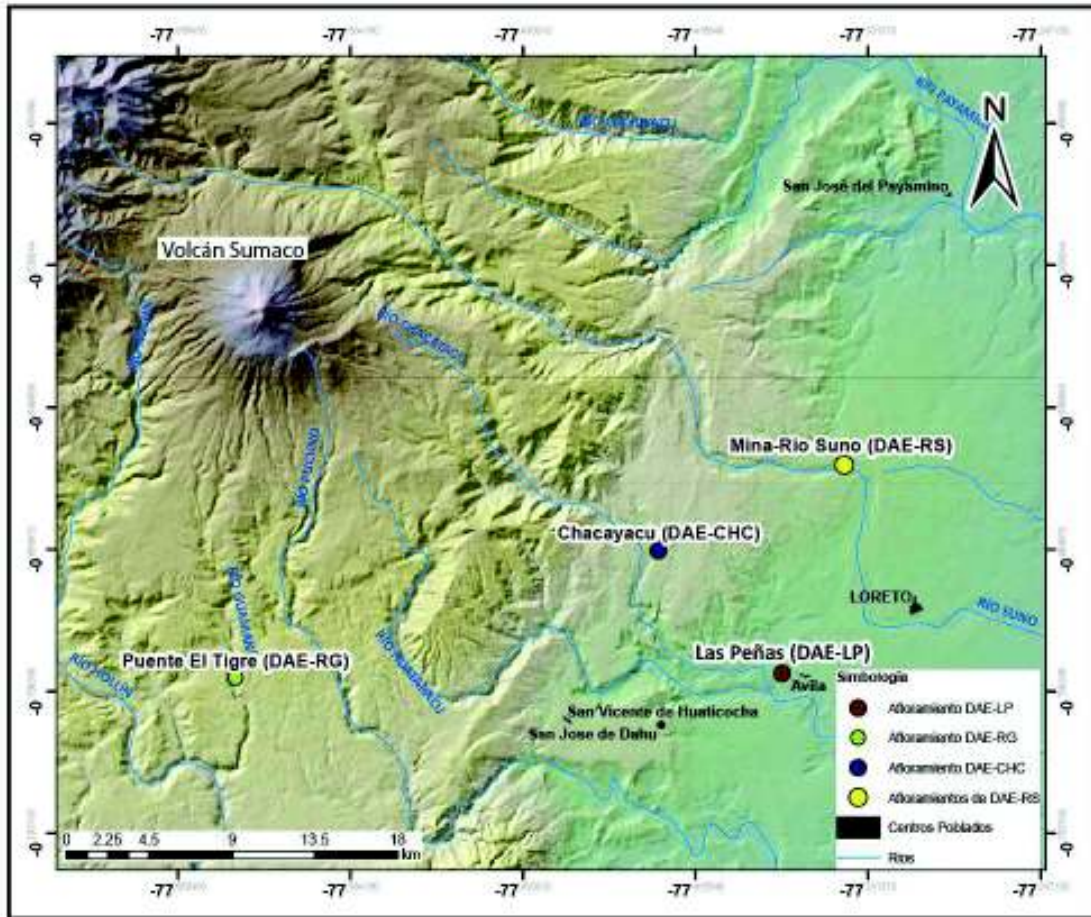


Figura 3.39 Mapa de la zona de estudio, con los principales afloramientos pertenecientes a los depósitos de avalanchas de escombros: DAE-RS, DAE-CHR, DAE-LP y DAE-RG.

3.3.3.1 Avalancha de escombros volcánica sureste (DAE – RS)

Los depósitos de avalancha de escombros provenientes del volcán Sumaco denominados DAE – RS afloran hacia el Sureste del viento del edificio actual. Los principales afloramientos se encuentran entre 27 y 33 kilómetros de distancia del viento, y están localizados a las orillas del río Suno, cerca de la comunidad 8 de Diciembre.

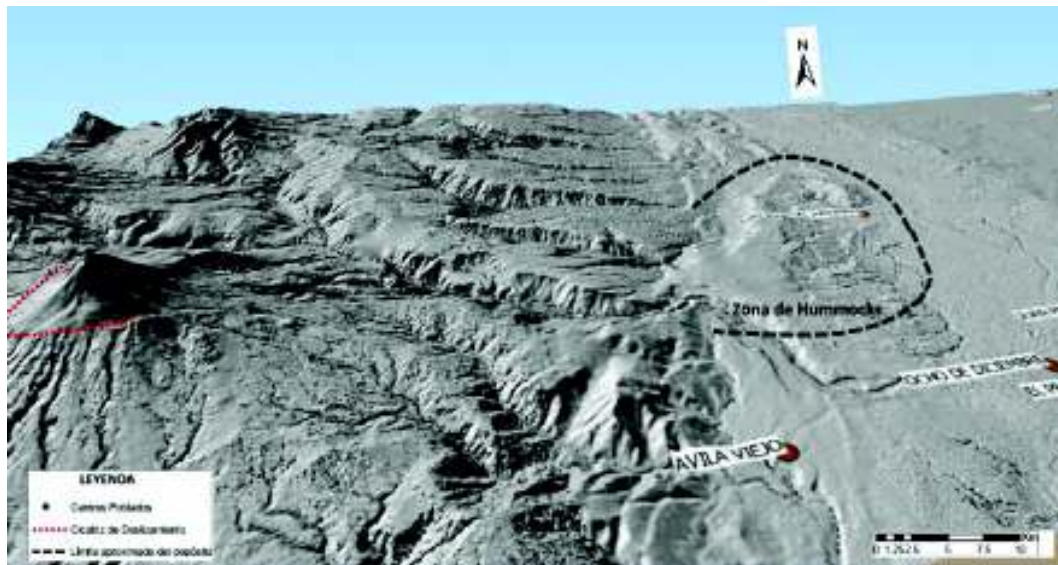
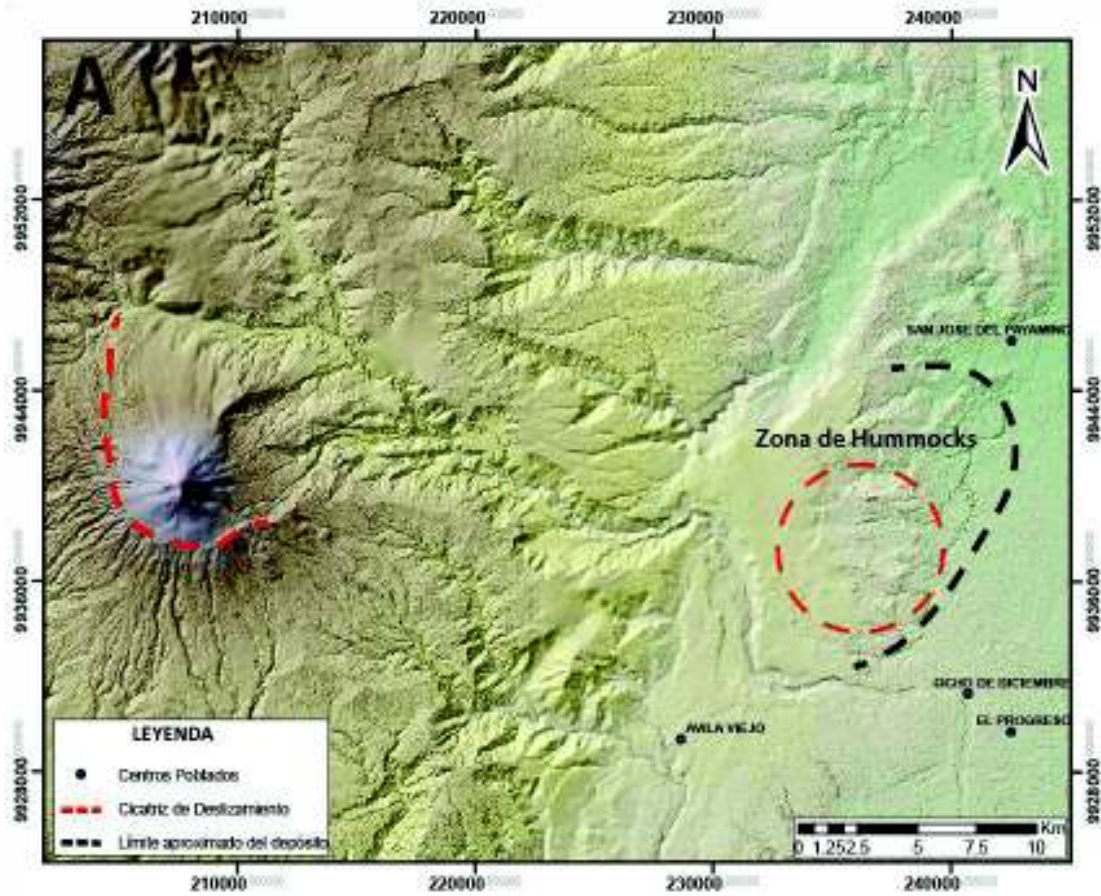


Figura 3.40 Esquemas morfológicos de la cicatriz de deslizamiento y la morfología al pie del colapso del edificio volcánico del Sumaco hacia el oriente. El círculo rojo en la imagen A) marca la zona de montículos al este del Sumaco.

Las evidencias morfológicas no son claras en este depósito, la avalancha forma una terraza de aproximadamente 100 m de espesor en la zona conocida como Karutambo y la misma disminuye paulatinamente hacia el Este.

Al oriente del depósito se distingue una morfología similar a hummocks que se extiende unos 30 kilómetros desde la cicatriz de deslizamiento. La morfología de montículos ha sido identificada con un Sistema de Información Geográfica (SIG) mediante un Modelo Digital de Terreno (DEM) y un modelo de sombras en donde se observa este rasgo morfológico cerca de la comunidad de San José de Payamino (Figura 3.40). Esta hipótesis no pudo ser validada debido a que la zona se encuentra cubierta por un bosque primario de más de 30 m de alto y existe únicamente una vía de acceso por lo que no se encuentran expuestos afloramientos de este posible depósito. Por estas razones se deja a futuro el estudio de estos posibles depósitos.

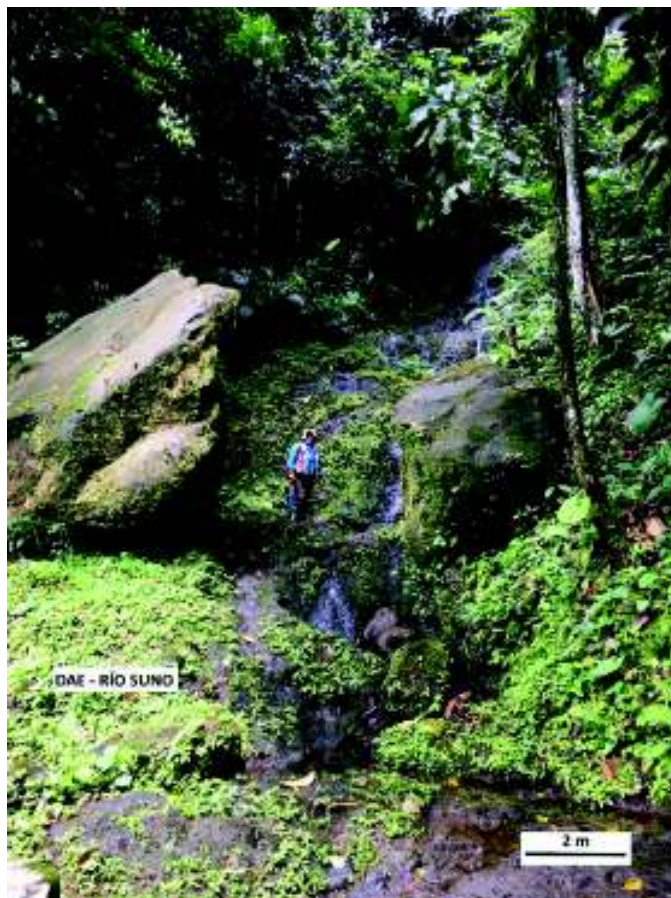


Figura 3.41 Depósito DAE-RS, en la localidad de Karutambo. La potencia de este afloramiento es ~ 10 metros. El tamaño de los bloques basálticos alcalinos, varía entre 3 – 4 metros. El depósito de la avalancha posee un espesor promedio de 100 metros (233824/9937148, 652 msnm / UTM WGS84-18S).

- **Estratigrafía DAE-RS**

Los depósitos denominados DAE-RS aparecen entre los 552 y 652 msnm, con un espesor promedio de 100 metros. En el sector de Karutambo se caracteriza principalmente por presentar clastos angulosos de gran tamaño aproximadamente 3 – 4 metros (Figura 3.41). En este lugar, se observó un afloramiento de brecha de avalancha justo al nivel del río Suno (552 msnm), siendo posible observar su base (Figura 3.43).

En el afloramiento ubicado en la antigua mina del Consejo Provincial de Orellana, al margen izquierdo del Río Suno (UTM) 18S 239248 / 9931636, se observa el depósito con varios clastos de tamaño entre 1–2 metros con una zona transicional en la parte superior. La zona transicional comprende una matriz clara con tonalidades anaranjadas; el tamaño de grano del depósito es de arena y contiene clastos viejos heterogéneos (areniscas, granitos) (Figura 3.42). El depósito no contiene material juvenil.



Figura 3.42 Depósito DAE-RS, ubicado en la antigua mina del Consejo Provincial de Orellana. La potencia de este afloramiento es ~ 12 metros, con un tamaño de los bloques entre 1 - 2 metros. Al depósito sobreyace un nivel de material volcánico disgregado (SUM-JS-26), de composición traquiandesita (239248/9931636, 497 msnm/ UTM WGS84-18S).

La matriz contiene líticos sub-angulares de composición basáltica, como también areniscas pertenecientes a la Formación Hollín de tamaño 0.6 – 0.4 mm. En cuanto a la composición mineral, la matriz contiene cristales de plagioclasa, piroxeno y trazas de biotita que al no ser abundante pudo haberse incorporado de una fuente externa.

Sobre este depósito yace una capa de material volcánico disgregado nombrada como SUM-JS-26, correspondiente al flujo piroclástico Mina Consejo Provincial Orellana (Figura 3.38). El depósito es de color gris y presenta una composición de traquiandesita alcanzando un espesor de 1.5 metros.

Seguido se tiene una capa de suelo color café con clastos redondeados de ~1.40 metros de potencia (Figura 3.42). El  nico evento relacionado con la actividad eruptiva del volcán es el depósito de avalancha DAE-RS y la capa superior gris rica en líticos de composición tranquiandesita (SUM-JS-26).



Figura 3.43 Afloramiento DAE-RS con facies de mezcla, localizado a 28 km de distancia del volcán Sumaco, en el sector de Karutambo. El depósito es homogéneo, con un contenido mayor al 90% de matriz (B) y clastos angulares de tamaño 1 metro menor al 10% (A).
(234020/9931532, 552 msnm / UTM WGS84-18S; 24 de enero de 2018).

- **Facies del depósito de avalancha de escombros**

Los depósitos de DAE-RS forman una terraza de alrededor 100 metros de espesor, cuya morfología se encuentra cubierta por una espesa vegetación que no permite observar buenos afloramientos. Los escasos cortes se localizan en la entrada a la Hostería Karutambo en donde un pequeño lecho de río permitió limpiar la vegetación y exponer el depósito; otro afloramiento se ubica al margen izquierdo del Río Suno.

Los cortes muestran facies de mezcla (según la definición de Bernard, 2008) con alrededor del 90% de matriz y el 10% de bloques.

Los depósitos son matriz-soportada, heterogéneos y presentan un mal sorteo. La matriz (aproximadamente 90%) se encuentra bien consolidada, con un tamaño de grano de arena fina a grava gruesa. Es posible identificar algunas concentraciones de matriz con diferente coloración y composición, lo que indica que los bloques incorporados durante el transporte fueron completamente disgregados. Además, es posible observar bloques subangulares y subredondeados que alcanzan un tamaño de hasta 2 metros.



Figura 3.44 Fractura tipo jigsaw-cracks dentro de la facies de matriz del DAE-RS. (Foto: Patricia Mothes, IGEPN; 25 de enero de 2018).

Los bloques presentan fracturas en forma de jigsaw-cracks lo que indica el alto grado de fracturación durante el transporte (Figura 3.44). En la zona de Karutambo, se observan bloques de hasta 4 metros de diámetro; la forma predominante de los bloques es angular-subredondeado.

Petrográficamente, la matriz contiene líticos disgregados de roca basáltica alcalina con un tamaño de hasta 1 cm. Los líticos son de color gris oscuro, subredondeados con una composición similar a las rocas del Sumaco.



Figura 3.45 Madera carbonizada (círculo rojo) usada para datación ^{14}C con una edad > 43 500 años BP, localizada en el afloramiento de la antigua mina del Consejo Provincial de Orellana. (239248/9931636, 497 msnm/ UTM WGS84-18S).

Se observa un contenido en pómez blanca de al menos un 20% de volumen. En composición mineral, la muestra contiene: plagioclasa, piroxeno y hornblenda. Los fenocristales de piroxeno tienen un tamaño de hasta 0.6 mm.

Los clastos de este depósito observándoles macroscópicamente son de color gris oscuro, de textura porfírica, con fenocristales de clinopiroxeno y estructura masiva.

En la muestra de mano no es posible observar fenocristales de feldespatoides. La composición química de los clastos del depósito (SUM-JS-09) es 45.17% SiO₂ y 1.54% K₂O, correspondiente a una tefrita.

Mediante una datación de ¹⁴C se determinó una edad absoluta para los depósitos de esta avalancha. La datación se realizó en un pedazo de madera encontrado dentro de la matriz del afloramiento ubicado en la antigua mina del Consejo Provincial de Orellana (Figura 3.45). La madera estuvo carbonizada y fue enviada al laboratorio Beta Analytic en Miami, Florida – USA; el resultado fue una edad radiocarbono > 43 500 años BP (ANEXO I).

3.3.3.2 Avalancha de escombros volcánica Chacayacu - puente en construcción (DAE-CHC)

Desde la comunidad de Ávila Viejo (18S 229104/9929205, 738 msnm) existe una nueva carretera lastrada que conduce al río Chacayacu. Debido a la construcción de esta vía, se puede observar varios afloramientos. El afloramiento tipo se localiza en las coordenadas (UTM) 18S 229143/9926997, 664 msnm; donde ha sido posible identificar un depósito de avalancha en facies de mezcla de fuente el volcán Sumaco.

El depósito de avalancha de escombros denominado DAE-CHC se encuentra meteorizado y tiene una apariencia relativamente viejo respecto a otros afloramientos de estos depósitos observados en las diferentes campañas de campo. El depósito no posee evidencias morfológicas claras; debido al difícil acceso y a la densa vegetación en la zona no ha sido posible encontrar otros afloramientos.

El afloramiento se encuentra a una distancia de 25 km del viento actual, a las orillas del río Chacayacu, cerca de la población de Ávila Viejo.

Sobre el depósito DAE-CHC ubicado entre los 664 msnm, se encuentra intercalaciones de material re-trabajado con estructuras fluviales de color beige claro; este material tiene aproximadamente 1.80 m de espesor (Figura 3.46).

El corte de DAE-CHC muestra facies de mezcla (según la definición de Bernard, 2008) con material consolidado fino de tamaño de grano arcilla, matriz soportada, de color anaranjado y con un mal sorteo. Se distinguen bloques angulosos, frescos, de composición basáltica alcalina, de tamaño menor a 1 metro (50 - 90 cm). También, se observan bloques redondos exógenos, su composición es variada: areniscas, areniscas de color negro con impregnación de petróleo, lutitas posiblemente pertenecientes a la Formación Napo, y restos de varios centímetros de turba. Los clastos exógenos alcanzan hasta 1 metro de

diámetro (Figura 3.47). No se pudo observar estructuras sedimentarias y los bloques ya no presentan fracturas de tipo jigsaw-cracks.

La avalancha DAE-CHC afectó al basamento debido a la presencia de bloques redondeados exógenos (areniscas de la Formación Hollín y lutitas pertenecientes a la Formación Napo) dentro de la matriz del depósito.

En un análisis petrográfico de la matriz se observa un contenido de pómez blanca y café de al menos un 30%. El contenido mineral no es alto en volumen, presentando cristales de plagioclasa, piroxeno, hornblenda, trazas de biotita y cristales prismáticos verdes aparentemente de apatito. Los cristales de plagioclasa tiene un tamaño de hasta 0.7 mm y los de piroxeno de hasta 0.6 mm.



Figura 3.46 Depósito DAE-CHC con rocas traquíticas pertenecientes al volcán Sumaco. Sobre este depósito se observa una capa de material retrabajado, presenta estructuras fluviales de color beige claro (flecha blanca). (229143/9926997, 664 msnm / UTM WGS84-18S).

Los líticos presentes en la matriz son angulares - sub-esféricos, de color gris y con una composición similar a las rocas del Sumaco. Se observan líticos sub-redondeados de

tonalidades rosadas, los cuales no son muy abundantes por lo que pudieron haber sido incorporados de una fuente externa.

Los clastos del Sumaco presentes en el depósito (de hasta 90 cm) son de color gris oscuro, de textura porfírica y estructura masiva. Se puede distinguir varios fenocristales de piroxeno (augita), de un tamaño entre 0.5 – 0.6 mm; en la muestra de mano, no es posible identificar cristales de minerales feldespatoideos. La muestra de roca SUM-JS-03 tiene una composición química de 43.73 wt% SiO₂ y 1.57 wt% K₂O, correspondiente a una tefrita.

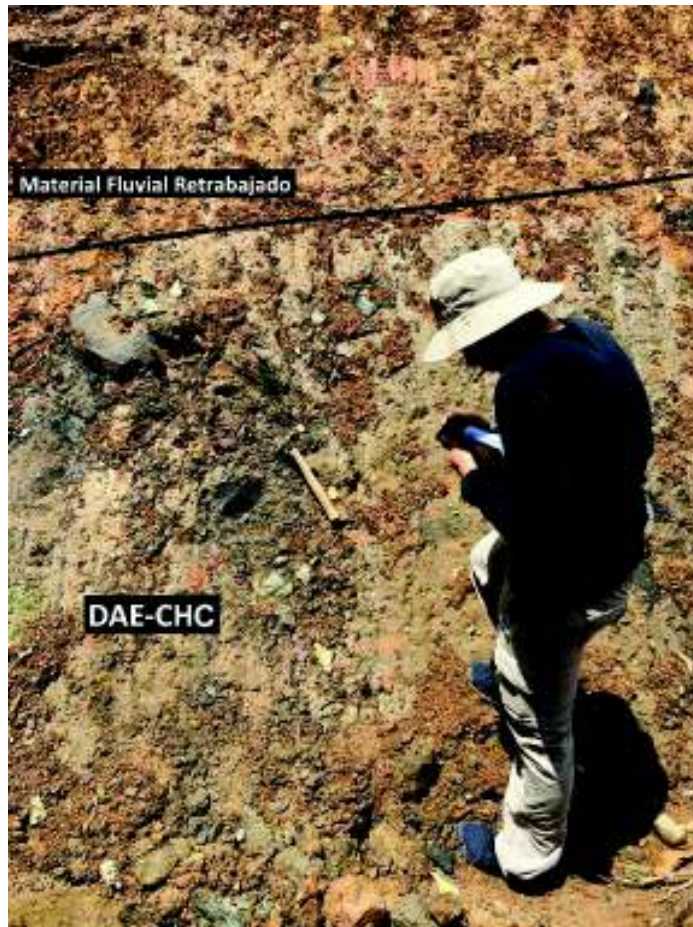


Figura 3.47 Depósito DAE-CHC con facies de mezcla, a 25 km de distancia del volcán Sumaco, localizado en la vía Loreto- Ávila Viejo. El depósito es heterogéneo, con un contenido mayor al 90% de matriz.

3.3.3.3 Avalancha de escombros volcánica sur – río Guamaní - puente “El Tigre” (DAE – RG)

Aproximadamente en el kilómetro 34 de la vía E-20 que conecta a las comunidades de Jondachi-Loreto-Coca se encuentra el puente llamado “El Tigre”, construido sobre el Río Guamaní, principal drenaje Sur del volcán Sumaco.

En este lugar ha sido posible identificar un depósito de avalancha de escombros proveniente del volcán. El afloramiento se encuentra a 25 km de distancia del viento actual, localizado en el valle actual del río Guamaní, cerca de la población que lleva el mismo nombre.

La avalancha de escombros forma una terraza de aproximadamente 80 m de espesor cuya morfología se encuentra cubierta completamente por una vasta vegetación que no permite observar buenos afloramientos (Figura 3.49).

Otras evidencias morfológicas no son claras en este depósito. Es posible observar un flujo de lava de estructura masiva en su base; este depósito se encuentra caracterizado como FL Guamaní (Figura 3.48).



Figura 3.48 Fotografía tomada hacia el margen derecho del Río Guamaní, se observa el flujo de lava Guamaní junto al depósito DAE-RG, ubicado en la parte superior. (206146/9920135, 1071 msnm / UTM WGS84-18S).

El depósito de DAE-RG muestra facies de mezcla, con aproximadamente un 90% de matriz. El material se encuentra muy consolidado, de tamaño de grano de limo a grava, matriz soportada, color gris oscuro y presenta un mal sorteo.

Petrográficamente, el material es roca basáltica disgregada formado posiblemente por colisión entre las rocas de la facies derivadas de la construcción (FBE) (según la definición de Bernard, 2008); se puede observar a simple vista pómez color blanco, de un tamaño de hasta 1 cm (Figura 3.50).



Figura 3.49 Depósito DAE-RG, ubicado en el puente “El Tigre”, al margen izquierdo del río Guamaní. La potencia promedio del depósito es de aproximadamente 80 metros. (206146/9920135, 1071 msnm / UTM WGS84-18S).

La matriz está compuesta por cristales de piroxeno, plagioclasa, hornblenda y en menor cantidad cristales de hercinita. Se observa un contenido de pómez blanca de al menos un 20% de volumen con un tamaño entre 0.5 hasta 1 cm (Figura 3.51).

La matriz presenta líticos grises subangulares - subprismáticos de composición similar a las rocas del Sumaco. Tienen un tamaño entre 0.5 hasta 3 cm. La textura de los líticos es

porfírica. El contenido de partículas oxidadas no es abundante, las partículas son de color rojizo y tienen un tamaño de hasta 0.3 cm.



Figura 3.50 Depósito DAE-RG en facies de matriz, se observa pómez blanca, con tamaño de hasta 1 cm.

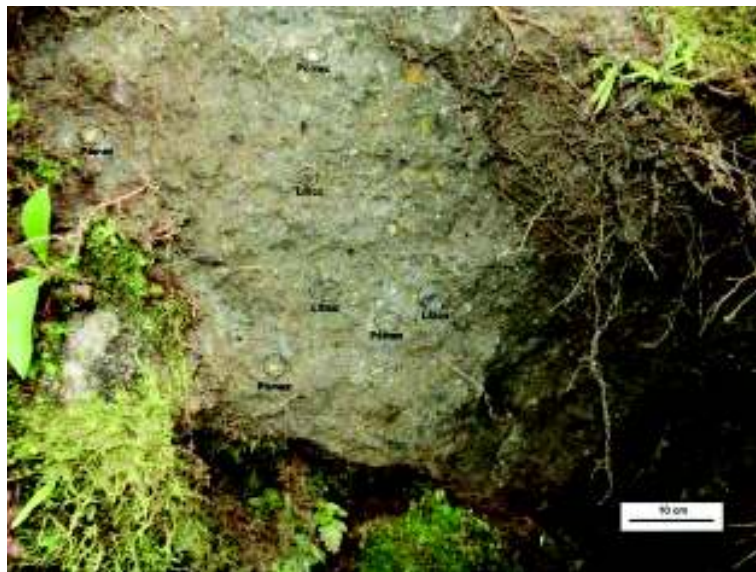


Figura 3.51 Matriz muy consolidada con líticos grises de composición similar a las rocas del Sumaco de hasta 3 cm. La pómez blanca tiene un tamaño de hasta 1 cm. La muestra recolectada pertenece a SUM-JS-34.

Los bloques presentes en el depósito tienen un tamaño entre 3 y 4 metros. Son basaltos alcalinos porfíricos con fenocristales de augita y hauyina. En la muestra de mano, los fenocristales de clinopiroxeno tienen un tamaño de hasta 6 mm y no presentan un tipo de estructura en particular. Por el contrario, los cristales de hauyina tienen un tamaño de hasta 2 mm. No se observó huellas de material exógeno incorporado en el depósito.

3.3.3.4 Avalancha de escombros volcánica Balneario Las Peñas, Vía Las Peñas – El Balcón, Río Huataraco, Margen Izquierdo (DAE-LP)

La zona del Balneario Las Peñas se encuentra ubicada en la orilla del río Huataraco, a su margen izquierdo. El afloramiento tipo, se localiza aproximadamente a 3 km desde la panamericana E-20 siguiendo la vía Las Peñas – El Balcón, en las coordenadas (UTM) 18S 235868 / 9920392 a una distancia de ~38 km del cono actual del volcán Sumaco. En el lugar se puede apreciar un depósito de avalancha de escombros en facies de mezcla.



Figura 3.52 Depósito avalancha de escombros ubicado en Las Peñas, margen izquierdo del Río Huataraco. El depósito contiene una gran cantidad de restos de madera carbonizada, este material no se fechó debido a que el depósito se encuentra muy meteorizado por lo que se considera un depósito viejo. (235868 / 9920392, 387 msnm/ UTM WGS84-18S).

El depósito es de color gris, heterogéneo, matriz soportado, a simple vista muy viejo y presenta un mal sorteo. La matriz tiene un tamaño de grano de arena fina a grava, es posible diferenciar algunas concentraciones de distinta coloración y composición; se encuentra muy consolidado y presenta un alto contenido de restos de madera carbonizada (Figura 3.52).

El depósito de DAE-LP muestra facies de mezcla con aproximadamente un 90% de matriz. El 10% restante lo conforman bloques angulares de composición similar a las rocas del Sumaco.

En el análisis petrográfico de la matriz se observa un contenido de pómez blanca y de color violeta claro. La pómez pudo sufrir algún proceso de alteración y constituye al menos un 70% del volumen con un tamaño que alcanzan los ~ 3.5 cm. La forma predominante de los líticos es subangular subprismática y poseen una vesicularidad media. El contenido mineral es bajo con pocos cristales principalmente de plagioclasa. La muestra también contiene pequeños fragmentos de carbón vegetal. Como mineral accesorio, se identificó biotita dorada que no es abundante por lo que pudo haberse incorporado de una fuente externa.



Figura 3.53 Depósito DAE-LP, localizado en la vía que conduce al Balneario Las Peñas - El Balcón. (235868 / 9920392, 387 msnm/ UTM WGS84-18S).

Los clastos (SUM-JS-41) que están presentes en el depósito son angulosos, de color gris oscuro, de composición basáltica, con textura porfirítica y variablemente con estructura vesicular. Presentan fenocristales de piroxeno de gran tamaño (aproximadamente de 4 mm) con la ausencia de fenocristales de plagioclasa. Algunos clastos conservan estructuras jigsaw-cracks. Todos los clastos del depósito se encuentran levemente meteorizados, el depósito no es fresco. El tamaño de los clastos varía entre 2-3 cm hasta 5-8 cm (Figura 3.53).

El depósito presenta una topografía muy similar a un montículo (hummock) con una fuerte pendiente. Hacia el sureste del depósito (parte más distal respecto al Sumaco) no se encontró evidencias de la avalancha, posiblemente el depósito fue erosionado. En la parte superior del depósito se pudo distinguir material exógeno tipo brecha de tamaño arena y color entre café claro a anaranjado.

Sobre el depósito de avalancha DAE-LP se encuentra una potente capa de “cangahua tropical”. Este depósito es heterogéneo, no presenta estratificación ni laminación, se distingue diversas coloraciones entre café a gris claro y se encuentra constituido por ceniza distal re-trabajada + material fino arcilloso + algunos pequeños clastos sub-redondeados a redondeados muy variados entre arcillas y arenas. Con lo descrito anteriormente no se puede determinar exactamente el origen de este depósito.

3.3.4 Flujos de Lava del Volcán Sumaco

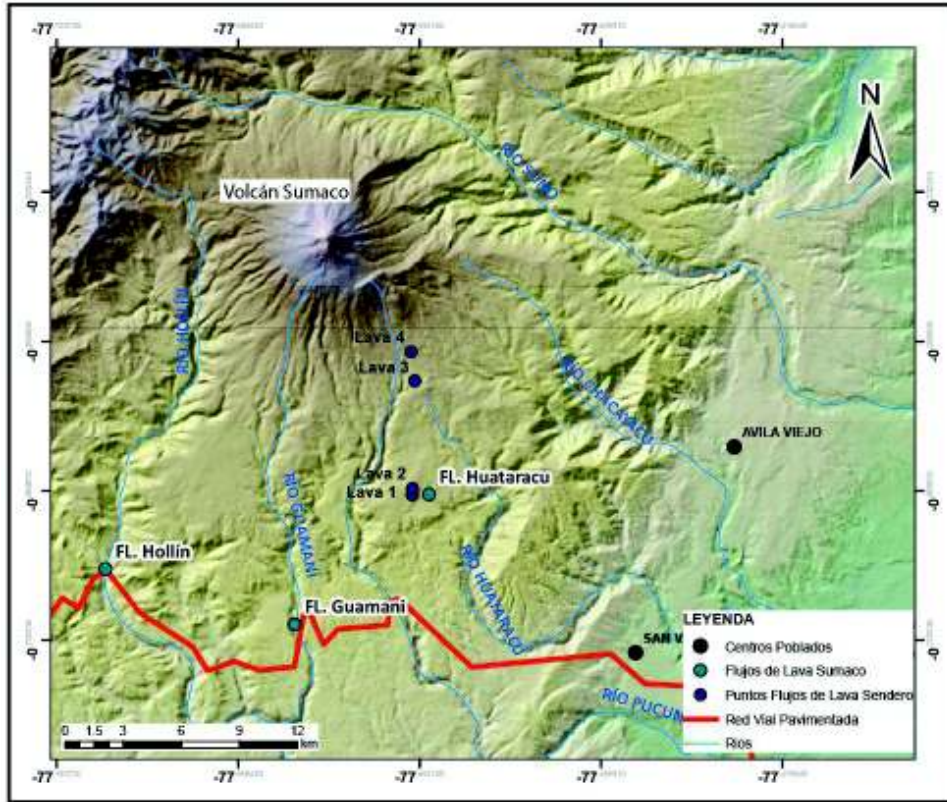


Figura 3.54 Mapa de la zona de estudio con los principales afloramientos de los flujos de lava pertenecientes al volcán Sumaco (FL. Hollín, FL. Guamaní, FL. Huataracu).

Se han identificado al menos 3 flujos de lava ubicados al Sur del edificio (ver Figura 3.54). Los flujos de lava tienen una longitud promedio de 21 km. En general, son flujos de lava poco viscosos que han alcanzado grandes distancias. Estos tres flujos de lava han sido distinguidos petrográficamente, considerando dos grupos de lavas provenientes del Sumaco. En la Figura 3.54 se presenta un mapa de ubicación de los flujos de lava muestreados en este estudio.

3.3.4.1 Flujo de lava río Hollín

Este flujo de lava aflora en la parte media y distal en el flanco Sur-occidental del Sumaco. El flujo de lava fue poco viscoso y avanzó pendiente abajo unos 24 kilómetros aproximadamente.

La localidad se encuentra en el puente sobre el río Hollín, en la carretera E-20 o Jondachi-Loreto-Coca (18S 196117 / 9923056, 1036 msnm). En el lugar, el espesor del flujo de lava no ha sido posible medirlo.

La litología de la muestra SUM-JS- 35 corresponde a una tefrita porfírica (47.35 – 48.66 wt-% SiO₂, según Garrison et al., 2018) con fenocristales de clinopiroxeno de hasta 5 mm. El flujo de lava es masivo y presenta pátinas de oxidación a nivel superficial.



Figura 3.55 Afloramiento tipo del flujo de lava Río Hollín, ubicado en el paradero Hollín. El flujo de lava corresponde a una tefrita porfírica (47-48 wt% SiO₂) con grandes fenocristales del clinopiroxeno augita. (196117 / 9923056, 1036msnm / UTM WGS84-18S)

3.3.4.2 Flujo de lava río Guamaní

Este flujo de lava se encuentra al Sur del edificio, alcanzando una longitud de 21 km. El afloramiento tipo se encuentra en las coordenadas (UTM) 18S 205907/9920215, localizado al margen derecho del Río Guamaní sobre el cuál se encuentra el puente llamado “El Tigre” que conecta la carretera hacia la ciudad de Loreto.

La litología de la muestra SUM-JS-33 corresponde a una tefrita (49.60 wt-% SiO₂). Es un flujo de lava potente de color gris oscuro. Los flujos de lava presentan una ligera pátina de oxidación en su superficie.

Hacia el tope, el flujo se encuentra sobreyacido por un depósito de avalancha caracterizado en la sección anterior como DAE-RG (Figura 3.48).



Figura 3.56 Afloramiento tipo del flujo de lava Guamaní, ubicado al margen derecho del río Guamaní, flanco sur del volcán Sumaco. El flujo de lava es de composición tefrita y presenta grandes fenocristales de augita. (205907/9920215, 1069 msnm / UTM WGS84-18S).

3.3.4.3 Flujo de lava efluente del río Huataracu

Este flujo de lava aflora en la parte Sur del volcán Sumaco. También se caracterizan por ser poco viscosos al recorrer una distancia media de 17 kilómetros medidos desde el viento actual.

El flujo de lava se encuentra en las coordenadas (UTM) 18S 212862 / 9926900 y descendió por un drenaje pre-existente efluente natural del río Huataracu.

La lava alcanza una altura del lecho del río al techo del flujo de aproximadamente 20 metros. En la parte superior del flujo se identificó una roca muy oscura de color negro

(SUM-JS-42). Esta roca ha sufrido meteorización. La forma de desplazamiento del flujo permite que su superficie sea vulnerable a la acción de agentes meteorizantes, teniendo en este caso un nivel de roca meteorizada, de color negro con aspecto deleznable.



*Figura 3.57 Flujo de lava Río Huataracu, flanco sur del volcán Sumaco.
(212862/9926900, 1484 msnm / UTM WGS84-18S)*

Sobre el flujo de lava únicamente se tiene un nivel de suelo orgánico color café de 2 m de espesor. Sobreyaciendo al flujo es posible encontrar toda la secuencia de capas de ceniza caracterizadas en este trabajo como la sección “El Desbanque”, la cual está descrita en la sección 3.2.2.4.

El flujo de lava presenta una litofacies masiva. La litología corresponde a tefrifonolitas porfiríticas con fenocristales de augita de tamaño hasta 7 mm y varios fenocristales alargados de anfíbol con un tamaño de hasta 3 mm.

3.3.4.4 Flujos de lava identificados durante el ascenso a la Laguna Guagua Sumaco

Durante el ascenso a la Laguna “Guagua Sumaco” para la obtención del testigo de perforación SUM – 001, se pudo reconocer cuatro afloramientos de flujos de lava.

Se referenció cada afloramiento con el objetivo de realizar una correlación con los depósitos ya descritos anteriormente.

A cada una de las coordenadas geográficas se les ha nombrado con el sufijo Lava y con un número. Ejemplo: Lava 1,.....y Lava 4.

Los afloramientos de la parte superior (Lava 3 y Lava 4) se correlacionan con el flujo de lava que ha descendido por el drenaje principal del Río Pucuno. En cambio, los afloramientos más distales al volcán (Lava 1 y Lava 2) se localizan sobre drenajes secundarios que nacen del río Huataracu. Por tal razón, se correlacionan con el flujo de lava caracterizado como “Flujo de Lava Río Huataracu”.

En el siguiente mapa se muestra los depósitos de flujo de lava asociados al volcán Sumaco (Figura 3.58), muestreados en este estudio.

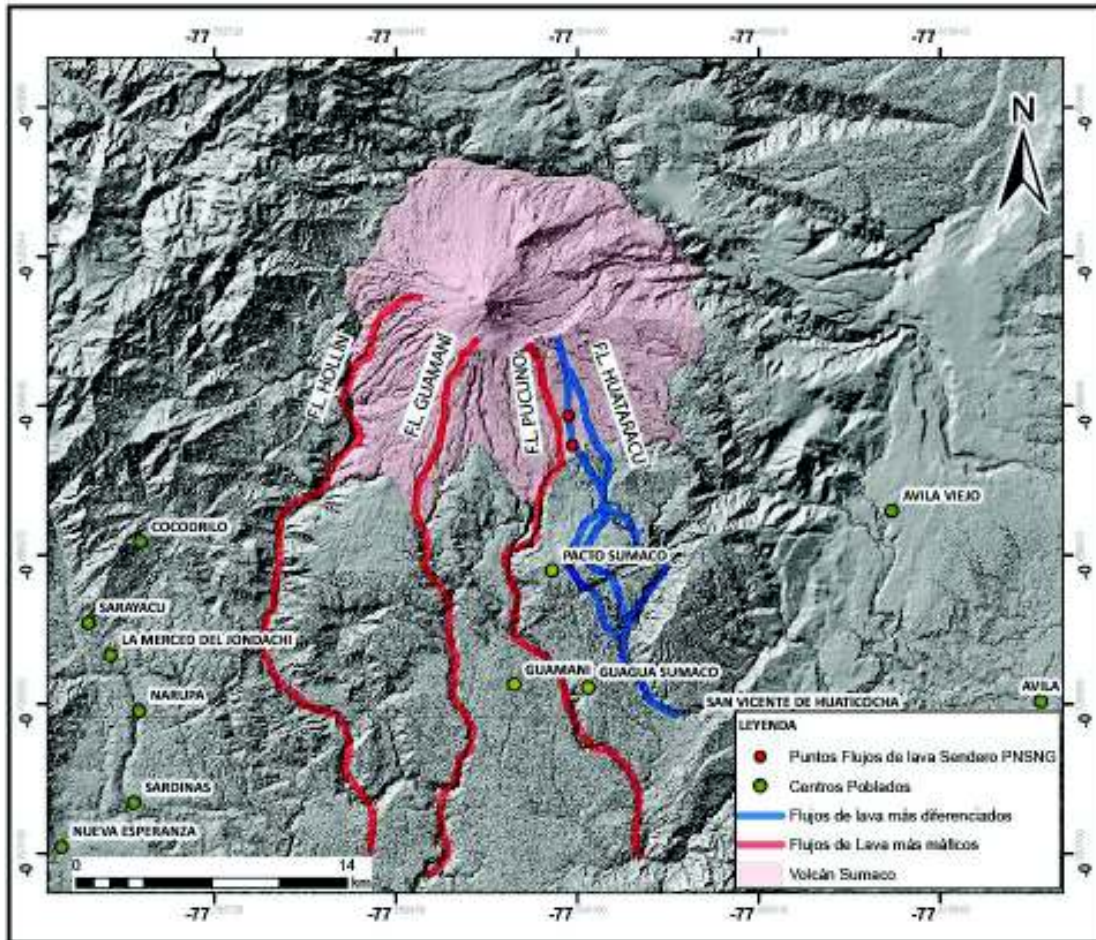


Figura 3.58 En este mapa, se ha representado los diferentes depósitos de flujos de lava asociados al Sumaco. En general, los flujos son poco viscosos y recorren grandes distancias, descendiendo por los drenajes principales. La zona norte del volcán no ha sido estudiada debido a la inaccesibilidad por carretera a los afloramientos. La figura ha sido ploteada utilizando los diversos afloramientos caracterizados en este trabajo.

3.4 Depósitos Holocénicos acumulados en la orilla de la Laguna Guagua Sumaco

En el curso de obtención de datos para la realización de este trabajo junto a un equipo del IG-EPN dirigido por la MSc. Patricia Mothes, realizamos una expedición a la laguna Guagua Sumaco, flanco sur-este del volcán Sumaco.

El objetivo de la expedición fue realizar un muestreo directo mediante la extracción de núcleos de perforación de capas de lodo y tefras acumulados en el fondo de la Laguna Guagua Sumaco (18S 211262 / 9936958, 2500 msnm) con la finalidad de investigar la actividad eruptiva reciente del volcán.

La laguna Guagua Sumaco se localiza en el flanco sur oriental del volcán Sumaco y está aproximadamente a 1200 metros en línea vertical por debajo de su cumbre; se encuentra emplazada en lo que parece ser un cráter extinto (Figura 3.62) (Jenks, W., 1956) que presenta una forma ancha, poco profundida y con bordes bajos.

Previo a la obtención del testigo de perforación se hizo un análisis de la batimetría realizada por los investigadores Jorge Celi y Leonardo Pereira de la Universidad Regional Amazónica (IKIAM) (Figura 3.59). La laguna tiene una profundidad máxima de ~10 metros y en sus orillas la profundidad alcanza los 3 metros.

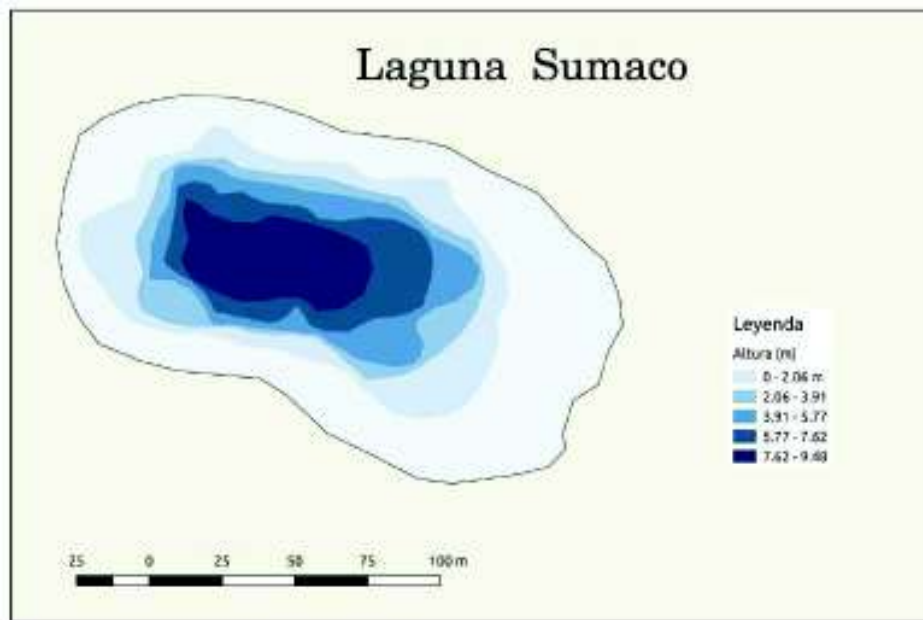


Figura 3.59 Batimetría obtenida de la Laguna Guagua Sumaco (Batimetría realizada por Celi y Pereira – IKIAM, comunicación personal).

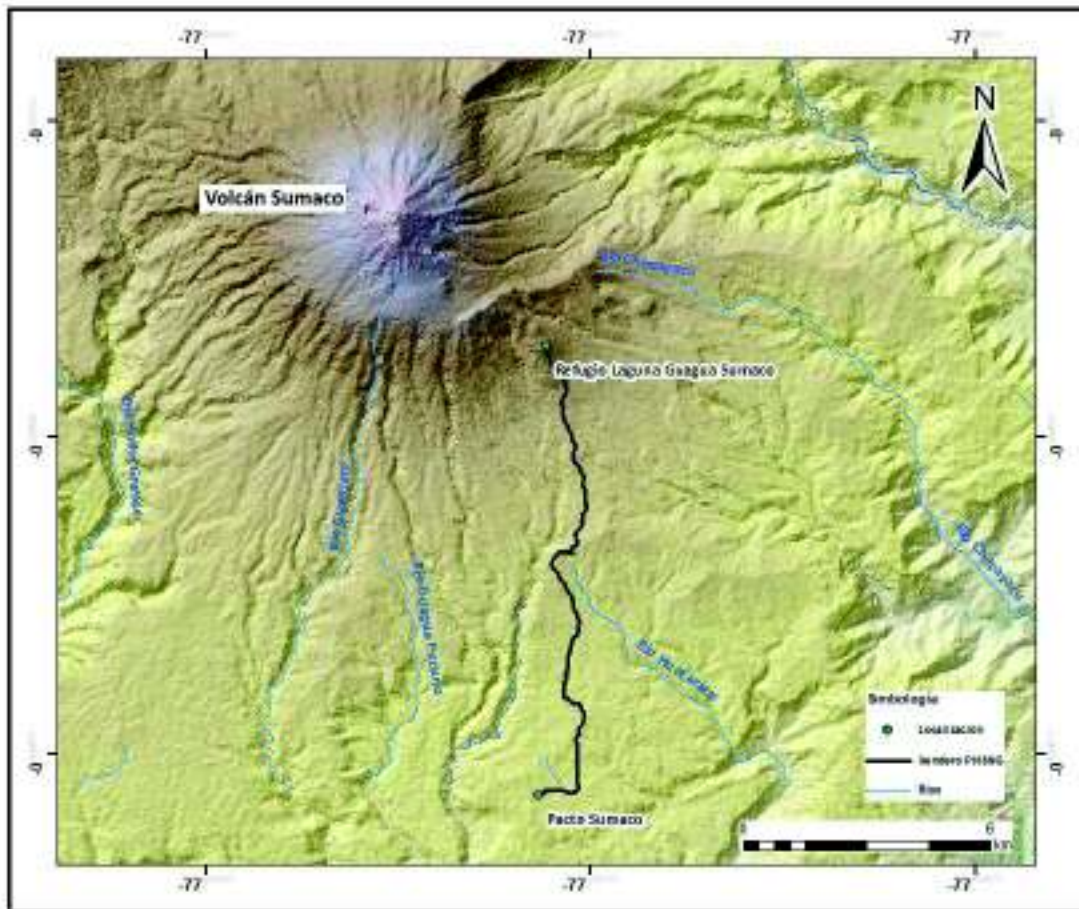


Figura 3.60 Mapa de ubicación de la Laguna Guagua Sumaco, se puede identificar también el sendero PNSNG. La laguna se encuentra en las coordenadas (UTM) 18S 211262 / 9936958, 2500 msnm.

Durante el análisis del testigo de perforación se tomó una muestra de turba (OL3) ubicado bajo el nivel de tefra SUM-04 B (Figura 3.63) para su correspondiente datación por radiocarbono mediante el método AMS (Accelerator mass spectrometry) (Figura 3.61). La edad obtenida de este nivel de turba es de 360 +/- 30 años BP.

Para el análisis visual de las cenizas se utilizó el mismo formato usado en la descripción de las secciones estratigráficas detalladas en la sección 3.2 de este trabajo. Es un análisis basado en la descripción de los rasgos importantes de los diferentes componentes de las cenizas.



Figura 3.61 Toma de la muestra de turba OL3 (Figura 3.62) del testigo de perforación SUM-001 para la respectiva datación radiocarbón mediante el método LCS. La edad obtenida es de 360 +/- 30 años BP.



Figura 3.62 Resumen fotográfico de la obtención del testigo de perforación SUM-001, en las orillas de la Laguna Guagua Sumaco. La perforación alcanzó una profundidad de 3 metros y se identificó 9 capas de ceniza intercaladas con niveles de turba y sedimento. La fotografía derecha abajo corresponde al primer metro perforado.

3.4.1 Características físicas y análisis de componentes de las capas de ceniza

Las nueve capas de ceniza identificadas tienen espesores que varían desde 1.5 cm (SUM-04 B) hasta 4 cm (SUM-03 B, SUM-01 A) (Tabla 11).

Todas las capas de ceniza tienen un tamaño de grano aparente de grueso a muy fino según la clasificación de White & Houghton (2006). En este nuevo esquema de clasificación los depósitos volcanoclásticos primarios son nombrados según el tamaño de grano sedimentario. La capa de ceniza SUM-01 A posee el tamaño de grano más grueso entre todas las muestras. En general, todas las capas de ceniza tienen un sorteo que varía entre malo a bueno; las muestras que poseen líticos densos en su composición son las características de un mal sorteo.

El análisis composicional nos indica que 6 muestras poseen líticos grises de composición similar a las rocas del Sumaco. En base a la naturaleza de los minerales presentes correspondería a una mineralogía asociada a una composición básica. La capa de ceniza SUM-03 B es muy fina y no presenta líticos.

Las otras dos muestras (SUM-06 A, SUM-04 A) son cenizas con un alto contenido en pómez (> 50% composición total), a excepción de la muestra SUM-06 A que es rica en cristales. Estas capas de ceniza al parecer son re-trabajadas y pertenecen a otra fuente distinta al volcán Sumaco.

En base al análisis de componentes se observa que las muestras tienen un alto contenido en líticos densos (25 - 45 %). El contenido en partículas oxidadas es alrededor del 3-5%. Los líticos densos característicos son grises porfíricos con fenocristales de piroxeno, plagioclasa y pequeños cristales de zircón. Se observa también líticos de color gris oscuro, con estructura vesicular y fenocristales de piroxeno, plagioclasa, muy pocos de zircón.

En relación al contenido mineral se observa una secuencia rica en augita, plagioclasa; en menor cantidad se tiene cristales de homblenda, hercinita y zircón. Es posible observar trazas de biotita en algunas muestras (SUM-01 B, SUM-04 B, SUM-05 B), que posiblemente pertenecen a otras fuentes volcánicas. El tamaño de los cristales es alrededor de 1 – 2 mm.

La pómez presente en las muestras varía de color blanco a café y tiene un tamaño máximo de 4 mm, algunas partículas se encuentran consolidadas y tienen una forma predominante subangular-subprismático. La muestra con mayor contenido en pómez (~40 - 45%) es la

muestra SUM-03 B. En las otras muestras el contenido en pómez se encuentra entre el 15 y 20% llegando máximo hasta el ~35% del volumen total de componentes.

Las muestras poseen un bajo contenido en vidrio (alrededor del 3%), poseen obsidiana color negro y pequeños shards incoloros.

El análisis a detalle de cada muestra se encuentra en ANEXO V de este trabajo. La columna estratigráfica del testigo de perforación se presenta en la Figura 3.63.

Son siete capas de ceniza (SUM-01B, SUM-01A, SUM-02A, SUM-03B, SUM-03A, SUM-04B, SUM-05B) de fuente el volcán Sumaco, ya que presentan líticos grises de composición basáltica, vesiculares y masivos, muy similares a las rocas del volcán. Además, las muestras contienen abundantes (> 30% del volumen de minerales libres) cristales de augita color verde, este clinopiroxeno se encuentra en todas las rocas del volcán Sumaco. Las siete capas de ceniza presentan cristales prismáticos de zircón color amarillo y fractura concoide. Los resultados de varios estudios acerca de la solubilidad del zircón muestran de manera concluyente que los líquidos basálticos requieren una abundancia realmente muy alta (> 5000 ppm) de Zr para cristalizar directamente el zircón y, por lo tanto, los zircones que se encuentran en ambientes máficos deben haber cristalizado en la etapa final a partir de fundidos evolucionados (Boehnke et al., 2013; Hatson y Harrison., 1983). Cristales de zircón también han sido identificados en la capa de ceniza (SUM-JS-12), ubicada al sur-este del volcán Sumaco (Figura 3.16). Las capas de ceniza SUM-01B y SUM-05B contienen trazas de biotita color café, probablemente este mineral pertenece a otra fuente distinta al Sumaco.

Las capas de ceniza SUM-06 A y SUM-04 A presentan un mayor contenido de cristales libres de biotita, no poseen cristales de zircón ni líticos y tienen un buen sorteo. Por lo cual, son cenizas re-trabajadas y pertenecen a otra fuente distinta al volcán Sumaco. Estas capas de ceniza no se correlacionaron con otras fuentes cercanas al Sumaco por la ausencia de líticos.

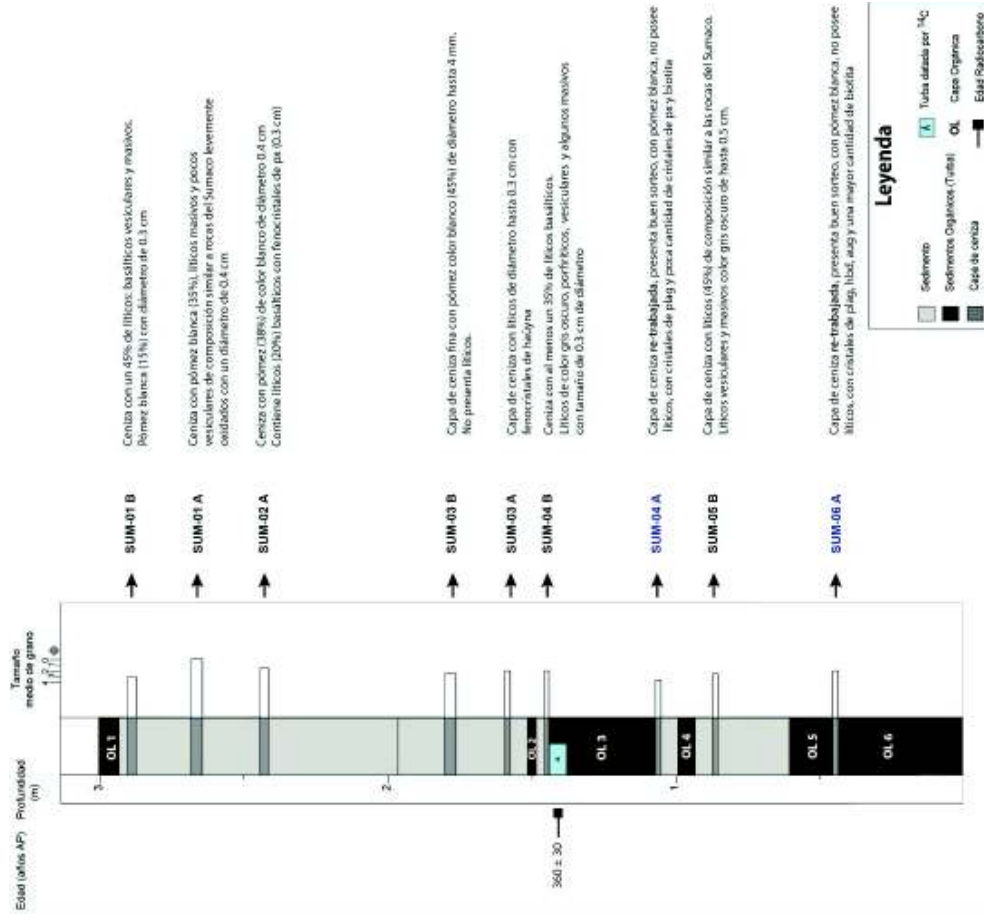


Figura 3.63 Columna estratigráfica del testigo de perforación obtenido de la Laguna Guagua Sumaco junto con las ubicaciones de las capas de ceniza, descripción breve de cada una de ellas y el resultado de la datación ¹⁴C (360 ± 30 años AP).

Tabla 11. Resumen de las características físicas y composición de las capas de ceniza encontradas en la Laguna Guagua Sumaco. Significado de las abreviaturas: AUG: Augita, BIOT: Biotita, HC: Hercinita, HBD: Hornblenda, OBSD: Obsidiana, SHRD: Shard, ZR: Zircón.

Nivel de ceniza	Espesor (cm)	Tamaño aparente de grano (ceniza)	Sorteo aparente	COMPONENTES						CRISTALES LIBRES						COLOR PÓMEZ	VIDRIO		FUENTE
				MIN	POM	VID	LIT	OTROS	PLAG	AUG	HBD	BIOT	HC	ZR	SHRD		OBSD	OBS.	
SUM-01 A	3	Fino	Malo	33	15	2	45	5	40	48	5	3	4	blanco		x	Volcán Sumaco		
SUM-01 B	4	Grueso	Malo	33	35	2	25	5	45	35	7	1	10	blanco	x	Volcán Sumaco			
SUM-02 A	3	Medio/grueso	Malo	35	20		42	3	46	41	7		3	blanco		Volcán Sumaco			
SUM-03 B	4	Fino/medio	Malo	54	45	1			50	40	6	2	2	blanco		Volcán Sumaco			
SUM-03 A	2	Medio	Medio	35	30	1	30	4	50	36	7		3	blanco	x	Volcán Sumaco			
SUM-04 B	1.5	Medio	Medio	39	20	3	35	3	55	34	3	2	3	café	x	Volcán Sumaco			
SUM-04 A	2	Muy fino/fino	Bueno	8	90	2			75	23		2		blanco	x	Otra fuente			
SUM-05 B	2	Fino/medio	Malo	37	15	3	43	2	55	33	5	2	1	café claro	x	Volcán Sumaco			
SUM-06 A	1.8	Medio	Bueno	58	40	2			45	40	4	8	3	blanco	x	Otra fuente			

3.5 Geocronología General de los Depósitos Volcánicos del Sumaco

En el presente trabajo se han realizado 4 dataciones ^{14}C para determinar qué tan reciente es la actividad del volcán Sumaco, además con el objetivo de conocer los periodos de actividad del volcán. La primera datación corresponde a fragmentos de carbón dispersos en un depósito de tefra (SUM-JS-44), la segunda datación corresponde a restos de madera carbonizada pertenecientes a un depósito de avalancha de escombros (DAE-RS). Una capa de turba ubicada al tope del depósito de flujo de lodo y escombros llamado “Puente Loreto” ha sido posible fecharla. Así como también se utilizó una de las capas orgánicas (OL3) coleccionada del testigo de perforación obtenido de la laguna “Guagua Sumaco”. Esta última muestra es realmente importante para conocer la tasa de recurrencia de las erupciones recientes en el volcán Sumaco. La tasa calculada es de 1 erupción cada 60 años.

El depósito más antiguo (> 43.5 ka) es el depósito de avalancha “DAE-RS” ubicado al oriente del volcán, mientras que la edad más reciente pertenece a la muestra de turba (OL3) del testigo de perforación SUM-001. Son seis los depósitos de tefra que se acumularon sobre el nivel de turba fechado (OL3). La edad obtenida es de 360 ± 30 años BP. Por tanto, se puede determinar a groso modo que la tasa de recurrencia de las erupciones es de una erupción cada 60 años. Además, se confirma lo descrito por Colony & Sinclair (1928) acerca del último periodo de actividad volcánica del Sumaco entre 1865 a 1925.

El depósito de avalancha “DAE-RS” tiene una edad mayor a 43 500 años BP y puede ser correlacionada a un periodo de actividad del volcán durante el Pleistoceno Superior, esto tomando en cuenta que se encuentra una capa de ceniza volcánica gruesa localizada al occidente del Sumaco, precisamente en el sector de Vinillos cuya edad de deposición se encuentra entre los 45 – 42 ka, edad obtenida por Loughlin et al., (2017).

Una edad más joven obtuvo el depósito de flujo de lodo y escombros “Puente Loreto”, con una edad de $25\,310 \pm 100$ años BP posiblemente asociada a un nuevo periodo de actividad volcánica en el Sumaco.

En la sección “El Desbanque” ubicada a 13 km SE del cráter, se realizó una datación radiocarbón correspondiente a fragmentos de carbón dispersos en el depósito de ceniza “SUM-JS-44” obteniendo una edad de $4\,370 \pm 30$ años BP. Sobre este nivel de tefra se encuentran al menos 4 capas de ceniza de fuente el volcán Sumaco. Esta datación permite

confirmar la actividad reciente, pero de magnitudes importantes del volcán Sumaco, clasificándolo como un volcán potencialmente activo del Ecuador.

Mediante las dataciones radiocarbón realizadas en el presente trabajo se ha optado por confirmar la actividad reciente del Sumaco, no así su historia geológica por lo que varios estudios enfocados en este tema deberían ser realizados en un futuro próximo.

Tabla 12. Resumen de las dataciones radiométricas utilizadas en el presente estudio.

Número de Laboratorio	Nombre	UTM	Localización	Edad ¹⁴ C (años AP)	Edad calibrada 95.4% (años AP)	Fuente:
Beta - 509967	OL3, core SUM-001	211262 / 9936958, 2500 msnm	Laguna Guagua Sumaco	360 +/- 30	468 – 308	Este estudio
Beta - 498933	SUM-JS-44	212862/9926900, 1485 msnm	El Desbanque	4 370 +/- 30	4 975 – 4 836	Este estudio
Beta - 490998	Lahar Loreto	242753/9922926, 411 msnm	Puente Loreto	25 310 +/- 100	29 620 – 28 995	Este estudio
SUERC-58952	SAO1	183047/993363, 2090 msnm	Vinillos	38 503 +/- 968	41 885 - 43 325	Loughlin et al., 2017
SUERC-58953	SB04		Vinillos	40 524 +/- 1245	43 091 - 45 218	Loughlin et al., 2017
Beta - 490995	DAE-RS	239248/9931636, 497 msnm	Mina CPO, Río Suno, Karutambo	> 43 500	-----	Este estudio

CAPÍTULO IV

4 CARACTERIZACIÓN PETROGRÁFICA Y GEOQUÍMICA DE LAS ROCAS DEL VOLCÁN SUMACO

4.1 Caracterización Petrográfica

El estudio petrográfico nos brinda información sobre el aspecto, textura, color, dureza, tamaño de grano o granularidad de la roca, siendo posible establecer ciertas condiciones cualitativas o semicuantitativas de su formación y los posibles procesos evolutivos que intervinieron durante su génesis.

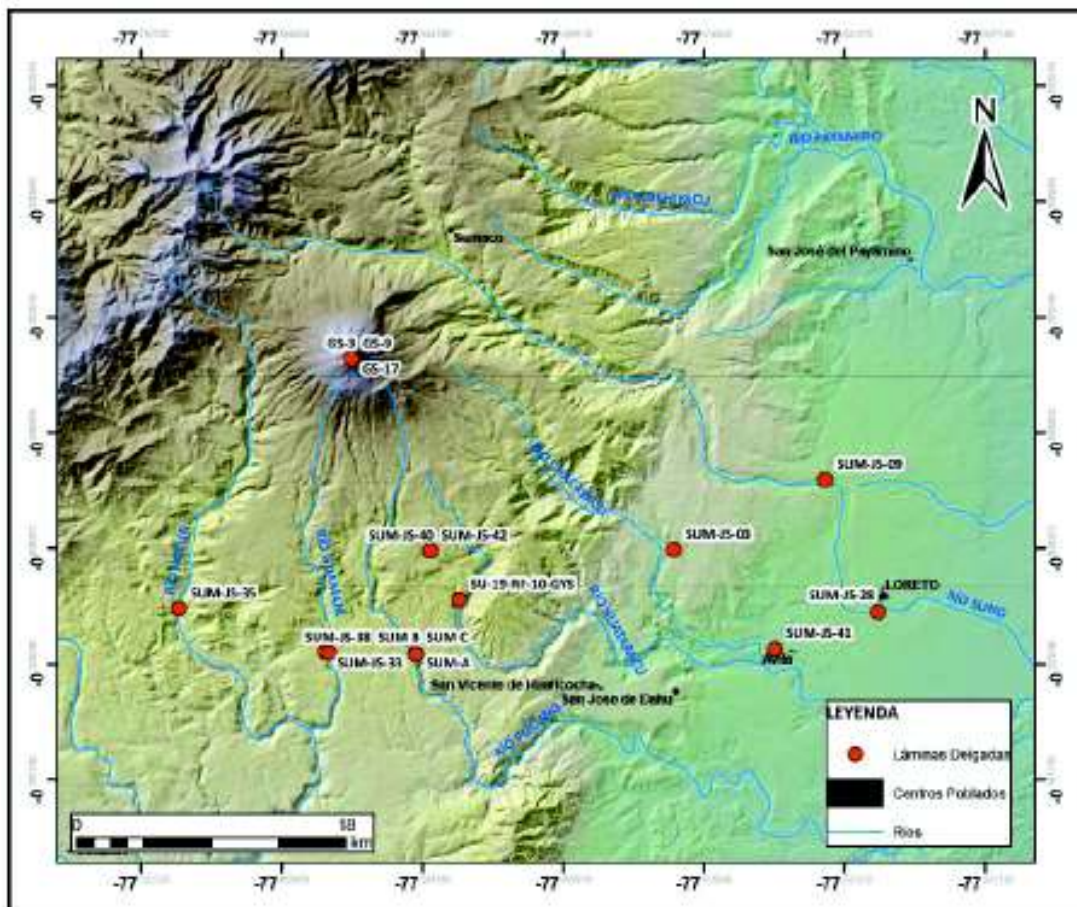


Figura 4.1 Mapa de ubicación de muestras representativas recolectadas en el presente estudio. Las muestras con el código SUM-JS- pertenece al estudio actual. Mientras las muestras con código GS- son pertenecientes al estudio de Garrison et al., 2018.

Como parte de este estudio se realizaron varias campañas de campo de muestreo, las rocas coleccionadas corresponden a muestras frescas de afloramientos representativos de los diferentes depósitos volcánicos que han sido detallados en el capítulo anterior. En total hay 13 muestras pertenecientes a este estudio. Se dispone de 7 muestras de roca de la cumbre pertenecientes a Jennifer Garrison Ph.D., de la Univ. Estatal de California, Los Ángeles. Además, se tiene 5 muestras pertenecientes al Museo Petrográfico EPN. Los códigos de las muestras de este estudio tienen las letras SUM-JS-..., las muestras del trabajo de Garrison J. empiezan con GS-..., mientras que las muestras pertenecientes al Museo Petrográfico empiezan con 1.19... y 1.20.... En el siguiente mapa se muestra la ubicación de muestras representativas recolectadas y utilizadas en el análisis petrográfico (Figura 4.1).

En total se elaboraron 20 láminas delgadas, las cuales fueron realizadas en el laboratorio del Instituto Nacional de Investigación Geológico Minero Metalúrgico - Quito, dentro del convenio de cooperación INIGEMM – EPN.

Características de los depósitos de avalancha:

- **DAE-RS - Río Suno**

Las rocas pertenecientes a este depósito se presentan como bloques disgregados en la facies de mezcla. Las rocas son principalmente tefritas (45.17% SiO₂, muestra SUM-JS-09). En muestra de mano la roca presenta una textura porfírica con abundantes pequeños fenocristales de augita y estructura masiva. Los fenocristales son euhedrales. Además, las rocas presentan un ligero magnetismo al pasar el imán.

Microscópicamente la roca es hipocristalina y presenta una textura intersertal. La asociación mineral encontrada es titanio-augita + plagioclasa (An₇₀₋₉₀) ± apatito ± minerales opacos. La matriz está compuesta por cristales pequeños de apatito, plagioclasa (An₇₀₋₉₀) y en menor cantidad minerales opacos. La matriz también está compuesta de una base vítrea de color negro.

Los cristales de plagioclasa son de composición bitownita (An₇₀₋₉₀), incoloros, poseen una forma euhedral, presentan maclas polisintéticas y carlsbad. Algunos cristales tienen bordes ligeramente corroídos pero la reabsorción no es un factor importante.

Los fenocristales de clinopiroxeno tienen un color verde pálido, ligeramente pleocroicos y presentan zonación reloj de arena típica del mineral titanio-augita. Los cristales de apatito se encuentran como inclusiones en el titanio-augita, por lo que serían de formación más

temprana, además se encuentran como micro-fenocristales individuales. Varios cristales de titano-augita presentan golfos de corrosión e inclusiones de minerales opacos. Los golfos de corrosión se asocian al avance de la resorción.

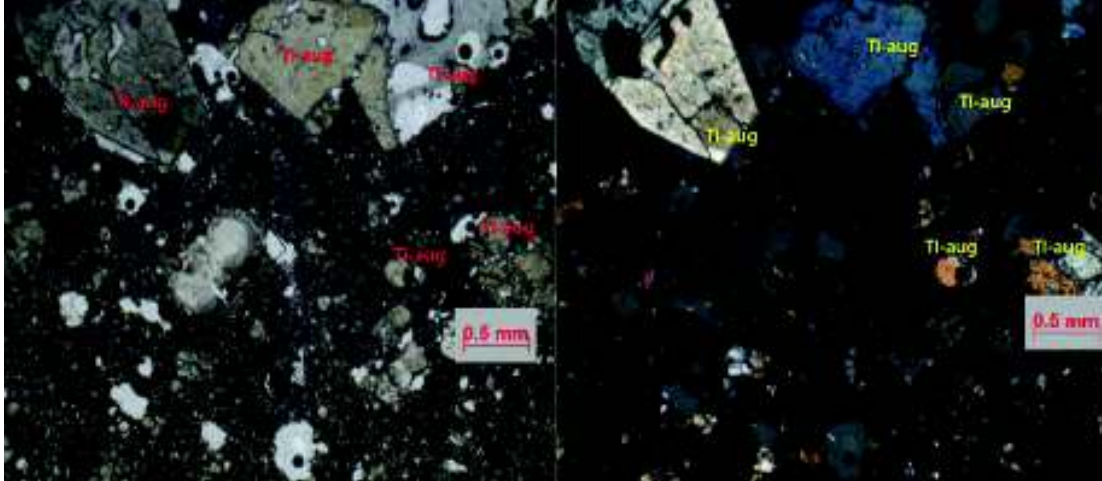


Figura 4.2 Muestra SUM-JS-09, vista al microscopio (objetivo 2.5x). Se puede observar grandes cristales color verde pálido de titano-augita con golfos de corrosión (parte superior, LPP y NX).

Debido al tamaño de los cristales e inclusiones, la secuencia de cristalización comenzó con la formación de cristales de apatito y minerales opacos, seguido con la formación de los cristales de clinopiroxeno (0.50 mm) que tienen un mayor tamaño en comparación con los cristales de plagioclasa (bitownita) que se formaron al final de la secuencia.

La matriz contiene varias vesículas con un diámetro de 0.6 mm, que son producto de las burbujas entrampadas creadas por el gas que escapa de las rocas. Además, contiene vidrio volcánico intersticial que se encuentra separando los cristales individuales entre sí.

La asociación mineral presente en la roca, permite clasificarla dentro del grupo de rocas más básicas del Sumaco. No contiene cristales de feldespatoideos por lo que está asociada a las rocas más antiguas del volcán. Rocas de la cumbre contienen cristales de hauyna (más diferenciadas) y se consideran las rocas más jóvenes del volcán.

▪ **DAE-CHC - Chacayacu**

Estas rocas forman parte de los pequeños bloques dispersos en la facies de mezcla del depósito DAE-CHC del sitio Chacayacu, alcanzando un tamaño de hasta 90 cm. Son rocas son clasificadas como tefritas (43.73 % SiO₂, muestra SUM-JS-03) de color gris claro. La muestra de mano presenta una textura porfírica y estructura masiva con fenocristales

euhedrales de clinopiroxeno de diámetro entre 0.5 – 0.6 mm. Las rocas son moderadamente magnéticas.

Microscópicamente la muestra es holocristalina con textura pilotáctica. La asociación mineral presente en la roca es titanio-augita + plagioclasa (An_{70-90}) ± apatito ± minerales opacos. La matriz micro-cristalina se compone de cristales de plagioclasa (An_{70-90}) y minerales opacos.

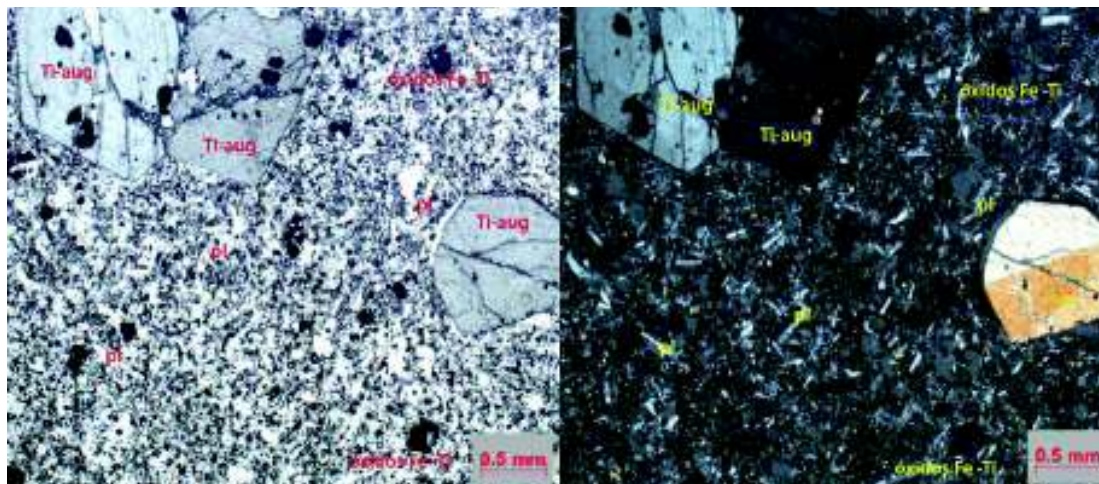


Figura 4.3 Muestra SUM-JS-03 vista al microscopio (objetivo 2.5x). Se distingue grandes fenocristales de titanio-augita color verde pálido (superior izquierda, LPP) que sobresalen en una matriz microcristalina compuesta por cristales de plagioclasa + minerales opacos.

Los fenocristales de titanio-augita presentan una fuerte dispersión, zonación reloj de arena, inclusiones de apatito y golfos de corrosión. Los golfos de corrosión se atribuyen al avance de la resorción, este proceso no es importante en la muestra. Algunos cristales de titanio-augita tienen pleocroísmo leve que varía de verde pálido a tonos de verde amarillento. La muestra contiene microfeno-cristales individuales de apatito, estos cristales serían de formación más temprana que los cristales de titanio-augita (Figura 4.3).

Se observa una sola generación de cristales pequeños de plagioclasa que se encuentran formando parte de la matriz. La composición de la plagioclasa es bitownita (An_{70-90}). Presentan maclas polisintéticas y de carlsbad. Estos cristales se han formado posteriormente al clinopiroxeno por un cambio rápido de temperatura. La cantidad de vidrio volcánico es muy bajo en la muestra y se encuentra principalmente ocupando intersticios. La presencia de minerales opacos en la muestra es prominente.

Las rocas de este depósito también pertenecen al grupo de rocas más viejas del volcán Sumaco debido a que no presentan cristales de hauyna en su composición mineral.

▪ DAE-RG – Río Guamaní

Estas rocas forman parte del depósito DAE-RG que muestra facies de mezcla. Las rocas tienen un tamaño hasta 3 a 4 metros. Estas rocas consisten en tefritas de color gris oscuro con textura porfirítica y estructura vesicular. En muestra de mano (SUM-JS-38) se observan fenocristales de augita y pequeños cristales azules de hauyna. Los fenocristales de clinopiroxeno tienen un tamaño de hasta 6 mm y los cristales de hauyna tienen un tamaño de hasta 2 mm. La muestra presenta un ligero magnetismo.

Microscópicamente la roca es holocristalina con textura traquítica. La asociación mineral presente es: titano-augita + plagioclasa (An_{28-42}) + hauyna \pm minerales opacos. La matriz está compuesta por microlitos de plagioclasa (An_{28-42}), apatito y minerales opacos. Algunos intersticios están ocupados por cristales de clinopiroxeno, cristales que se habrían formado durante la erupción. Se observa también vesículas de gran tamaño debido a la desgasificación que sufrió la roca durante su enfriamiento (Figura 4.4).

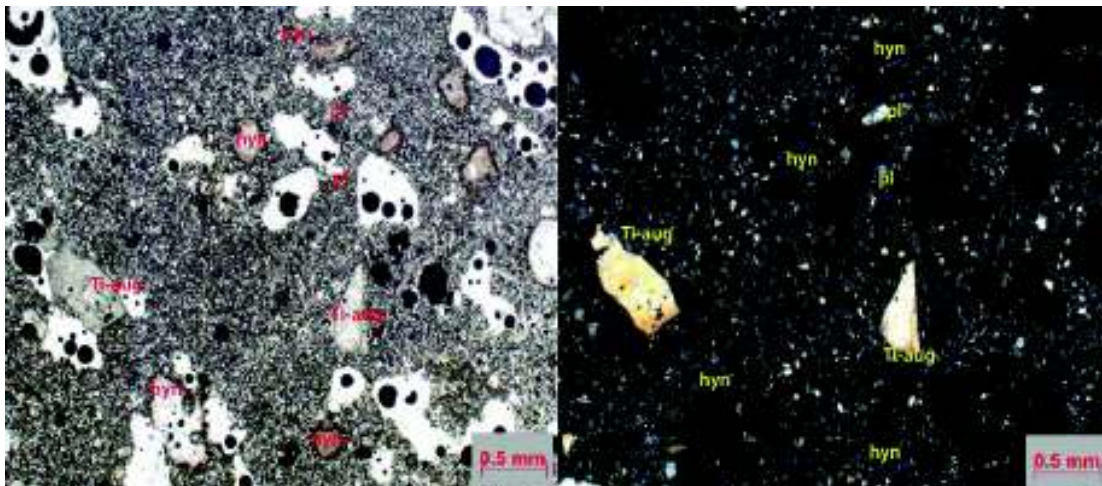


Figura 4.4 Muestra es SUM-JS-38 (objetivo 2.5x). Se observa cristales pequeños subhedrales de hauyna (superior izquierda, LPP), junto a los cristales de titano-augita color verde pálido.

Se distingue cristales muy pequeños de plagioclasa que forman parte de la matriz, apenas se distinguen ya que se encuentran muy fracturados. Presentan maclas de carlsbad y polisintéticas. La composición de los microlitos de plagioclasa es de oligoclasa a andesina (An_{28-42}).

Los cristales de hauyna se encuentran zonados y tienen un tamaño de 1 mm. La zonación se relaciona con la progresiva cristalización al disminuir la temperatura. De acuerdo al tamaño de los cristales, la hauyna se habría formado al final de la secuencia de

cristalización al presentar un menor tamaño que los cristales de clinopiroxeno y que no están presentes en las rocas máficas del Sumaco. Además, algunos cristales de hauyna presentan inclusiones de apatito y titano-augita. Cristales de apatito están presentes como microfenocristales individuales e inclusiones en los cristales titano-augita, es decir los cristales de apatito se formaron más temprano que los cristales de titano-augita.

Esta roca (SUM-JS-38) pertenece al grupo de rocas más diferenciadas del Sumaco debido a la presencia de cristales de hauyna. Estos minerales se encuentran en las rocas de la cumbre del volcán Sumaco, las cuales serán descritas más adelante.

▪ **DAE - LAS PEÑAS (LP) - Huataracu**

Por lo general, este tipo de depósitos se caracterizan por ser heterogéneos. Por lo cual, se ha caracterizado petrográficamente las rocas predominantes del depósito que poseen una composición similar a las rocas del Sumaco.

Macroscópicamente los bloques del depósito (SUM-JS-41) son angulosos, de color gris oscuro, con textura porfírica y estructura vesicular. Las rocas poseen fenocristales de clinopiroxeno de un tamaño de 3 mm. La roca es moderadamente magnética y se clasifica como tefrita.

Microscópicamente la roca es holocristalina con una textura traquítica. La asociación mineral presente en la roca es: titano-augita + plagioclasa (An_{50-70}) + hauyna ± minerales opacos. La matriz microcristalina se compone principalmente de cristales de plagioclasa (An_{28-40}), apatito y minerales opacos. La apariencia fluidal de la matriz está definida por los cristales alargados de apatito y cristales de plagioclasa que poseen una dirección predominante. La composición de los microlitos de plagioclasa es más ácida que los pequeños fenocristales primáticos.

Los cristales de hauyna son incoloros y algunos de color azul pálido, tienen un tamaño de hasta 0.6 mm, se encuentran zonados con golfos de corrosión y levemente alterados a minerales arcillosos. Los golfos de corrosión son el resultado del rápido crecimiento que envuelve al fundido debido al sobreenfriamiento.

Los fenocristales prismáticos de clinopiroxeno presentan inclusiones de cristales de apatito, son de color verde y presentan zonación reloj de arena característico del mineral titano-augita. Los cristales poseen un tamaño entre 0.9 - 1 mm, son grandes en relación a los cristales de hauyna (0.6 mm) formándose durante un enfriamiento lento antes de la erupción.

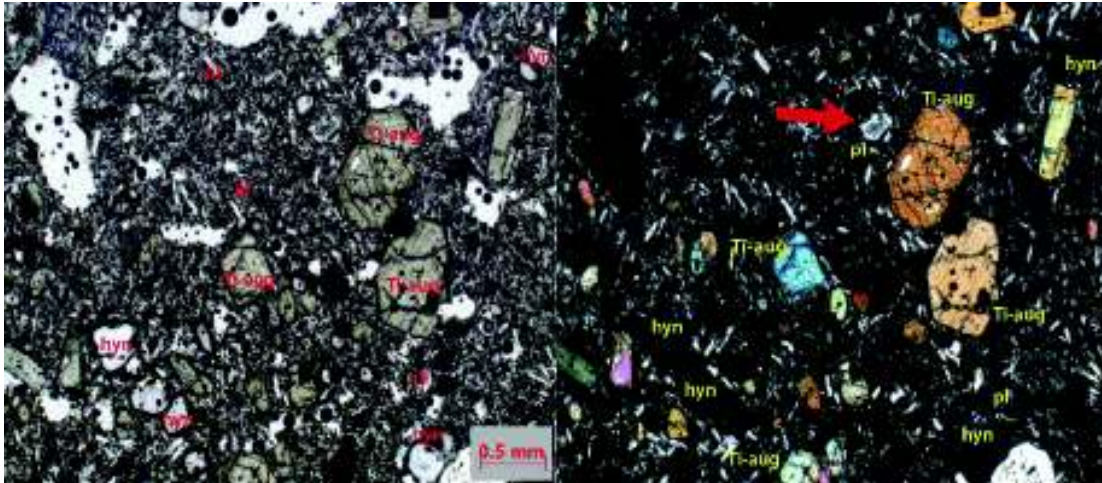


Figura 4.5 Muestra SUM-JS-41 vista al microscopio (objetivo 2.5x). Se observa cristales incoloros de hauyita con golfos de corrosión (inferior izquierda, LPP), varios cristales prismáticos verdes del mineral titano-augita y cristales de plagioclasa con textura “sieve” (flecha roja).

Existen al menos dos generaciones de cristales de plagioclasa de composición entre oligoclasa a labradorita (An_{28-70}). La primera generación forma fenocristales prismáticos que presentan buen clivaje algunos con golfos de corrosión, que se atribuyen al avance de la resorción y presentan textura sieve (Figura 4.5), estos cristales son de composición labradorita (An_{50-70}). La segunda la conforma los microcristales que se encuentran formando parte de la matriz. Los microlitos de plagioclasa presentan una composición más ácida (oligoclasa a andesina) en comparación con los fenocristales de la muestra.

Es posible observar microfenocristales individuales de apatito que se encuentran como inclusiones en la titanoaugita, algunos incluso muestran su cara basal. Los cristales de apatito se formaron antes que los cristales de titano-augita. Esta roca junto a la anterior (SUM-JS-38) pertenecen al grupo de rocas más jóvenes del Sumaco.

▪ LAHAR “PUENTE LORETO”

El depósito se caracteriza por ser homogéneo y está compuesto principalmente por bloques basálticos.

Las rocas predominantes del depósito (SUM-JS-28) son de color gris oscuro, tienen una estructura masiva y textura porfírica. La principal característica en muestra de mano es la presencia de fenocristales negros de piroxeno con un tamaño de hasta 3 mm. La roca se clasifica como basanita. La roca es moderadamente magnética.

Microscópicamente la muestra es holocristalina con textura pilotáctica. La asociación mineral presente es: olivino + titano-augita + plagioclasa (An_{70-90}) ± minerales opacos. La matriz está compuesta por microlitos de plagioclasa, apatito, pequeños cristales de clinopiroxeno y minerales opacos.

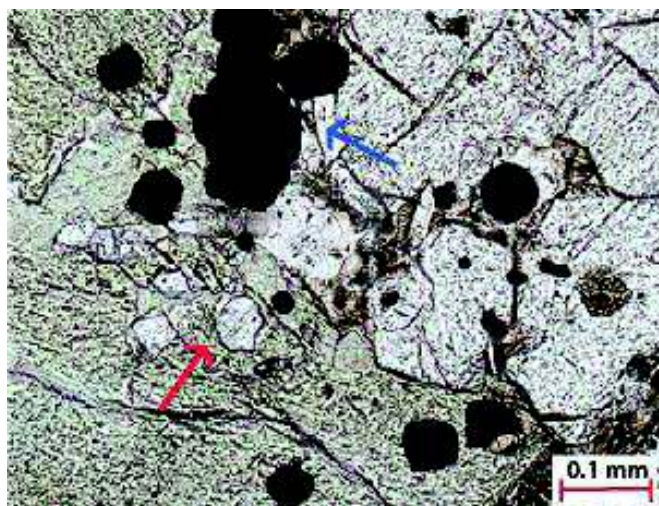


Figura 4.6 Muestra SUM-JS-28 (objetivo 20x). Se observa cristales de clinopiroxeno con varias inclusiones de apatito (cristales incoloros alargados mostrando su cara basal) (flecha roja). Se observa también algunos minerales opacos (flecha azul).

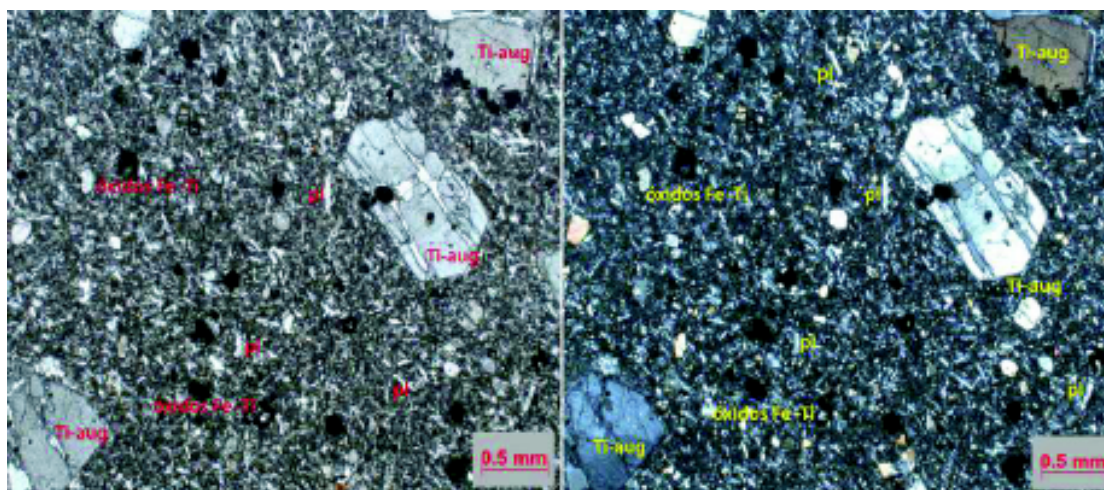


Figura 4.7 Muestra SUM-JS-28 (objetivo 2.5x), en donde se observan grandes cristales verdes pálidos de titano-augita (parte superior en la fotografía izquierda, LPP).

Los cristales incoloros de olivino son prismáticos con relieve alto y presentan coronas de reacción, debido a que son cristales formados tempranamente que reaccionaron con el

fundido para formar los cristales de clinopiroxeno. Se encuentran en un 10 % del volumen mineral de la roca.

Se identifican cristales muy pequeños de plagioclasa (microcristales) que forman parte de la matriz, estos cristales habrían sido formados durante la erupción.

Los fenocristales de clinopiroxeno presentan zonación reloj de arena relacionados al mineral titanogaugita; poseen golfos de corrosión e inclusiones de apatito. Los golfos de corrosión se asocian a la resorción, que realmente no es importante en la muestra. Varios cristales de apatito muestran su cara basal y estos han sido los primeros en formarse en relación a los otros cristales de la muestra (Figura 4.6).

La cantidad de minerales opacos presentes en la muestra es importante, algunos de ellos se encuentran como inclusiones en la titanogaugita o rellanando vesículas.

▪ **FLUJO DE LAVA RÍO HOLLÍN**

El flujo de lava Río Hollín se encuentra formado por tefritas (47.35 – 48.66 wt-% SiO₂, según Garrison et al., 2018) de color gris oscuro. Macroscópicamente son rocas de textura porfirítica y estructura vesicular. Presenta fenocristales de clinopiroxeno de tamaño hasta 5 mm que sobresalen en una matriz grisácea oscura. La roca es magnética. Microscópicamente la roca es holocristalina y presenta una textura traquítica. La paragénesis mineral está compuesta por fenocristales de olivino + plagioclasa (An₇₀₋₉₀) + titanogaugita + apatito ± minerales opacos. La matriz consiste principalmente de microlitos de plagioclasa, en menor cantidad se observan cristales de clinopiroxeno, apatito y minerales opacos. Los microlitos están orientados de manera fluidal y se observan algunas vesículas conectadas producto de la desgasificación de la roca durante su enfriamiento.

Existen 2 generaciones de plagioclasas la primera de fenocristales prismáticos con un tamaño hasta 0.4 mm, algunos con bordes ligeramente reabsorbidos y con textura tipo “sieve” o tamiz (Figura 4.8). Y la otra generación forma microcristales de plagioclasa que forman parte de la matriz. Las plagioclasas son de composición bitownita (An₇₀₋₉₀).

Los cristales de apatito se encuentran como microfenocristales individuales y como inclusiones en los clinopiroxenos. Es decir, los cristales de apatito se formaron antes que los cristales de clinopiroxeno.

Se observan pocos cristales prismáticos de olivino con bordes de corrosión, por tanto se formaron tempranamente reaccionando con el fundido para formar los cristales de clinopiroxeno. Los cristales de olivino tienen un tamaño de 0.3 mm.

Esta roca pertenece al grupo de rocas “más básicas” del volcán Sumaco, es la única muestra de lava del Sumaco que contiene cristales prismáticos de olivino (alrededor del 5% del volumen total) junto a cristales de bitownita y titano-augita.



Figura 4.8 Cristales orientados de plagioclasa de composición bitownita (An_{70-90}) con su característica textura “sieve” (flecha roja) (Muestra SUM-JS-35).

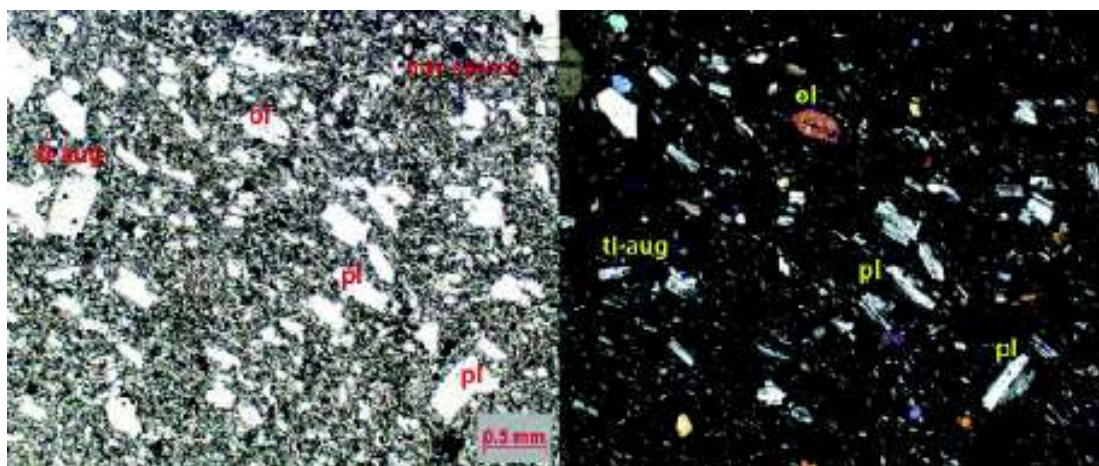


Figura 4.9 Muestra SUM-JS-35 (objetivo 2.5x). Se puede observar cristales prismáticos incoloros de plagioclasa (bitownita) con maclas de polisintéticas (parte inferior de la imagen derecha, NX), cristales de titano-augita (parte izquierda, LPP). Además, se observa un cristal con relieve y birrefringencia alto de olivino (parte superior de ambas imágenes, LPP y NX).

▪ FLUJO DE LAVA RÍO GUAMANÍ

Las rocas que forman este flujo de lava corresponden a tefritas (41.58 – 49.60 wt-% SiO_2 , muestras SUM-JS-33, SU-01-L10, SU-14-L-10 y SU-02-L-10) de color gris oscuro. Macroscópicamente son rocas con estructura vesicular y textura porfírica. Estas rocas se

caracterizan por presentar fenocristales de augita de tamaño hasta 3 mm. Las rocas son moderadamente magnéticas al usar el imán.

Microscópicamente la roca es holocristalina y presenta una textura traquítica. Los minerales en paragénesis son titano-augita + plagioclasa (An₇₅₋₈₆) ± apatito ± minerales opacos. La textura fluidal está marcada por los cristales de la matriz compuesta por microlitos de plagioclasa, apatito y en menor cantidad minerales opacos. Algunos intersticios están ocupados por cristales de clinopiroxeno y se observan también pequeñas vesículas con áreas isotrópicas incoloras, transparentes e irregulares. Las vesículas se forman por los gases en expansión presentes en la lava.

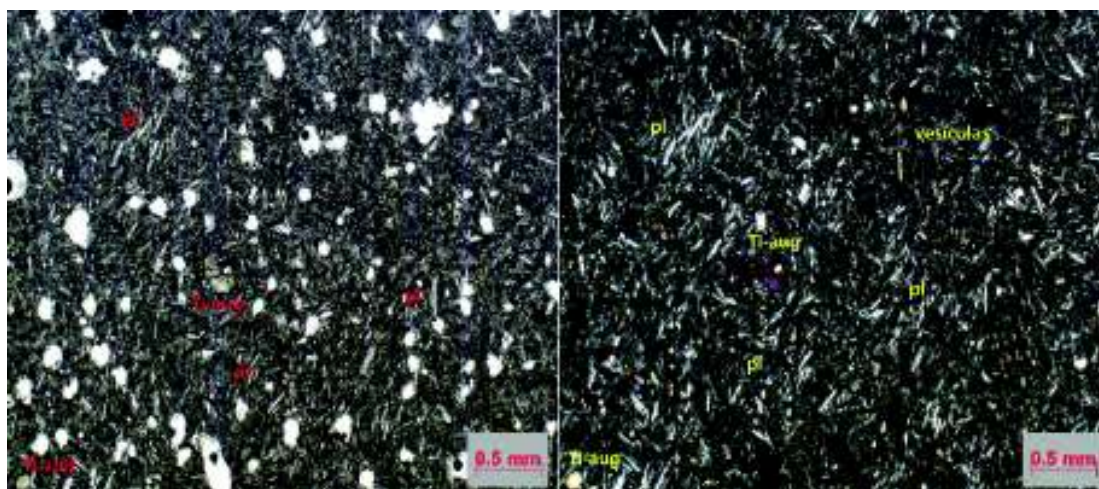


Figura 4.10 Muestra es SUM-JS-33 (aumento 2.5x). Se distingue claramente la orientación de los microcristales de plagioclasa (bitownita) y apatito que forma la textura pilotáxica de la roca.

La composición de las plagioclasas es bitownita (An₇₅₋₈₆) y se distingue dos generaciones. La primera de cristales euhedrales conservados que forman texturas pilotáxicas y la otra generación son cristales muy pequeños que forman parte de la matriz. La orientación de los microlitos de plagioclasa denotan las líneas de flujo de la lava.

Algunos cristales de titano-augita se encuentran alterados, presentan golfos de corrosión e inclusiones de apatito. Los golfos de corrosión se asocian al avance de la resorción. Es poco distinguible la zonación reloj de arena presente en los cristales de titano-augita.

▪ **FLUJO DE LAVA AFLUENTE RÍO HUATARACU**

Este flujo de lava se caracteriza por presentar en la parte superior un nivel de roca meteorizada de color negro y aspecto deleznable en la cual no es posible identificar

cristales a simple vista. La roca tiene una estructura vesicular. El código de la muestra perteneciente a este nivel superior de la lava es SUM-JS-42.

Tomando en cuenta lo anterior, macroscópicamente son rocas de color gris, poseen una textura porfírica y estructura vesicular. Los fenocristales de clinopiroxeno tienen un tamaño de hasta 7 mm y los fenocristales de anfíbol de hasta 3 mm. Las rocas se encuentran muy meteorizadas (LOI 16.53%, muestra SUM-JS-40) y son moderadamente magnéticas, exceptuando la muestra SUM-JS-42 cuyo magnetismo es débil. Estas rocas se clasifican como fonolitas.

Microscópicamente las rocas son holocristalinas con textura traquítica. Los minerales en paragénesis son titano-augita + plagioclasa (An_{24-52}) + hornblenda + hauyna \pm apatito \pm minerales opacos. La matriz está compuesta por microlitos de plagioclasa (An_{24-52}), apatito y pequeños cristales de clinopiroxeno. Se observa una gran cantidad de vesículas con áreas isotrópicas e irregulares de tamaño hasta 0.2 mm, formadas por las burbujas entrampadas creadas por el gas que escapa de las rocas.

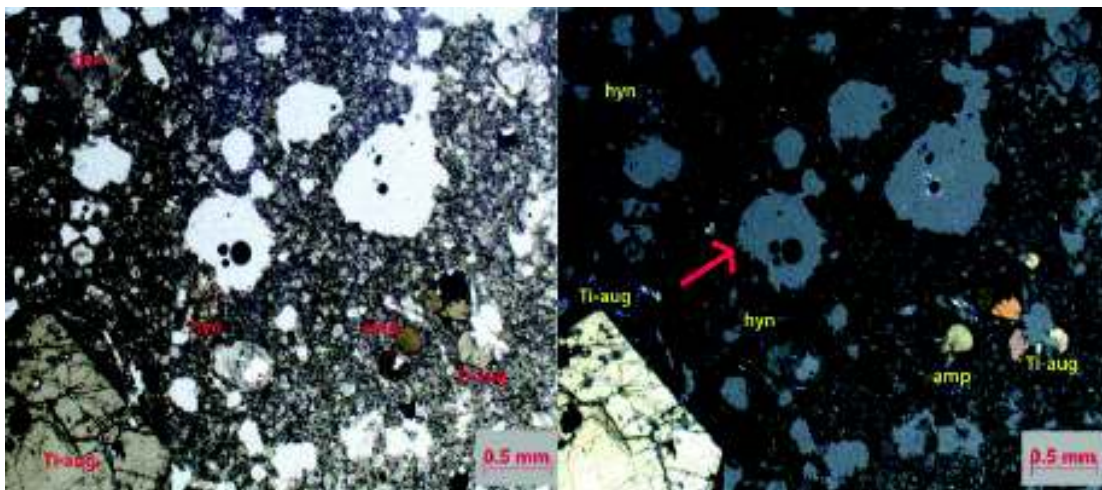


Figura 4.11 Muestra SUM-JS-40 (aumento 2.5x). Se observa grandes vesículas (flecha roja) creadas por el escape de los gases. Se observa grandes cristales de titano-augita (inferior izquierda, LPP) y pequeños cristales alterados a arcillas de hauyna (parte central, LPP).

Los cristales de hauyna son idiomorfos incoloros presentan una leve alteración a minerales arcillosos, bordes de reacción y golfos de corrosión relacionados con el sobreenfriamiento de la roca. Los bordes de reacción en los cristales de hauyna se deben a la entrada de agua en la cámara magmática que baja el punto de cristalización, esto se asocia también con la formación de los cristales hidratados de hornblenda.

Los cristales de hornblenda son idiomorfos alargados de color marrón. Están presentes en un porcentaje menor y tienen una corona de oxidación en sus bordes. Los finos anillos de óxidos de hierro en los bordes ocurren cuando magmas hidratados alcanzan niveles superficiales. El tamaño de los cristales de hornblenda es < 0.5 mm. Es característico un pleocroísmo marcado de amarillo a marrón rojizo.

Los fenocristales de clinopiroxeno de tamaño 0.21 cm presentan inclusiones de apatito y algunos con zonación reloj de arena. Los cristales de apatito son anteriores a los cristales de titano-augita.

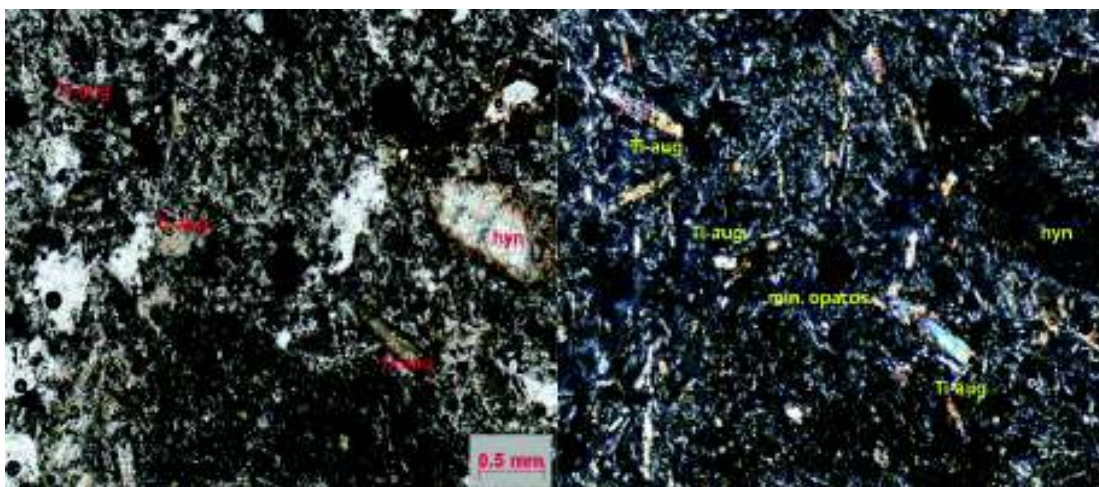


Figura 4.12 Muestra SUM-JS-42 (aumento 2.5x). La roca se encuentra muy meteorizada. Se observa cristales de hauyna con bordes de reacción (parte izquierda, LPP). Cristales de titano-augita son llamativos por su alta birrefringencia (parte derecha, NX)

Se observan pocos cristales microfenocristales de plagioclasa que tienen una composición de oligoclasa a labradorita (An₂₄₋₅₂).

La roca perteneciente al nivel superior del flujo (SUM-JS-42) está muy meteorizada y no se reconocen cristales de hornblenda en su composición mineral. Macroscópicamente rocas de color gris, poseen una textura porfírica y estructura vesicular. Estos minerales se encuentran meteorizados lo que dificulta su reconocimiento. Los minerales en paragénesis son titano-augita + plagioclasa (An₅₂) + hauyna ± apatito ± minerales opacos. Se observa una gran cantidad de vesículas comúnmente conectadas de tamaño 0.1 mm en la matriz. La composición de los cristales de plagioclasa es similar a la roca SUM-JS-40, con cristales de composición labradorita.

- **ROCAS DE LA CUMBRE DEL SUMACO**

Las rocas de la cumbre del Sumaco son de color gris, con estructura masiva y textura porfirítica. Se caracterizan por presentar fenocristales de piroxeno de un tamaño entre 1 y 2 mm. La muestra GS – 9 es la única muestra que presenta fenocristales incoloros de plagioclasa de un tamaño de 2 mm. Las muestras son moderadamente magnéticas. Las rocas se clasifican como tefri-fonolitas (53.01 – 55.09 wt-% SiO₂, según Garrison et al., 2018).

Microscópicamente, la roca es holocristalina con textura traquítica. La paragénesis mineral está compuesta por titanio-augita + plagioclasa (An₂₅₋₅₈) + hauyna + apatito ± minerales opacos. La matriz está compuesta principalmente de microlitos de apatito, pocos de plagioclasa y minerales opacos. El aspecto fluidal de la matriz está definida por la orientación que presentan los microlitos de apatito y plagioclasa. Se observan algunas pequeñas vesículas en la matriz formadas por el escape de las burbujas de gas.

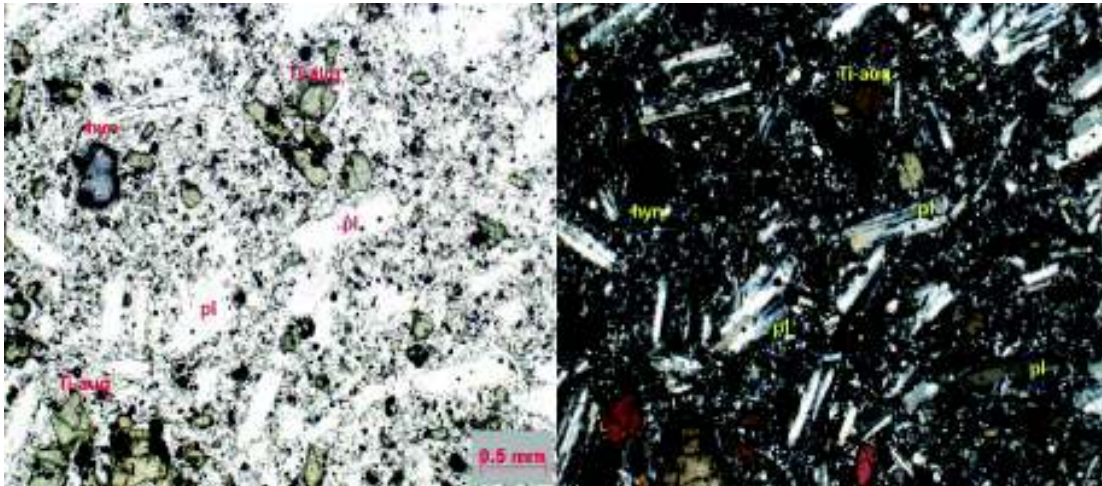


Figura 4.13 Muestra GS-17 (aumento 2.5x). Se observa cristal de hauyna en tonalidad azul (parte superior izquierda, LPP) que es isotrópico (imagen NX). Cristales prismáticos esparcidos de titanio-augita y varios cristales incoloros de plagioclasa con maclas polisintéticas.

Los cristales de hauyna son euhedrales a subhedrales, se encuentran zonados con tonalidades azules, la mayoría de los cristales (casi el 90%) presentan microinclusiones opacas dando un aspecto oscuro. Los cristales poseen un diámetro hasta aproximadamente 0.8 mm. La zonación ocurre por el cambio de composición del mineral durante el enfriamiento. El diámetro de los cristales (0.8 mm) y su forma (euhedral – subhedral) se debe a un enfriamiento lento que permitió un mayor crecimiento de estos cristales en comparación con los cristales de hauyna descritos anteriormente.

Los fenocristales de clinopiroxeno se presentan como agregados cristalinos y cristales con forma subhedral, presentan golfos de corrosión asociados al avance de la resorción y tienen un tamaño de hasta 0.21 mm. Estos cristales presentan pequeñas inclusiones de apatito, por lo cual su formación es posterior a estos cristales.

Los cristales de plagioclasa tienen una composición entre oligoclasa a labradorita (An_{25-58}), son cristales prismáticos, incoloros, con maclas polisintéticas y carlsbad y se caracterizan por presentar textura sieve. Los microcristales de plagioclasa tienen una composición más ácida que los fenocristales presentes en la muestra.

• **ROCAS DEL RÍO PUCUNO**

Las rocas del río Pucuno se han caracterizado utilizando las muestras disponibles en el museo petrográfico de la Facultad de Geología y Petróleos de la EPN. Al no poder diferenciar el tipo de depósito de las muestras coleccionadas debido a la falta de información, se agrupo las rocas según la paragénesis mineral observada.

El primer grupo de muestras del río Pucuno son de color gris oscuro con textura porfírica y estructura masiva. Únicamente la muestra de roca 1.20.112 posee una estructura vesicular con tamaños de vesículas de hasta 3 cm. Las rocas presentan un magnetismo moderado al pasar el imán. Se clasifican como tefritas (46.6 %-wt SiO_2 , muestra SU-12-L-10).

Microscópicamente las muestras se caracterizan por ser holocristalinas con una textura pilotáxica. El aspecto fluidal está dado por los microlitos de plagioclasa y minerales opacos que están formando parte de la matriz. La paragénesis mineral observada es titano-augita + plagioclasa (An_{70-90}) ± apatito ± minerales opacos.

Los cristales de apatito se encuentran como inclusiones en los clinopiroxenos, es decir su formación es más temprana que los cristales de titano-augita. Poseen una baja birrefringencia y algunos muestran su cara basal hexagonal. Los cristales de plagioclasa tienen una composición de bitownita (An_{70-90}) y presentan maclas polisintéticas y de carlsbad.

El segundo grupo de rocas está conformado por rocas de color gris con textura porfírica y estructura masiva, que presentan pequeños fenocristales de piroxeno (2-3 mm). Las rocas son moderadamente magnéticas y se clasifican como tefritas (43.68 wt-% SiO_2 , muestra SU-17-RF-10)

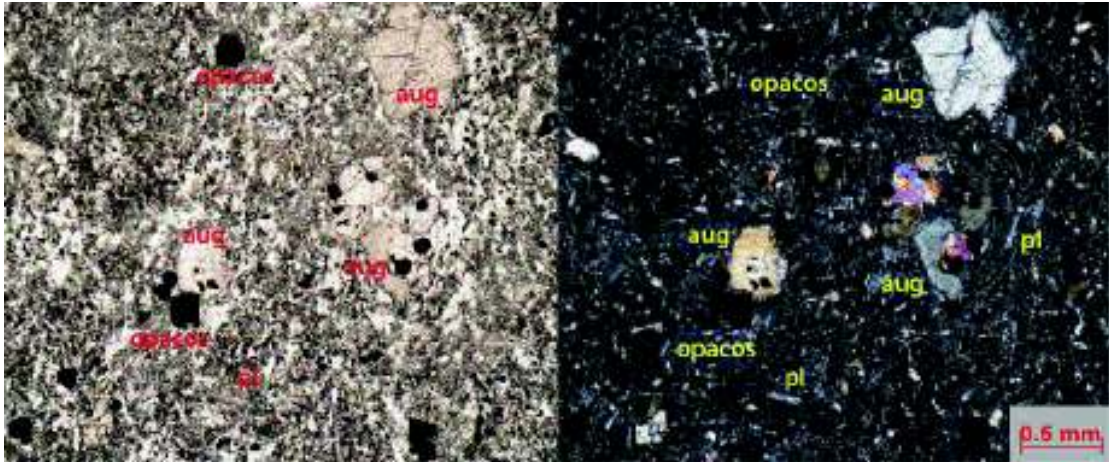


Figura 4.14 Muestra 1.20.29, perteneciente al primer grupo de rocas del río Pucuno. Se observa cristales de titanio-augita (parte superior izquierda, LPP) y pequeños cristales ordenados de bitownita.

Las muestras son holocristalinas con textura pilotáxica. Los minerales presentes en paragénesis son olivino + titanio-augita + apatito ± minerales opacos. La matriz está compuesta principalmente por microlitos de plagioclasa, apatito y minerales opacos. Es posible observar pequeñas vesículas en la matriz.

Los cristales de titanio-augita se presentan como agregados cristalinos y cristales con forma subhedral, característicos por presentar zonación reloj de arena. Presentan golfos de corrosión e inclusiones de cristales de apatito, los cuales también se encuentran como microfenocristales individuales.

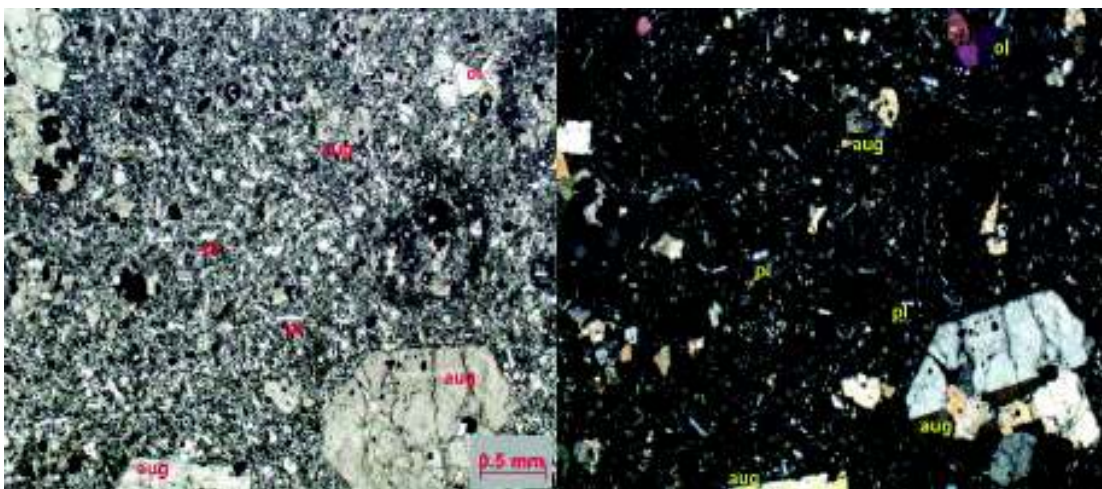


Figura 4.15 Muestra SUM A perteneciente al segundo grupo de rocas del Río Pucuno. Se observa agregados cristalinos de titanio-augita (parte inferior derecha, LPP).

Este segundo grupo de rocas del río Pucuno se diferencian al primero por la presencia de cristales de olivino (< 10% del contenido mineral). Estos cristales se encuentran reabsorbidos dando origen a los cristales de titanio-augita (golfos de corrosión rellenos por cristales de titanio-augita).

En el tercer grupo se encuentran rocas mucho más diferenciadas a comparación de los otros dos grupos de rocas del río Pucuno. Las rocas pertenecientes al tercer grupo son de color gris oscuro con textura porfírica y estructura masiva. Presentan fenocristales de titanio-augita de hasta 4 mm. Únicamente la muestra de roca 1.20.112 posee una estructura vesicular con tamaños de vesículas hasta 3 cm. Las rocas son levemente magnéticas al pasar el imán. Se clasifican como tefri-fonolitas.

Microscópicamente, las muestras son holocristalinas con textura traquítica. Los minerales en paragénesis son titanio-augita + plagioclasa (An₃₀₋₅₈) + hauyna + apatito ± minerales opacos. La matriz se encuentra formada por microlitos de apatito, plagioclasa (An₃₀) y minerales opacos.

Los cristales de hauyna son euhedrales – subhedrales con tonalidades azules, se encuentran zonados con bordes de oxidación bien marcados con un tamaño promedio de 0.3 mm. Los bordes de oxidación ocurren cuando magmas hidratados alcanzan niveles superficiales.

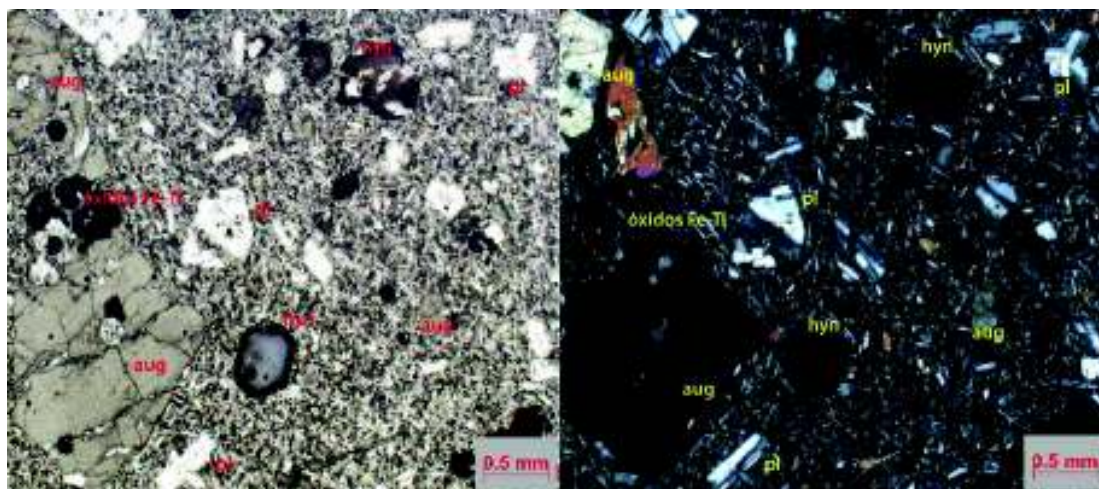


Figura 4.16 Muestra SUM C (aumento 2.5x). Se observan cristales de hauyna con bordes de oxidación (parte central inferior, LPP) con coloración azulada. Cristales de titanio-augita con golfos de corrosión (parte izquierda, LPP).

Los cristales de clinopiroxeno son identificados como titano-augita al presentar zonación reloj de arena y por su alta birrefringencia. Los cristales presentan golfos de corrosión debido a la resorción.

Los cristales de apatito se encuentran como inclusiones en la titanoaugita y también se pueden observar pequeños cristales individuales.

Los cristales incoloros de plagioclasa presentan una composición entre oligoclasa a labradorita. Los microlitos de plagioclasa tienen una composición más ácida (oligoclasa) que los fenocristales. Estos cristales presentan maclas polisintéticas y de Carlsbad.

- **Bomba en corteza de pan - Río Pingullo**

Dentro de las muestras pertenecientes a Dr. J. Garrison se tiene una bomba volcánica de aproximadamente 60 cm en corteza de pan, la cual ha sido coleccionada en las coordenadas (UTM) 18S 214800/9923664, 1060 msnm; a la orilla del río Pingullo.

Macroscópicamente, la roca es de color gris con textura porfírica y estructura masiva con fenocristales de piroxeno de diámetro hasta 0.5 mm y muy pequeños cristales azulados de hauyna. Presenta un magnetismo moderado al pasar el imán. Se clasifica como tefrita.

Microscópicamente, la bomba es holocristalina con textura traquítica. Los minerales en paragénesis son titano-augita + plagioclasa (An₃₀₋₅₅) + hauyna ± apatito ± minerales opacos. La matriz se compone de microlitos de apatito, plagioclasa (An₃₀₋₃₅) y minerales opacos. Se observan algunas vesículas en la matriz por la desgasificación de los gases presentes en la lava durante el enfriamiento.

Se distingue microfenocristales de plagioclasa con disposición fluidal. Presentan una composición entre oligoclasa a labradorita (An₃₀₋₅₅). Son cristales prismáticos incoloros y se encuentran maclados y presentan textura sieve debido a la reabsorción. Es importante mencionar que los cristales de plagioclasa presentes en las rocas más diferenciadas del volcán Sumaco han presentado una composición entre oligoclasa a labradorita (An₂₅₋₅₇).

Los cristales de titano-augita presentan golfos de corrosión debido a la resorción, con inclusiones de cristales de plagioclasa (labradorita). Algunos cristales presentan inclusiones de apatito. Los cristales de apatito son idiomorfos, se presentan como inclusiones en los fenocristales de titano-augita a veces muestran su cara basal hexagonal y como micro-fenocristales individuales.

Los cristales de hauyna son idiomorfos incoloros, se encuentran zonados, presentan golfos de corrosión y algunos se encuentran levemente alterados a minerales arcillosos. Los cristales miden aproximadamente 0.25 mm.

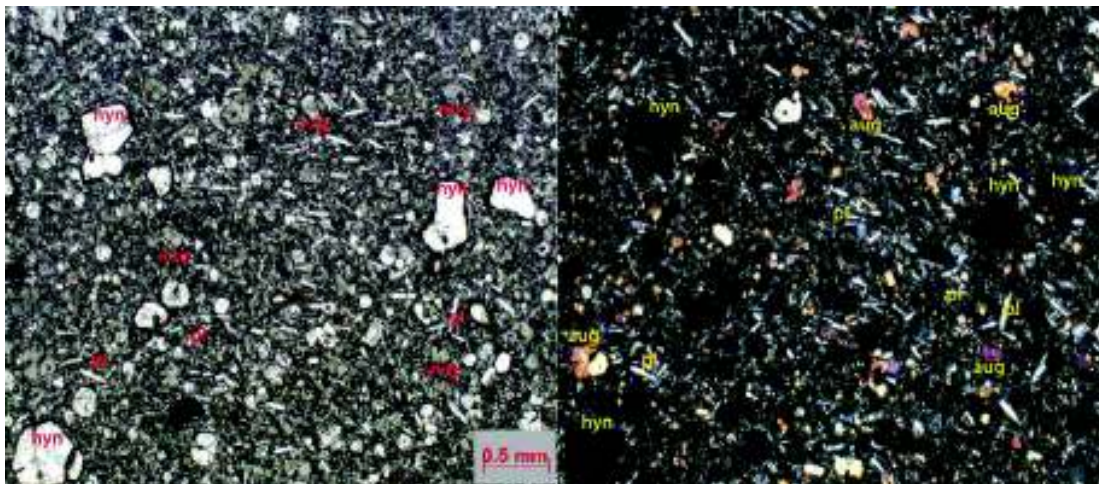


Figura 4.17 Lámina delgada de la muestra SU-19-RF-10 (aumento 2.5x). Se observan varios cristales incoloros de hauyna (parte superior derecha, LPP) con forma euhedral – subhedral. La bomba pertenece a las rocas más jóvenes del volcán Sumaco al presentar una composición similar a las rocas de la cumbre (ejemplo: muestra GS-9).

La bomba presenta una composición clasificada como “más diferenciada” entre las rocas del volcán Sumaco, con cristales euhedrales-subhedrales de hauyna que se formaron durante un enfriamiento lento. Por tanto, la bomba (SU-19-RF-10) pertenece a las rocas más jóvenes del volcán Sumaco por su composición similar a las rocas de la cumbre, rocas clasificadas como tefri-fonolitas.

- **Rocas relacionadas con el volcán Sumaco: Debris Flow Tena**

Además de las rocas ya descritas anteriormente, se ha caracterizado una roca particular, posiblemente perteneciente al volcán. Esta roca pertenece a un flujo de escombros enorme ubicado al nor-este de la ciudad del Tena. El depósito se encuentra en las coordenadas (UTM) 189515 / 9888593, 570 msnm, cerca del bipass de Tena-Puerto Napo.

La roca macroscópicamente presenta una textura porfírica con estructura vesicular. La roca es color gris con fenocristales de hauyna de un tamaño de < 1 mm. Se observa además fenocristales de piroxeno con tamaño de hasta 2 mm. Presenta un magnetismo moderado al pasar el imán. La roca se clasifica como tefrita.

Microscópicamente, la roca es holocristalina con textura traquítica. Los minerales en paragénesis son titanio-augita + plagioclasa (An₃₀₋₅₄) + hornblenda + hauyina ± apatito ± minerales opacos. La matriz se compone de microlitos de apatito, plagioclasa (An₃₀₋₃₂) y minerales opacos. Algunas vesículas son visibles en la matriz con áreas isotrópicas incoloras, transparentes e irregulares, formadas por las burbujas atrapadas creadas por el gas que escapa de las rocas.

Se distinguen dos generaciones de plagioclasa de composición entre labradorita a andesina (An₃₀₋₅₄). La primera generación forma cristales prismáticos con texturas sieve bien marcadas y tienen una composición de labradorita (An₅₄). La segunda forma microcristales que se encuentran formando parte de la matriz, estos cristales han sido creados durante la erupción y presentan una composición más ácida (andesina) que los fenocristales. La textura tipo sieve es producto de la reabsorción de los cristales de plagioclasa. Los cristales de plagioclasa presentan maclas polisintéticas y maclas de carlsbad.

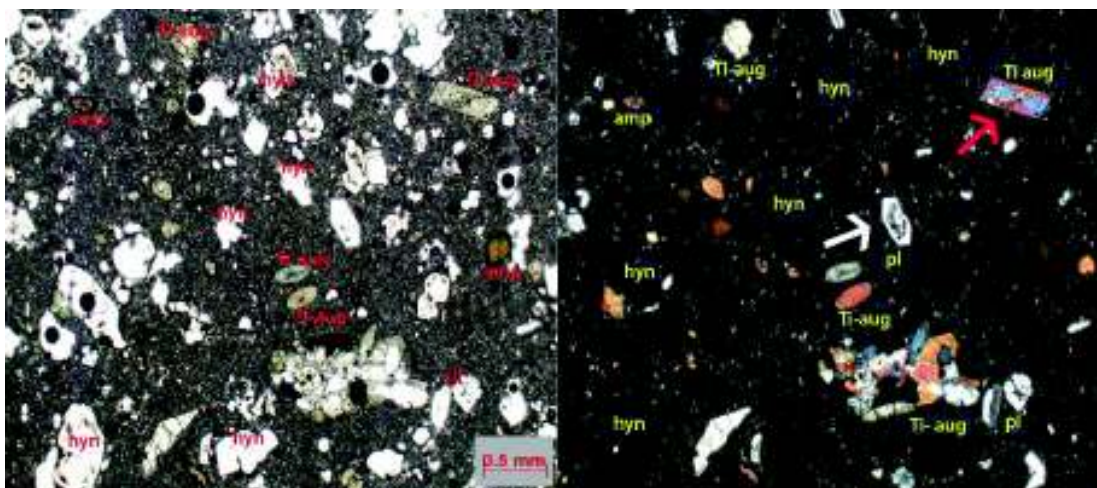


Figura 4.18 Muestra SUM-JS-36 (aumento 2.5x). Se observa agregados cristalinos de titanio-augita (abajo derecha, LPP) y cristales euhedrales con zonación reloj de arena (flecha roja). Además, se observa cristales marrones de hornblenda con bordes de oxidación (parte derecha, LPP). Los cristales de plagioclasa (labradorita a andesina) presentan textura sieve (flecha blanca).

Los cristales de hornblenda son idiomorfos de color marrón con bordes de oxidación, algunos están zonados y se encuentran presentes en un ~13 % del volumen total mineral de la roca. Algunos cristales presentan inclusiones de apatito. Es característico observar un pleocroísmo marcado de amarillo a marrón rojizo. La formación de estos cristales se asocia a la presencia de agua magmática. Cuando magmas hidratados alcanzan niveles superficiales, donde por la súbita pérdida de presión escapan los volátiles, causa que los

fenocristales de hornblenda (que contienen agua), se deshidraten y oxiden, dando finos anillos de óxidos de hierro. La hornblenda ha sido reabsorbida parcialmente con el desarrollo de los cristales de minerales opacos como producto de resorción.

Los cristales de apatito son idiomorfos y se presentan como inclusiones en los fenocristales de titano-augita y a veces en la hornblenda. Por lo cual, estos cristales son anteriores al clinopiroxeno y hornblenda.

Los cristales de hauyna son euhedrales a subhedrales, incoloros y en tonos azules, se encuentran zonados, presentan golfos de corrosión y micro-inclusiones de minerales opacos que les dan un aspecto oscuro. Los cristales miden aproximadamente 0.18 mm. La forma euhedral-subhedral y la presencia de golfos de corrosión estarían asociados a un rápido crecimiento que envuelve al fundido debido al sobreenfriamiento, lo que es clave para confirmar la existencia de una cámara magmática superficial bajo el Sumaco (Garrison et al., 2018).

Esta roca (SUM-JS-36) es considerada la más diferenciada de todas las rocas estudiadas en el presente trabajo. Su paragénesis mineral es similar a las rocas del flujo de lava Huataracu (SUM-JS-40), por tanto serían las rocas más jóvenes del volcán. La última afirmación se discute en el capítulo 5.

Comentarios:

Se han observado cuatro paragénesis minerales en las rocas del volcán Sumaco: a) titano-augita + olivino, b) titano-augita + plagioclasa (bitownita), c) titano-augita + plagioclasa (An_{24-58}) + hauyna y d) titano-augita + plagioclasa (An_{24-54}) + hornblenda + hauyna. Las rocas clasificadas como más máficas del Sumaco poseen las dos primeras paragénesis minerales (a y b), mientras que las rocas más diferenciadas del Sumaco se caracterizan por presentar las paragénesis minerales que contienen cristales de hauyna (c y d).

Las rocas predominantes pertenecientes a los depósitos de avalancha DAE-RS y DAE-CHC presentan una paragénesis mineral con ausencia del mineral hauyna. Son rocas clasificadas como tefritas porfíricas y pertenecen al grupo de rocas más máficas del Sumaco. A este grupo también pertenecen las rocas predominantes del depósito de lahar "Loreto" y las rocas de los flujos de lava Río Hollín, Pucuno y Guamaní. Estas rocas se caracterizan por presentar plagioclasa de composición más cálcica (bitownita) que las rocas más diferenciadas (oligoclasa a labradorita) del Sumaco. Las inclusiones de cristales de apatito son comunes dentro de los cristales de titano-augita, característicos por su zonación reloj de arena. Algunos cristales de clinopiroxeno están corroídos pero la

reabsorción no es un factor importante. Los opacos son minerales accesorios dominantes en todas las muestras más básicas del Sumaco.

Las rocas más diferenciadas del Sumaco están presentes en la cumbre del volcán. Además, rocas con cristales de hauyna son predominantes en el depósito de avalancha DAE-RG, y la bomba perteneciente al río Pingullo. Las rocas del flujo de lava Huataraco y del debris flow Tena son las únicas rocas que poseen cristales de hornblenda y cristales de hauyna en su composición mineral. Estas rocas serían las rocas más diferenciadas del Sumaco formadas a partir de un magma hidratado. Los cristales de hornblenda presentan finos anillos de óxidos de hierro formados cuando magmas hidratados alcanzan niveles superficiales, donde por la súbita pérdida de presión escapan los volátiles y hace que se deshidraten y oxiden. Además, los cristales de hornblenda han sido reabsorbidos parcialmente con el desarrollo de minerales opacos como producto de resorción. Los minerales opacos son igualmente un mineral accesorio dominante en este grupo de rocas. Los cristales de plagioclasa son de composición entre oligoclasa a labradorita, los microlitos de plagioclasa son más ácidos que los fenocristales. Algunos cristales presentan textura sieve producto de resorción. Los cristales de titano-augita se caracterizan por presentar estructura reloj de arena, se encuentran zonados con inclusiones de apatito. Los cristales de hauyna son euhedrales –subhedrales incoloros, a veces en tonalidades azules, con un tamaño máximo de 0.8 mm. El apatito como los minerales opacos son los minerales accesorios abundantes en todas las rocas del Sumaco.

Tabla 13. Resumen de la mineralogía para las rocas del volcán Sumaco, considerando el tipo de depósito. An=Anortita; Hbl=Hornblenda; Hyn=Hauyna; Ti-aug=Titano-augita; Pl=Plagioclasa; Ol=Olivino.

<i>Tipo de Depósito</i>	<i>Nombre</i>	<i>Paragénesis Mineral</i>
DAE-SUM	DAE-RS	Ti-aug + Pl (An ₇₀₋₉₀)
	DAE-CHC	Ti-aug + Pl (An ₇₀₋₉₀)
	DAE-LP	Ti-aug + Pl (An ₇₀₋₉₀)
	DAE-RG	Ti-aug + Pl (An ₂₄₋₅₈) + Hyn
FLUJOS DE LAVA	HOLLÍN	Ol + Ti-aug + Pl (An ₇₀₋₉₀)
	GUAMANÍ	Ti-aug + Pl (An ₇₀₋₉₀)
	HUATARACU	Ti-aug + Pl (An ₂₄₋₅₂) + Hbl + Hyn
ROCAS DE LA CUMBRE		Ti-aug + Pl (An ₂₄₋₅₈) + Hyn
BOMBA EN CORTEZA DE PAN	PINGULLO	Ti-aug + Pl (An ₃₀₋₅₅) + Hyn
FLUJOS DE LODO	PUENTE LORETO	Ol + Ti-aug + Pl (An ₇₀₋₉₀)
	TENA	Ti-aug + Pl (An ₃₀₋₅₄) + Hbl + Hyn
* El apatito y los min. opacos son minerales accesorios presentes en todas las muestras.		

4.2 Caracterización Geoquímica

La geoquímica es una ciencia que estudia el origen, distribución y evolución de los elementos químicos en la corteza terrestre. Tiene un rol importante en el estudio e interpretación de procesos geológicos ya que permite diferenciar diversos tipos de rocas en especial cuando tienen características petrográficas similares.

En el presente estudio se seleccionaron seis muestras representativas para el análisis geoquímico. Las muestras se seleccionaron con el objetivo de diferenciar geoquímicamente cada depósito estudiado. Dos muestras pertenecen a rocas de depósitos de avalancha de escombros, dos muestras pertenecen a depósitos de flujos piroclásticos y las otras dos pertenecen a flujos de lava del volcán.

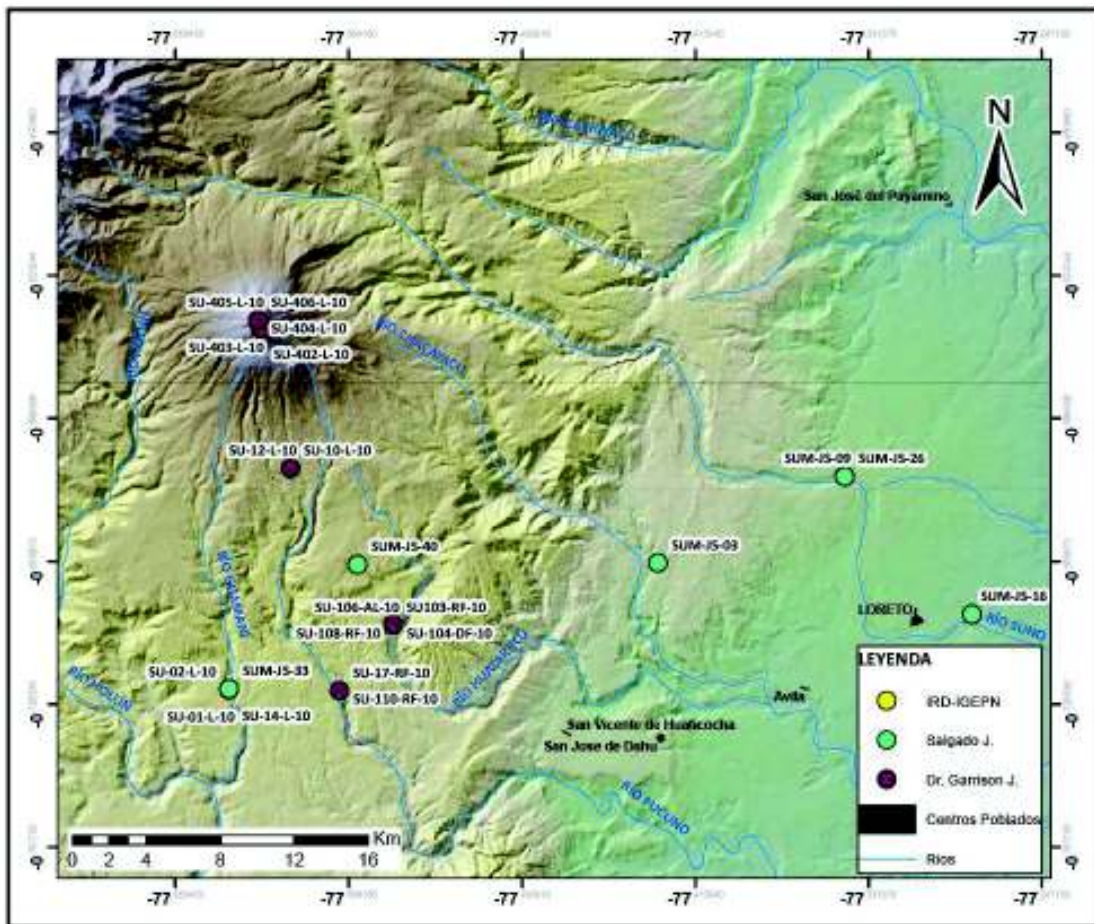


Figura 4.19 Mapa de ubicación de las muestras de rocas que son parte del análisis geoquímico.

Los datos geoquímicos utilizados por IRD-IGEPN, no poseen ubicación.

Cuatro muestras (SUM-JS-03, SUM-JS-09, SUM-JS-16, SUM-JS-26) fueron enviadas al GeoAnalytical Laboratory de la Universidad del Estado de Washington, EEUU donde fueron

analizadas usando la técnica de fluorescencia de rayos X (XRF, sigla en inglés) para determinar los porcentajes de óxidos mayores y análisis en ICP-MS (Inductively Coupled Plasma – Mass Spectrometry) para determinar las concentraciones de elementos traza. Además, dos muestras de flujos de lava (SUM-JS-33 y SUM-JS-40) fueron analizadas en el Laboratorio de la Universidad de Bretaña Occidental en Francia.

Adicionalmente, se dispone de datos geoquímicos publicados en los artículos científicos de Garrison et al., (2018) e IRD-IGEPN los cuales se utilizaron bajo su autorización.

En total se dispone de 74 muestras con datos geoquímicos representados en el mapa de la Figura 4.19. Los códigos de las muestras de este estudio tienen las letras SUM-JS-..., las muestras del trabajo de Garrison J. empiezan con SU-..., mientras que las muestras de IRD-IGEPN empiezan con SUM-..., en el mapa se ha utilizado diferentes símbolos para una mejor identificación.

Los datos geoquímicos utilizados por IRD-IGEPN, no poseen ubicación (datos s.l). Por lo contrario, las muestras de Garrison J. si poseen coordenadas geográficas permitiendo una mejor correlación e interpretación de los datos.

Los datos geoquímicos fueron recalculados al 100% sobre una base anhidra, es decir, excluyendo el valor del LOI (loss on ignition = pérdida al fuego). El LOI expresa el contenido total de volátiles determinado por el calentamiento de la muestra a temperaturas de 1000°C, por lo cual ayuda a tener una idea de la calidad de la muestra. Ya que al haber mayor contenido de volátiles podemos asumir que esto puede deberse a oxidación u otras alteraciones en la muestra y que estos procesos pudieron haber evacuado óxidos. Generalmente, la pérdida al fuego es proporcional al contenido de SiO₂, en base a este criterio, se pueden aceptar valores relativamente altos para rocas más ácidas.

En el caso de las muestras del volcán Sumaco, se puede observar que los valores para el LOI están aproximadamente en el rango entre 0 - 3.7 wt% (Figura 4.20). Aunque las muestras más básicas del Sumaco presentan mayor variación, se puede mencionar que los datos analíticos son de buena calidad y no presentan mayor afectación por los factores indicados anteriormente.

Según Garrison et al., (2018) “las rocas del Sumaco se subdividen en dos grupos según su contenido en azufre (S) (ppm). Las muestras con alto contenido en S (> 500 ppm) que corresponden a las muestras más diferenciadas y las muestras con bajo contenido en S (< 200 ppm) que corresponden a las muestras más básicas”. El análisis de este elemento (S ppm) no está disponible en los datos químicos que se posee para este estudio. Por lo cual,

no ha sido posible realizar esta distinción. Sin embargo, Garrison et al., (2018) ha caracterizado cada campo (bajo-S y alto-S) de acuerdo al contenido en SiO_2 . De manera que, las muestras utilizadas en el presente análisis geoquímico (86 muestras) han sido agrupadas de acuerdo a su contenido en SiO_2 , formando dos grupos.

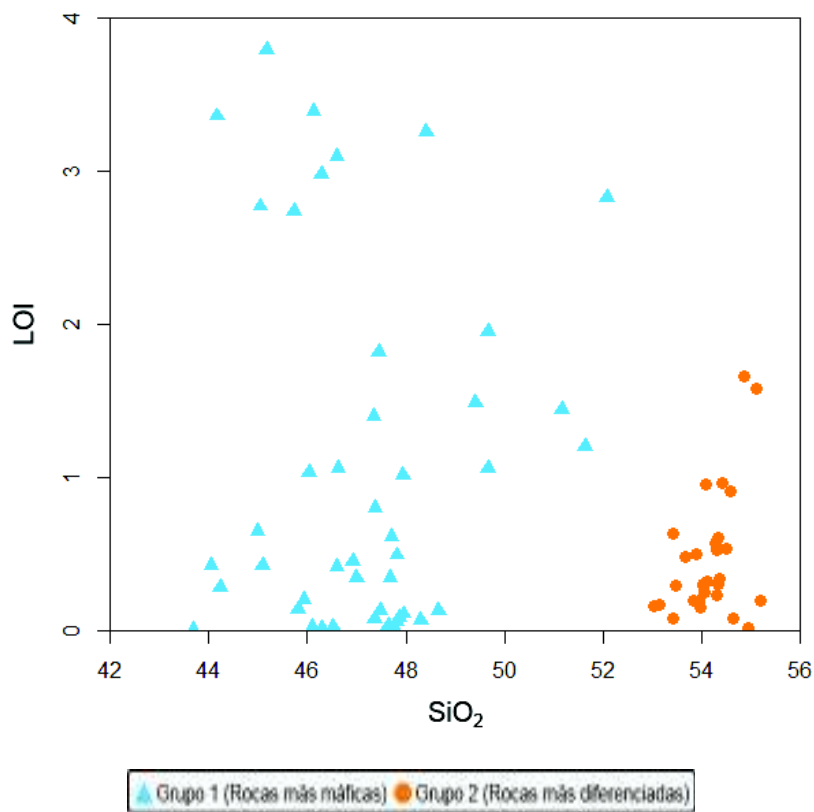


Figura 4.20 Diagrama LOI vs SiO_2

El primer grupo lo conforman las muestras más máficas del Sumaco clasificadas como picrobasaltos, tefritas, basanitas, fonotefritas con un contenido en SiO_2 entre 43 a 49 wt% y MgO desde 4 a 7 wt%.

El segundo grupo se encuentra conformado por tefrifonolitas, traquibasaltos, traquiandesitas y traquiandesitas basálticas que representan las rocas más diferenciadas del Sumaco definidas por un contenido en SiO_2 desde 49 a 57 wt% y MgO de 1.74 – 2.20 wt% (Figura 4.21).

En la Figura 4.20 se plotean las 74 muestras del Sumaco utilizadas en este estudio. El primer grupo se lo distingue por un color azul (más máficas) y las rocas del segundo grupo por color anaranjado (más diferenciadas). Las rocas del Sumaco ocupan el campo alcalino en el diagrama Total Alkali Silica (TAS) (Le Bass et al., 1986) a diferencia de las demás

rocas pertenecientes al arco volcánico ecuatoriano (Cotopaxi, Reventador, Antisana y Tungurahua) que se encuentran dentro del campo subalcalino/teolítico del diagrama TAS. Es decir, en el Ecuador son las únicas lavas que presentan características de rocas alcalinas.

El campo de las rocas más diferenciadas está formado por las rocas consideradas las más jóvenes, pertenecientes a la cumbre y varios flujos de lava cercanos ubicados en los flancos del Sumaco. Las rocas más máficas lo conforman rocas más viejas pertenecientes a los flujos de lava distales que afloran en los ríos Hollín, Pucuno, Guamaní, así como también rocas pertenecientes a depósitos de avalanchas (DAE-RS, DAE-CHC y DAE-LP) y rocas del depósito de lahar ubicado en Loreto. Como referencia, el depósito de lahar “Loreto” tiene una edad de 25 310 +/- 100 años BP.

Para conocer la clasificación de las rocas del Sumaco, se procedió a crear los diagramas geoquímicos de clasificación considerando que la suma de los porcentajes en peso (wt%) de los óxidos mayores corresponda al 100%, siendo así normalizados. Los elementos traza fueron utilizados en base a sus concentraciones obtenidas en partes por millón (ppm).

Los datos geoquímicos se procesaron en el software de acceso libre GSDkit 4.1. Este software escrito en lenguaje R, permite analizar datos geoquímicos y establecer sus relaciones, además de poder representarlos gráficamente.

4.2.1 Óxidos Mayores

Los óxidos de elementos mayores son los elementos que predominan en los análisis químicos de roca (Philpotts & Ague, 2009; Rollinson, 1992). Estos elementos presentes en altas concentraciones controlan en gran medida la cristalización de los minerales petrogenéticos en las rocas a partir de fundidos.

Las principales características geoquímicas de los datos analizados, revelan que el primer grupo (SiO_2 , < 49 wt%) se caracteriza por presentar niveles de potasio relativamente variables (K_2O , 0.94 – 3.73 wt%), altos contenidos en fósforo (P_2O_5 , 0.56 – 1.80 wt%) y titanio (TiO_2 , 1.06 – 2.01 wt%) en comparación con el segundo grupo de rocas del Sumaco.

Las muestras pertenecientes al segundo grupo (SiO_2 , > 49 wt%) presentan valores más altos de potasio (K_2O , 1.53 – 4.50 wt%), menor cantidad de fósforo con valores que llegan hasta 1.22 wt% y altos contenidos de titanio (TiO_2 , 0.73 – 1.18 wt%) en comparación con el primer grupo de rocas del Sumaco.

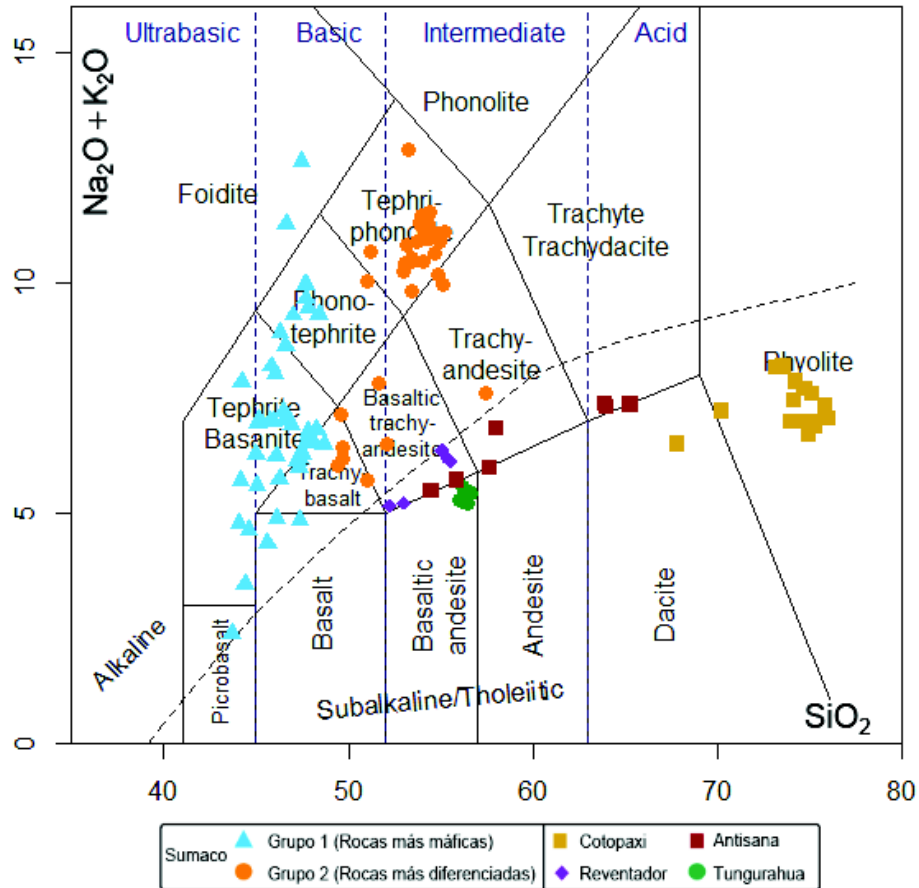


Figura 4.21 Diagrama Total Alkali Sílica (TAS) (Le Bass et al., 1986) que muestra el grupo de rocas más máficas y el grupo de rocas más diferenciadas del Sumaco. También se muestran diferentes rocas pertenecientes al Arco Ecuatoriano.

Según el diagrama de clasificación química de rocas volcánicas Le Bass et al., (1986) (Figura 4.21), las rocas pertenecientes al primer grupo se encuentran distribuidas en un rango desde picrobasaltos hasta fonotefritas. El segundo grupo se encuentra conformado por tefrifonolitas, traquibasaltos, traquiandesitas y traquiandesitas basálticas consideradas las rocas más diferenciadas. Todas las rocas del Sumaco pertenecen al campo alcalino del diagrama Total Alkali Sílica (TAS) (Figura 4.21).

En la clasificación de Peccerillo y Taylor (1976) casi todas las muestras pertenecen a la serie absarokita-shoshonita-banakita (Figura 4.22), esta serie se caracteriza por ser rica en potasio, con un comportamiento variable del Fe y un grado variable de saturación en sílice (Escobar et al., 2012). Además, representa las últimas manifestaciones volcánicas de la zona de subducción ecuatoriana cuando la placa es continental. En la Figura 4.22, se diferencia la serie shoshonítica de las rocas del volcán Sumaco, de la serie calco-alcalina

a la que pertenecen las rocas de otros centros volcánicos del Arco Ecuatoriano (Cotopaxi, Antisana, Reventador y Tungurahua).

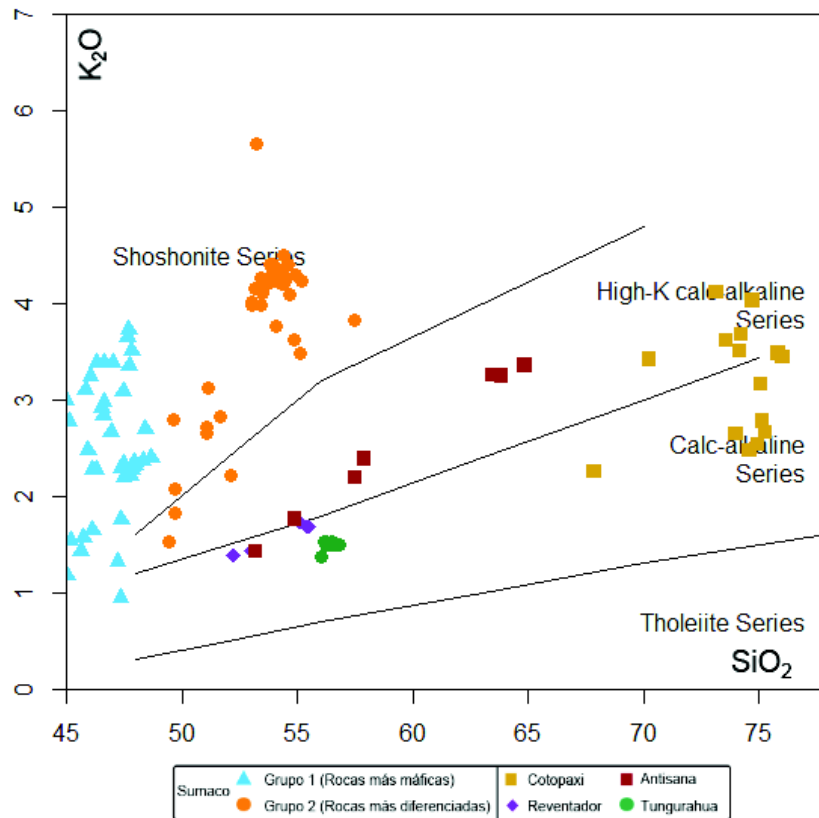


Figura 4.22 Diagrama SiO_2-K_2O (Peccerillo and Taylor 1976). Se muestra las rocas del Sumaco pertenecientes a la serie shoshonítica comparadas con las rocas de otros volcanes del Arco Ecuatoriano.

4.2.2 Diagramas Harker

Los diagramas Harker, desarrollado por el petrólogo británico Alfred Harker (1909), es un simple diagrama x-y que representa la sílice en la abscisa contra los otros óxidos en las ordenadas. Este diagrama permite describir la evolución magmática.

Las concentraciones para el Al_2O_3 muestran una tendencia con pendiente positiva. Las rocas más máficas se concentran entre los valores de 13.98 – 22.60 wt% con mayor variabilidad respecto a las rocas más diferenciadas (18.51 – 21.11 wt%). El aluminio se relaciona a la cristalización de hauyña en las rocas más diferenciadas del Sumaco. La presencia de cristales de hornblenda en las rocas más diferenciadas también estaría asociada al comportamiento incompatible de este elemento. Valores altos en las rocas más máficas se asocian al mineral accesorio hercinita.

El TiO_2 igualmente muestra altos valores con relación a las otras rocas del arco ecuatoriano (0.73 – 2.01 wt%), se caracteriza por presentar una tendencia con pendiente negativa. Los valores de Ti en las rocas más máficas varían entre 1.06 – 2.01 wt%, siendo muy similares a los valores de las rocas diferenciadas (0.73 – 1.18 wt%). La tendencia con pendiente negativa del titanio se asocia a la presencia de titano-augita en todas las rocas del Sumaco, así como también a la presencia del mineral opaco hercinita como mineral accesorio principal en todas las rocas del Sumaco.

El MgO tiene un comportamiento negativo con bajos valores (1.69 – 3.91 wt%) en las rocas más evolucionadas del Sumaco. Se puede observar una sola tendencia con pendiente negativa que sugiere la cristalización de olivino y clinopiroxeno (titano-augita).

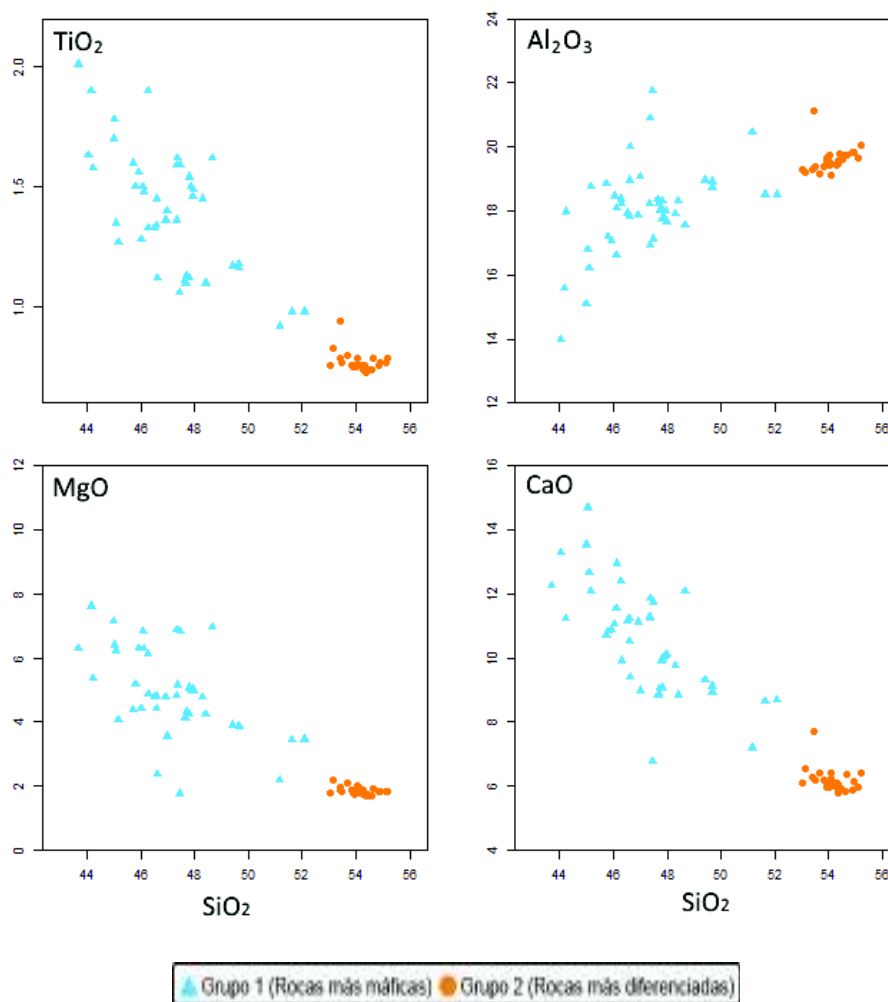


Figura 4.23 Diagrama de elementos mayores con respecto al SiO_2 .

El CaO que generalmente cristaliza en la plagioclasa, muestra una tendencia con pendiente negativa muy bien definida. Las rocas máficas (6.78 – 15.6 wt%) están enriquecidas en

comparación a las rocas más diferenciadas (5.79 - 9.31 wt%). El comportamiento de este elemento también está asociado principalmente a la formación del clinopiroxeno titano-augita, ya que el Al_2O_3 casi no disminuye con respecto al SiO_2 . Las rocas más máficas del Sumaco contiene plagioclasa de composición bitownita (plagioclasa cálcica). Por lo cual, el calcio presenta valores más altos en el Grupo 1 de rocas del volcán Sumaco. Este elemento también ingresa en la hauyna.

Los niveles de P_2O_5 son altos con relación a las otras rocas del arco ecuatoriano y presentan una tendencia negativa bien definida. Las rocas menos diferenciadas con valores entre 0.56 – 1.80 wt%, mayores a las rocas evolucionadas (0.43 – 1.22 wt%). La tendencia con pendiente negativa de este elemento se debe a la presencia del mineral apatito como mineral accesorio dominante en todas las rocas del volcán Sumaco.

Tanto el TiO_2 como el P_2O_5 estarían asociados a la presencia de minerales accesorios tales como óxidos de Fe-Ti (ilmenita) y en el caso de P con el apatito, cristales abundantes en casi todas las rocas del Sumaco. El titanio (TiO_2) también participa en la cristalización del clinopiroxeno titano-augita.

El Na_2O muestra una relación lineal levemente inclinada con pendiente positiva. La presencia del sodio se asocia principalmente a la hauyna. El contenido de Na en las rocas máficas (1.31 – 9.54 wt%) es inferior respecto a las más diferenciadas (4.08 – 7.55 wt%). El sodio también está presente en las plagioclasas que tienen una composición entre oligoclasa a labradorita (plagioclasas más sódicas) en el grupo de rocas más diferenciadas del volcán Sumaco.

Los contenidos en FeO son variables, la tendencia mostrada no es clara, aunque las muestras se alinean con una pendiente negativa. Los valores de FeO en las rocas más máficas varían entre 5.46 – 10.53 wt%, cuyos valores son similares en comparación a las rocas más diferenciadas (3.92 – 9.86 wt%). Los valores similares mostrados en ambos grupos de las rocas del Sumaco ocurren por la presencia de minerales opacos (hercinita e ilmenita) en todas las rocas del Sumaco, estos minerales son accesorios dominantes junto al apatito.

Por su parte el contenido de K_2O es alto con valores que llegan hasta el 4.50 wt% en comparación con las otras rocas del arco ecuatoriano. La tendencia mostrada tiene una pendiente positiva. Las muestras más enriquecidas corresponden a las rocas más diferenciadas (1.53 – 4.50 wt%) en comparación con las muestras más máficas (0.94 – 3.73 wt%) (Figura 4.24).

En resumen, los elementos mayores para las rocas del volcán Sumaco, muestran principalmente una correlación negativa para: $TiO_2 > CaO > P_2O_5 > MgO > FeO^*$ y correlaciones positivas para: $Al_2O_3 > K_2O > Na_2O$. Las líneas de tendencia que muestran los elementos mayores se ajustan bien a procesos de cristalización fraccional. El decrecimiento en MgO , FeO^* , CaO y TiO_2 con el incremento de la SiO_2 , sería consistente con la remoción temprana de plagioclasa (bitownita), olivino y/o titano-augita desde el líquido que se enfría, presentes en las rocas más máficas del Sumaco. El incremento de Na_2O , K_2O y Al_2O_3 , se debe a que no son incorporados a los minerales que cristalizan y se conservan o concentran en el líquido residual. El sodio, el aluminio y el calcio forman parte del mineral hauyuna, presente en las rocas más diferenciadas del Sumaco.

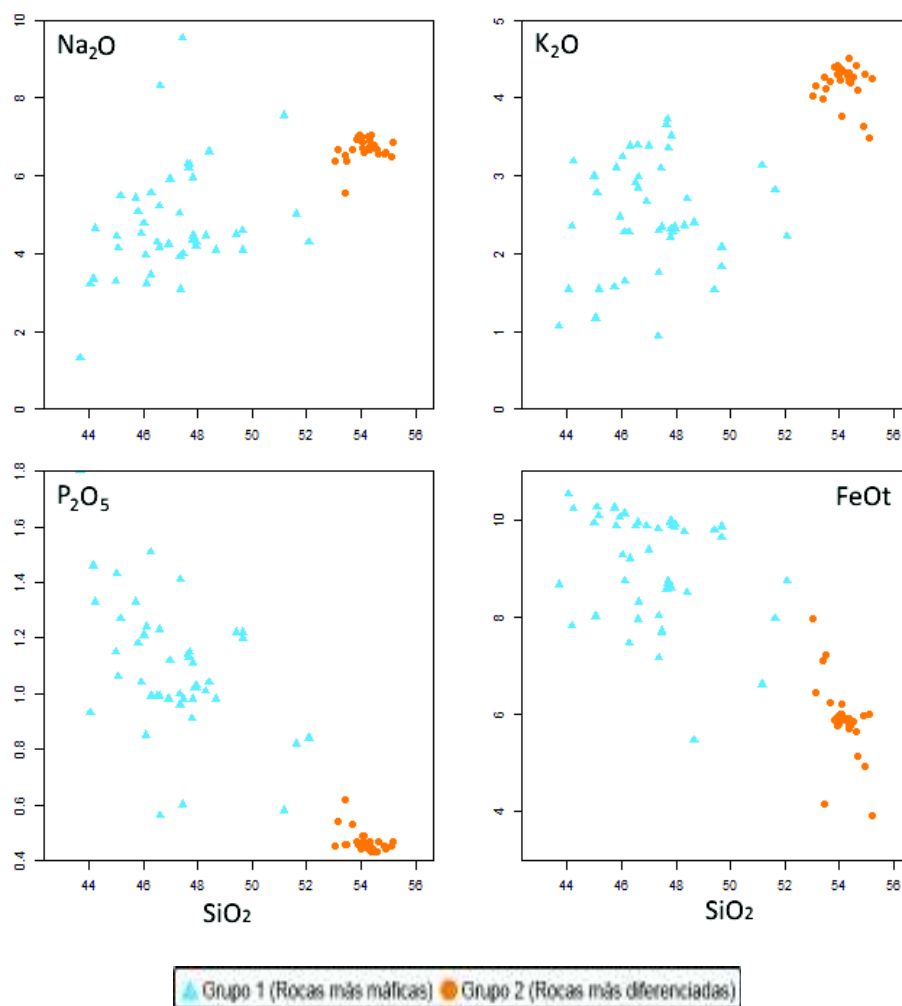


Figura 4.24 Diagrama de elementos mayores con respecto al SiO_2 . (Continuación).

4.2.3 Elementos Traza

Los elementos traza se encuentran presentes en una roca en concentraciones menores al 0.1% (1000 ppm) (Rollinson, 1992). Los estudios de estos elementos son fundamentales en los estudios petrológicos ya que permiten cuantificar los procesos de diferenciación y ver la participación de fases accesorias.

Primeramente, se plotó dichos elementos en un diagrama Spider normalizado que representa al manto primitivo de Sun y McDonough (1989), mostrando una anomalía negativa en Nb que es más pronunciada en las rocas más básicas del Sumaco. Además, se puede apreciar una anomalía negativa en P, relacionada con el fraccionamiento de apatito; mientras que la anomalía negativa en Ti, nos indica el fraccionamiento de óxidos de Fe y Ti. Se puede apreciar una anomalía positiva en Pb, posiblemente asociada a contaminación de la corteza. Las muestras más diferenciadas presentan una deflexión más pronunciada en P y Ti en comparación con las muestras más máficas (Figura 4.25).

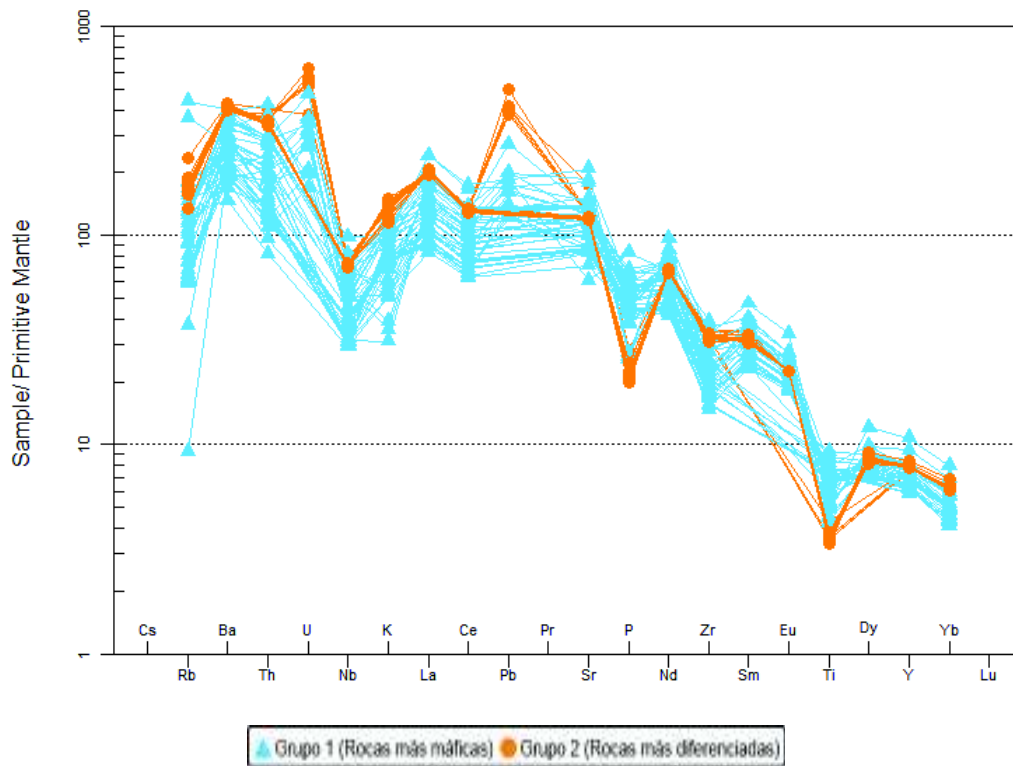


Figura 4.25 Diagrama Spider de Elementos Traza para las rocas del Sumaco normalizados a la composición del manto primitivo (Sun & McDonough, 1989).

En el segundo diagrama Spider, normalizado al manto primitivo de Sun y McDonough (1995), se puede evidenciar claramente el fraccionamiento de los HREE con respecto a

los LREE. Las concentraciones en LREE de las rocas más máficas son inferiores respecto a las muestras más diferenciadas. En el diagrama se puede apreciar que todos los datos siguen la misma tendencia (Figura 4.26).

En general, las rocas del Sumaco presentan características relacionadas a zonas de subducción con anomalías negativas en Nb, Ti, enriquecimiento en LREE y bajas concentraciones en HREE. Estos patrones son similares a los mostrados por las lavas de los volcanes del Arco principal, aunque en concentraciones generales más altas.

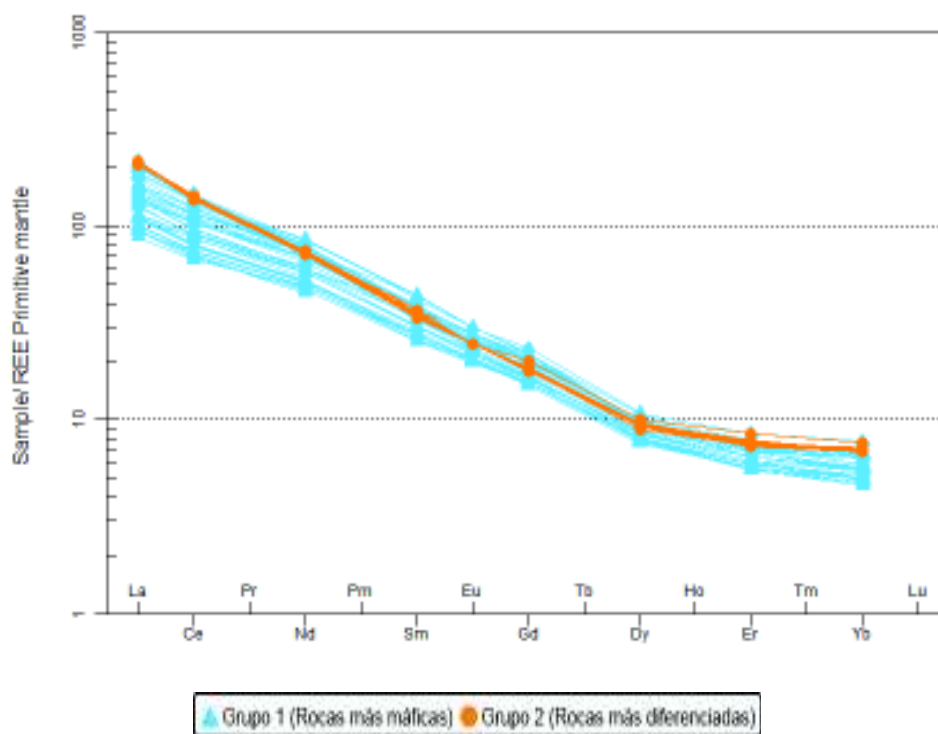


Figura 4.26 Diagrama Spider de Elementos de Tierras Raras (REE) para las rocas del Sumaco normalizados a la composición del manto primitivo (McDonough & Sun, 1995)

A continuación se presenta el análisis de los elementos trazas realizado a partir de los diagramas Harker (Figura 4.27 a la Figura 4.30).

El Sc muestra una correlación negativa conforme incrementa el contenido de SiO₂. Las muestras más diferenciadas presentan valores inferiores (3.2 – 10.6 ppm) respecto a las muestras más máficas (1.60 – 40 ppm). Por consiguiente, se tiene que el Sc estaría formando el clinopiroxeno (titano-augita).

El V generalmente sigue la tendencia del TiO₂, el cual decrece a medida que aumenta el contenido de SiO₂ (Gill, 2012). Las muestras presentan una clara correlación negativa, los

valores en las muestras más máficas van desde 195 a 356 ppm, y en las muestras más diferenciadas desde 120 a 202 ppm. El V muestra un fuerte fraccionamiento en los óxidos de Fe-Ti, minerales accesorios principales en todas las rocas del Sumaco.

El Cr presenta una correlación lineal negativa conforme incrementa el contenido de SiO₂; la correlación es menos uniforme a la mostrada por el V. Los contenidos de Cr son superiores en las rocas más máficas (2.50 – 130 ppm) que en las rocas más diferenciadas (3.0 – 16 ppm). El Cr cristaliza generalmente en el clinopiroxeno.

El Co presenta una clara correlación negativa con la sílice. Con valores entre 16 y 46 (ppm) para las rocas más máficas. Y valores entre 10 y 25 (ppm) para las rocas más diferenciadas. El Co está presente en el olivino que se encuentra en las rocas más máficas del Sumaco.

El Ni exhibe también una correlación negativa conforme incrementa el SiO₂. En general, las muestras más diferenciadas (6 – 13 ppm) presentan valores más bajos que las muestras más máficas (2.50 - 58 ppm). La dispersión mostrada en las rocas más máficas del Sumaco se debe a que el Ni está en el olivino y este mineral se encuentra presente únicamente en algunas de las rocas más máficas del Sumaco (ej.: SUM-JS-35).

El diagrama del elemento Rb presenta una correlación lineal positiva, con valores entre 37 – 150 ppm para las rocas más diferenciadas y valores entre 5.86 – 120 ppm para las rocas más máficas. Algunas muestras máficas se encuentran dispersas con valores altos de Rb. El Rb es un elemento incompatible, correlacionándose bien con el tren que presenta el K, dado que los dos elementos cristalizan en fases minerales similares.

El diagrama Harker del Sr, muestra una correlación positiva, a medida que incrementa la sílice. Las concentraciones en este elemento son muy altas con valores que llegan hasta los 4400 ppm. Garrison et al., (2018) menciona que las concentraciones de Sr en las rocas del Sumaco son las más altas reportadas en rocas volcánicas del mundo debido a un aumento en las concentraciones de azufre de aproximadamente 100 a 700 ppm, así como a un aumento potencial en fO_2 . Este aumento en la concentración de Sr también coincide con la profundidad a la que comienza a formarse los cristales de haüyna (profundidad < 17 km, presiones de 5 kbar y temperaturas de 1000 – 1100 °C), y representa aproximadamente el 50% de la cristalización. La tendencia con pendiente positiva del Sr también está relacionada con la cristalización de plagioclasa.

El Zr presenta una correlación positiva, no tan clara debido a la dispersión de los datos. En general, el contenido de este elemento es alto en todas las muestras; las rocas más máficas

presentan un mayor contenido de Zr (165 – 439 ppm) a diferencia de las muestras más evolucionadas (205 – 395 ppm). Las muestras más máficas conforman una nube bien dispersa en el diagrama. Las altas concentraciones de este elemento con respecto a las otras rocas del arco ecuatoriano implican un enriquecimiento en la fuente.

El Y muestra valores altos constantes, se distingue una nube de valores entre 33 – 40 (ppm). Las rocas más diferenciadas presentan un rango menor de dispersión (30 – 38 ppm) respecto a las rocas más máficas (26 – 49 ppm). Presenta una tendencia levemente positiva, este elemento se concentra en los minerales de apatito presentes en todas las rocas del volcán Sumaco.

El contenido de Ba es alto en todas las muestras y presenta una clara correlación lineal positiva. Las muestras más diferenciadas presenta valores un poco más altos (1670 – 3020 ppm) respecto a las más máficas (1030 – 2822 ppm).

El diagrama de La muestra una correlación lineal positiva. El contenido es alto en todas las muestras; las rocas evolucionadas presentan un mayor contenido de La (82 - 142 ppm) a diferencia de las muestras más máficas (57 – 166 ppm).

El Nb presenta una correlación lineal ligeramente positiva con una gran dispersión de datos tanto de las rocas diferenciadas (21 – 55 ppm) como de las rocas más máficas (21 – 70 ppm). El contenido en Nb es mayor en las muestras máficas con valores que alcanzan los 70 ppm.

El elemento Ce presenta valores altos con dos tendencias ligeramente marcadas de pendiente positiva. La primera tendencia lo marcan valores entre 112 – 150 (ppm), y la segunda se define por valores entre 144 – 235 (ppm). Los valores más altos en Ce los poseen las muestras más diferenciadas (150 – 245 ppm).

Los elementos Nd, Sm y Eu se comportan de manera constante y no es evidente una correlación ya sea esta positiva o negativa. El comportamiento no es muy claro pero se observa una mayor dispersión en los elementos de las rocas más máficas, se lo puede asociar con la cristalización del clinopiroxeno presente en todas las muestras.

Los elementos Er, Gd y Dy también se comportan de manera constante, se puede evidenciar una mayor dispersión en los datos de rocas más básicas. Tanto el Er como Yb y Th muestran un comportamiento incompatible, siendo evidente una clara tendencia con pendiente positiva. Las muestras con mayor cantidad de SiO₂ presentan una mayor cantidad de estos elementos, es decir las muestras más diferenciadas.

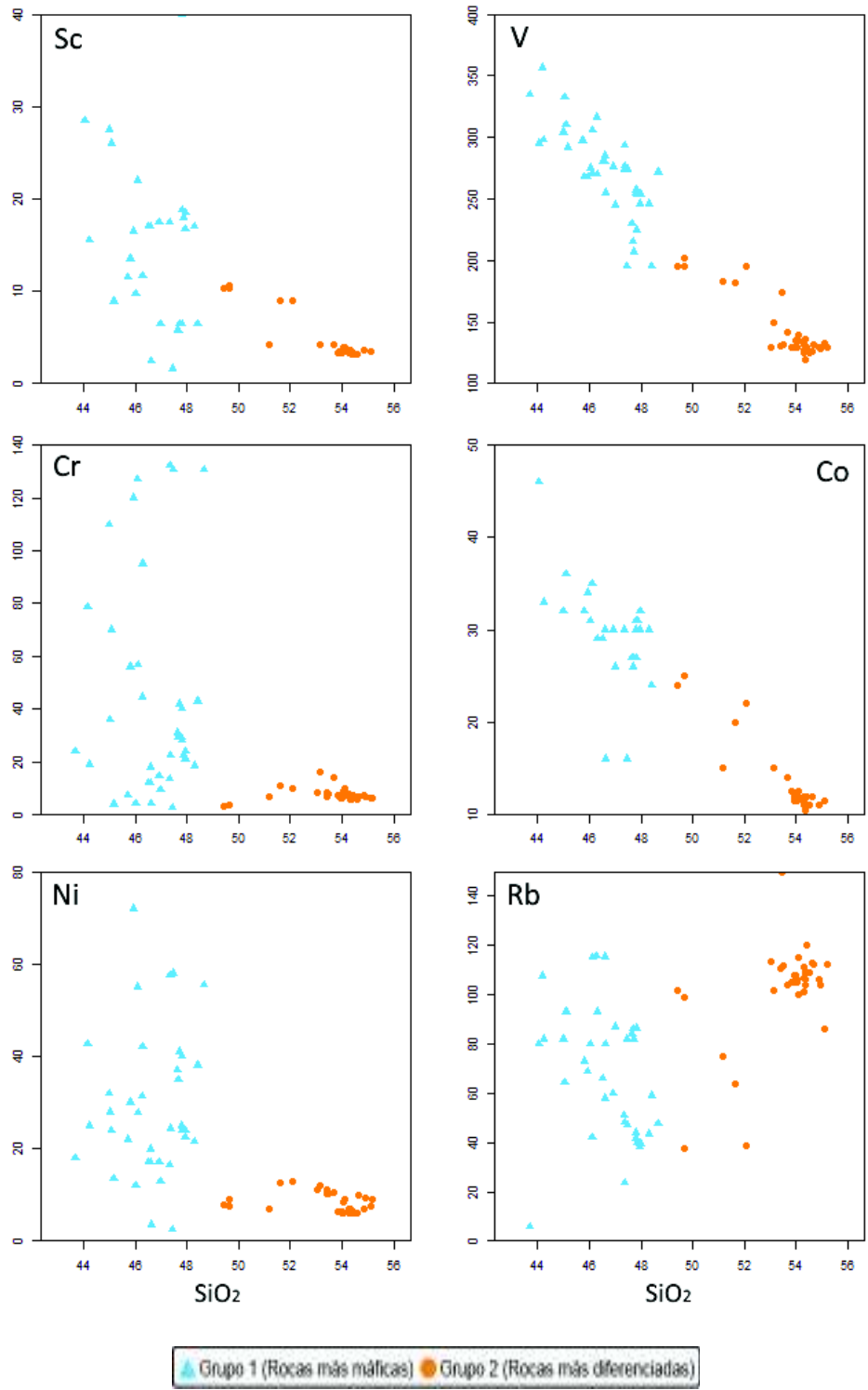


Figura 4.27 Diagramas Harker de elementos traza (ppm) vs. Sílice (wt%).

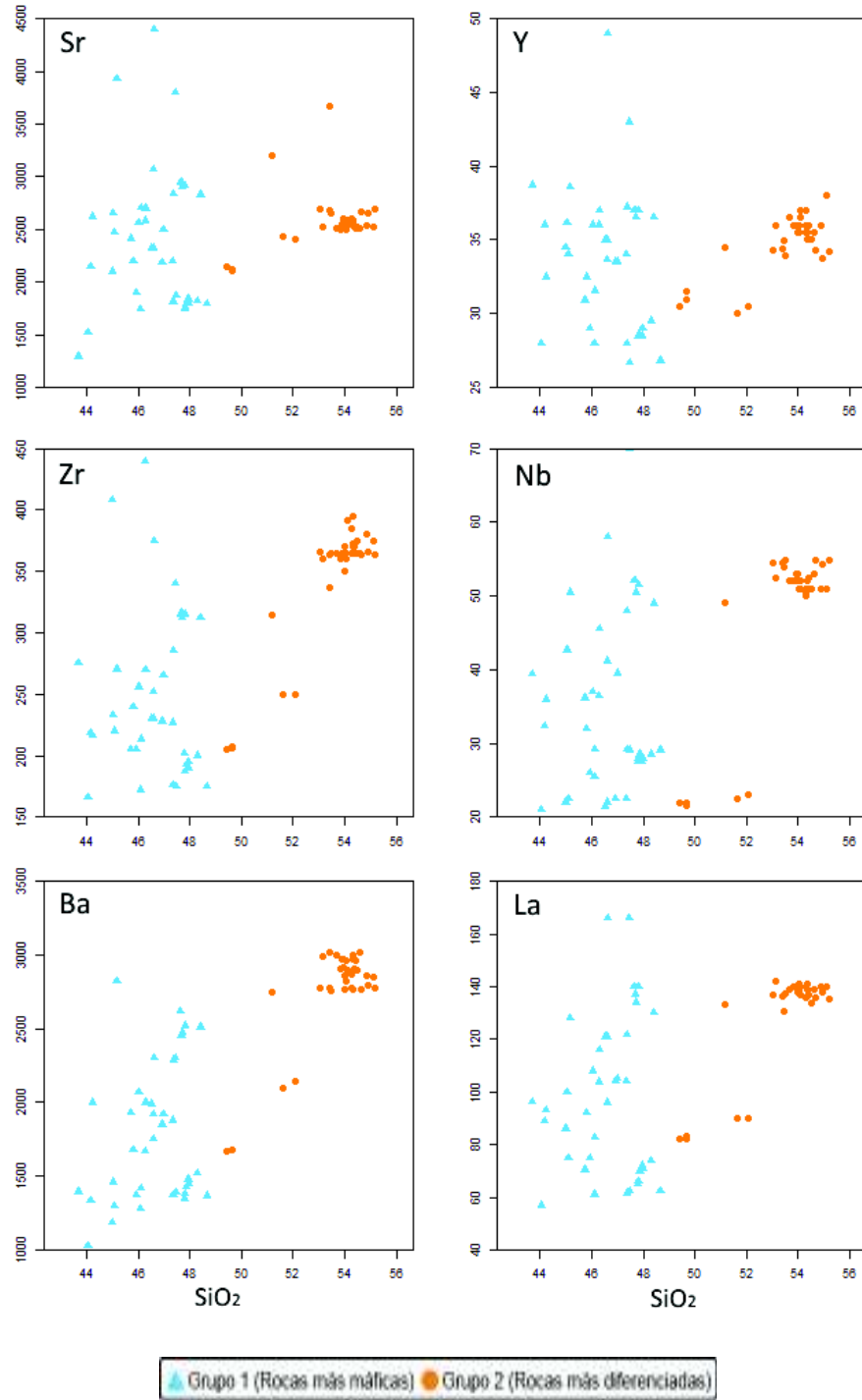


Figura 4.28 Diagramas Harker de elementos traza (ppm) vs. Sílice (wt%) (Continuación).

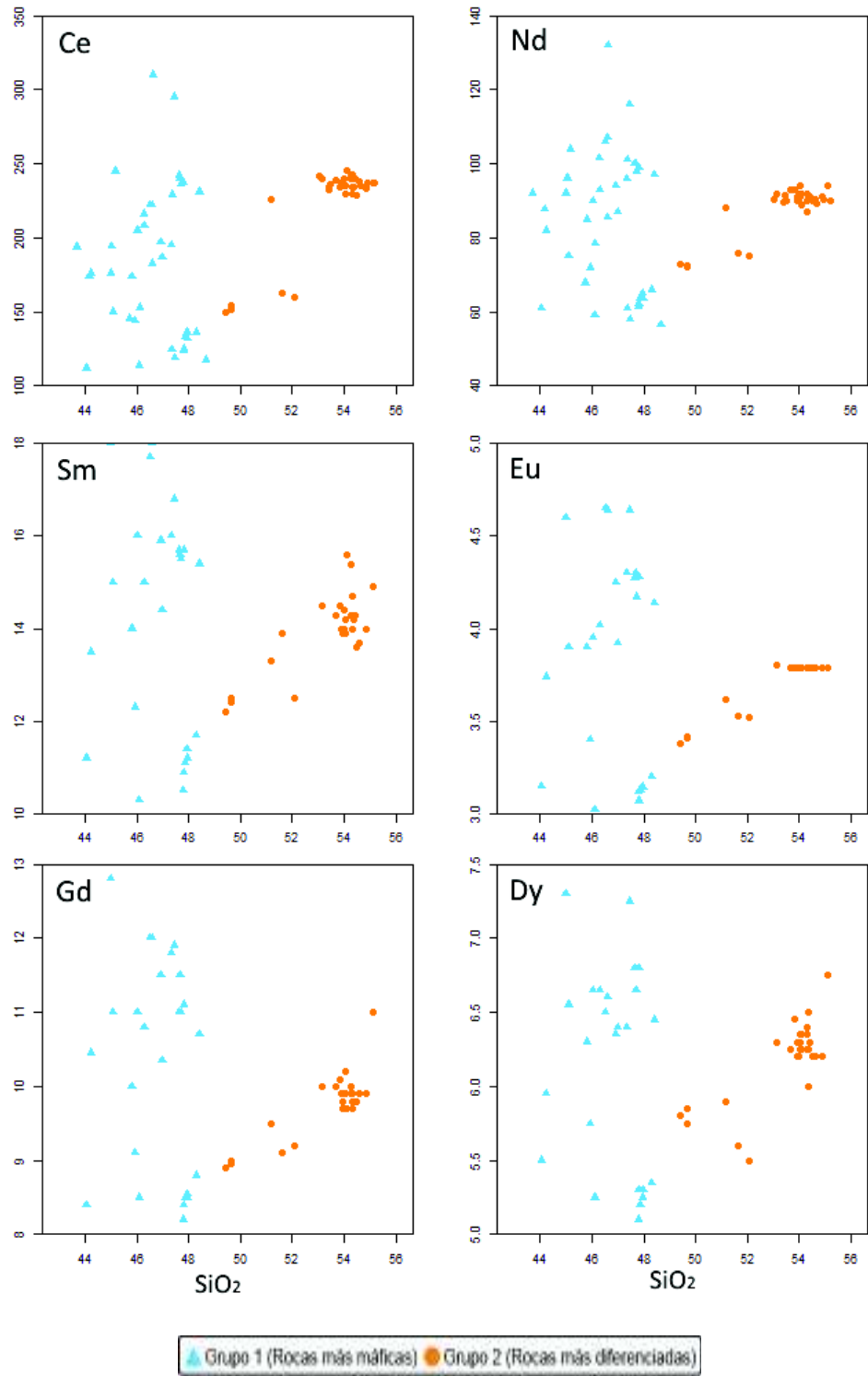


Figura 4.29 Diagramas Harker de elementos traza (ppm) vs. Sílice (wt%) (Continuación).

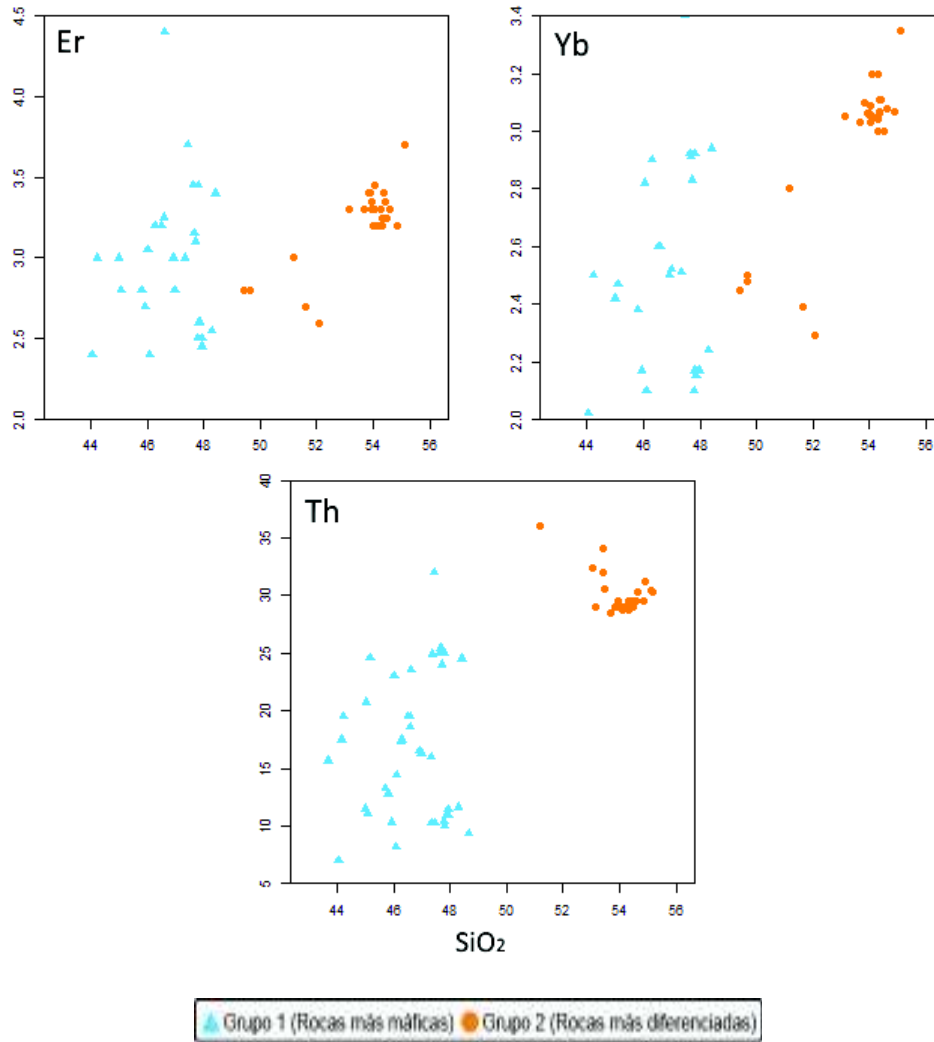


Figura 4.30 Diagramas Harker de elementos traza (ppm) vs. Sílice (wt%) (Continuación).

En resumen, se puede observar que las rocas del Sumaco se encuentran enriquecidas en los elementos Sr, Zr, Y, Ba y La; mostrando cada uno de ellos una correlación lineal positiva, a excepción del Y en donde los datos presentan un comportamiento constante. Los valores de Sr son muy altos con cantidades que llegan hasta las 4400 (ppm), este elemento es incompatible por lo que actúa a alta presión donde la plagioclasa es inestable. La diferencia entre el grupo de rocas más máficas y el grupo de rocas más diferenciadas se encuentra en las concentraciones de Nb, Yb, Th y los elementos de tierras raras ligeras (LREE) los cuales son menores en las rocas más máficas del Sumaco. Las concentraciones en Ni son mayores en el grupo de rocas más máficas del Sumaco.

4.2.4 Modelo Geoquímico

Si correlacionamos las tendencias observadas en los diagramas de elementos mayores con los índices de diferenciación (ejemplo: SiO_2 vs. MgO (wt%), Figura 4.22) es consistente que los dos grupos de rocas del Sumaco están relacionados el uno al otro a través de la cristalización fraccionada.

Schiano et al., (2010), usando relaciones entre elementos incompatibles y compatibles, discriminó los distintos procesos magmáticos asociados a la formación y evolución de las rocas. Estos procesos son: fusión parcial, cristalización fraccionada y mezcla de magmas.

En el presente trabajo para la modelación geoquímica se utilizaron los diagramas propuestos por Schiano et al., 2010 con el objetivo de poder estimar la evolución magmática de las rocas del Sumaco. Además, se consideró oportuno aplicar los elementos trazas en los diagramas de variación para determinar los procesos que habían actuado y su grado.

Para la elaboración de los diagramas, se debe tomar en cuenta que: H es un elemento altamente incompatible, M es uno moderadamente incompatible, I es un elemento incompatible y C es un elemento compatible.

Las relaciones propuestas en este trabajo, incluyen los elementos que se encuentran enriquecidos en las rocas del Sumaco (por ejemplo: Ba y Zr). Además, de los elementos Rb (LILE muy incompatible), Th (HFSE moderadamente incompatible) y V (elemento traza compatible). El comportamiento incompatible que presentan los elementos Ba y Zr, en los diagramas Harker ha permitido seleccionar estos elementos. El V es uno de los pocos elementos con una tendencia negativa casi perfecta debido al fraccionamiento de óxidos de Fe-Ti presentes en todas las rocas del Sumaco.

Las relaciones propuestas son: *Diagrama 1: Ba/Zr vs. Ba*; *Diagrama 2: Ba vs. Th*; *Diagrama 3: Rb vs. Rb/V*; *Diagrama 4: 1/V vs. Rb/V* (Figura 4.37).

Los diagramas propuestos por Schiano et al., 2010 considerando los elementos enriquecidos en las rocas del Sumaco (por ejemplo: Ba y Zr), muestran correlaciones positivas en todas las relaciones propuestas, cuyas curvas se ajustan con un modelo de cristalización fraccional, confirmando la participación de este proceso en la evolución de los magmas del volcán Sumaco (Figura 4.32).

El estudio petrográfico realizado por Garrison et al., (2018), menciona que el magma del Sumaco sufre una cristalización del 60% desde el picrobasalto a la tefrita durante el

ascenso de 14 km desde la corteza media/inferior y el inicio de la cristalización de la titanogita. La segunda fase de cristalización (fonotefrita a tefrifonolita) se puede explicar, al menos en términos de elementos mayores, únicamente por la cristalización de una fase accesoria que incluye hercinita y hauyna.

Los diagramas de elementos trazas son bastante consistentes con los diagramas de elementos mayores. Por lo que, tanto la paragénesis mineral de las lavas del Sumaco como la geoquímica permiten colocar parámetros relativos en condiciones de cristalización. Es decir, ambos grupos de rocas del volcán Sumaco (Grupo 1 y Grupo 2) se formaron mediante procesos de cristalización fraccionada.

La relación entre el #Mg vs. Th, presenta una correlación negativa con una tendencia de las rocas menos diferenciadas en la parte superior de la curva (Figura 4.31). La gráfica permite confirmar la participación de la cristalización fraccional en la evolución de las rocas del Sumaco.

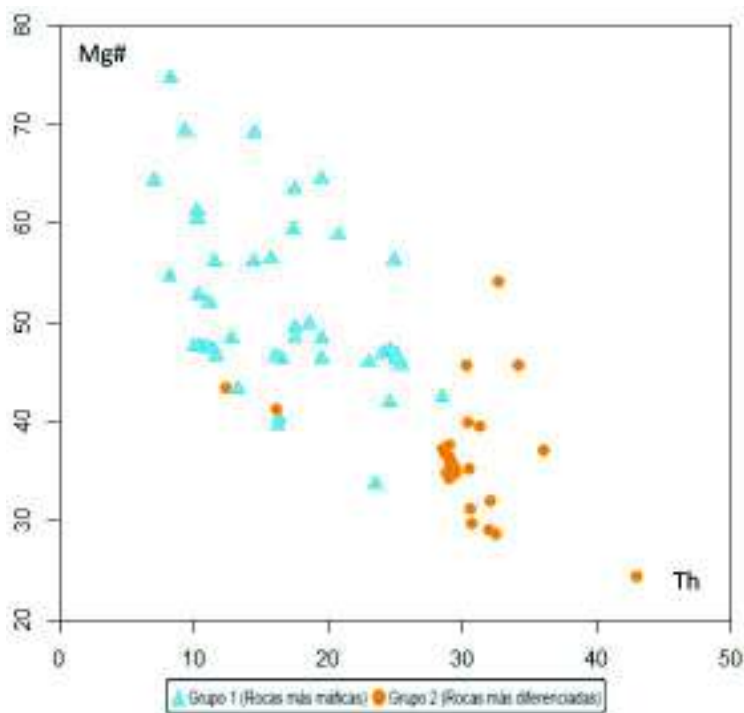
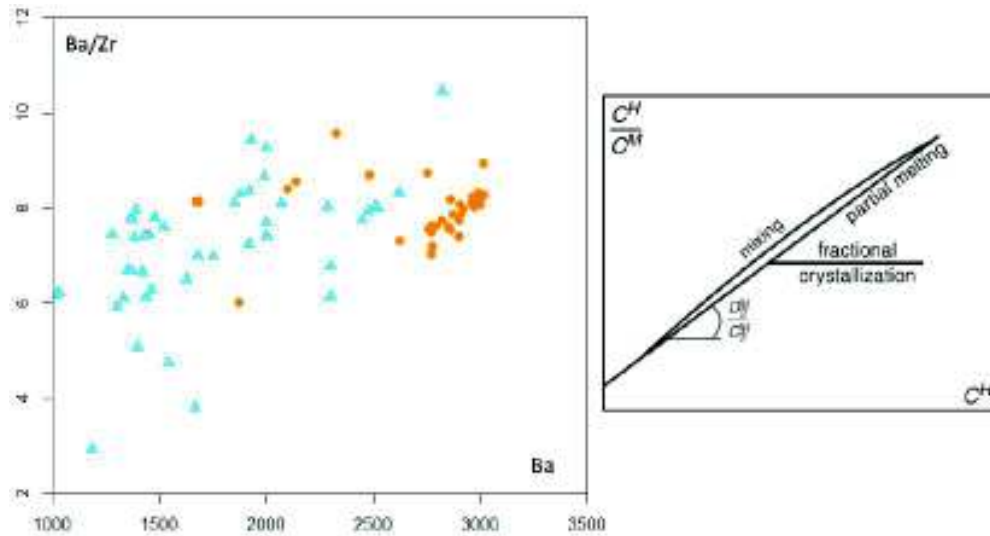


Figura 4.31 Diagrama de variación entre Mg # vs. Th. La correlación mostrada sugiere que la evolución de las rocas del Sumaco está dominada por un proceso de cristalización fraccional.

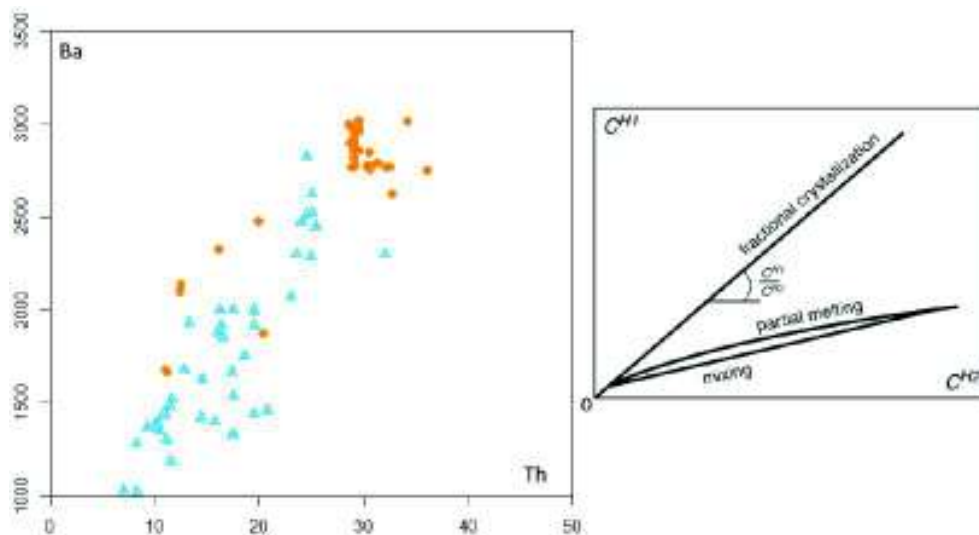
Las relaciones propuestas en este trabajo son:

Diagrama 1: C^H/C^M vs. C^H



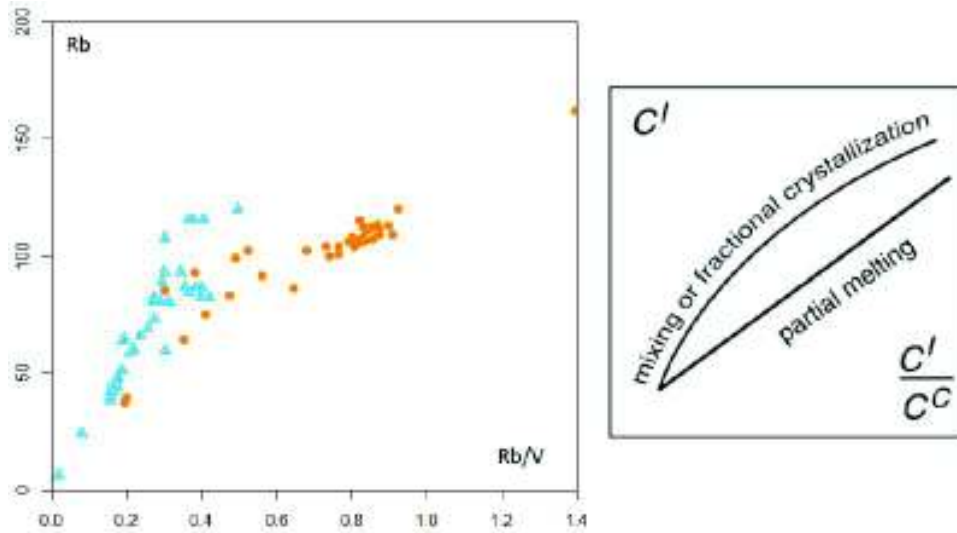
En la figura anterior se muestra el diagrama C^H/C^M vs. C^H , la tendencia de los resultados se ajustan de mejor manera a una línea horizontal, distribuyéndose al modelo de cristalización fraccional.

Diagrama 2: C^{H1} vs. C^{H2}



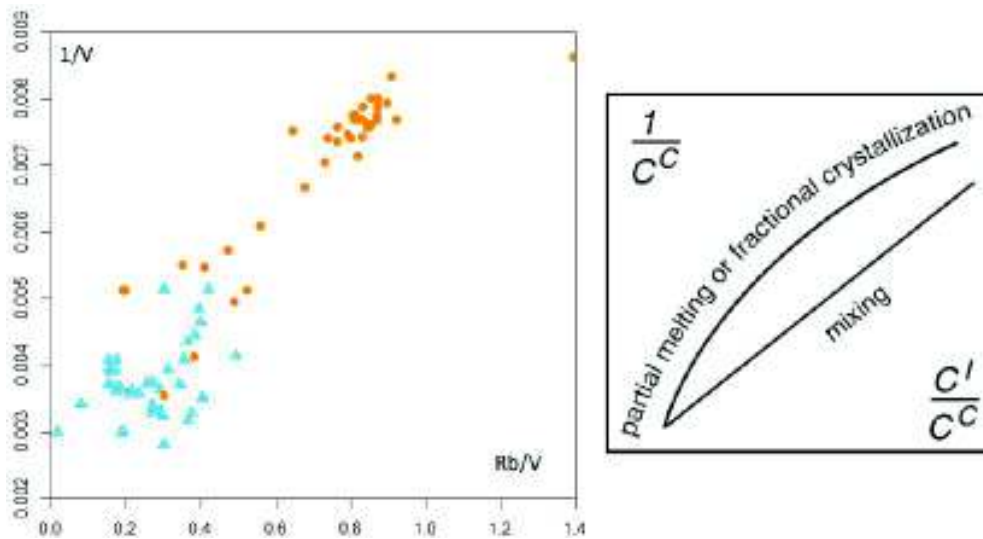
En la figura se muestra el diagrama C^{H1} vs. C^{H2} , se observa que los análisis ploteados en el diagrama muestran una línea con pendiente positiva ajustándose al modelo de cristalización fraccional.

Diagrama 3: C^I vs. C^I/C^C



En la figura se muestra el diagrama C^I vs. C^I/C^C , la tendencia de los resultados sigue una línea hiperbólica clara, siguiendo la tendencia del modelo de cristalización fraccional.

Diagrama 4: $1/C^C$ vs. C^I/C^C



En la figura se muestra el diagrama $1/C^C$ vs. C^I/C^C , los resultados se distribuyen siguiendo una línea hiperbólica clara, que se ajustan de mejor manera a un modelo de cristalización fraccional.

Figura 4.32 Diagramas para el modelo evolutivo del volcán Sumaco (Relaciones establecidas por Schiano et al., 2010) (continuación). Los gráficos de la derecha muestran las tendencias de los modelos aplicables.

Los diagramas anteriores (Figura 4.32) muestran un buen ajuste con las tendencias presentadas por Schiano et al., (2010) como cristalización fraccional.

El proceso de cristalización fraccional también es evidenciado en el estudio petrográfico de las muestras. Los productos eruptivos del Sumaco han evolucionado desde magmas máficos caracterizados por la presencia de cristales de olivino + titano-augita, hasta magmas más diferenciados en donde destaca la presencia de los cristales de hauyna. Las lavas más diferenciadas del Sumaco serían las más jóvenes, considerando que las rocas de la cumbre del volcán contienen cristales de hauyna.

En el trabajo de Garrison et al., (2018) se concluyó que los magmas del Sumaco se derivan de cristalización fraccional.

CAPÍTULO V

5 RESULTADOS

El edificio volcánico del Sumaco consta de tres fases denominadas: *PaleoSumaco*, *Sumaco Reciente* y *Sumaco Actual*, diferenciados principalmente por dos cicatrices que representan avalanchas de escombros. La primera cicatriz tiene una forma semicircular abierta hacia el Norte del edificio, ubicada a los 2800 msnm. La segunda cicatriz con aspecto plano, se ubica en la parte superior del edificio, aproximadamente a los 3500 msnm.

Se han realizado 9 secciones estratigráficas en los alrededores del volcán identificando al menos 5 capas de ceniza procedentes del mismo. Las capas de ceniza se caracterizan principalmente por presentar pómez color blanco, cristales de augita, plagioclasa, a veces hornblenda y trazas de biotita. Además, presentan líticos grises de composición basáltica con fenocristales de piroxeno y pocos de plagioclasa, la vesicularidad es variable y predominantemente baja. La cantidad de vidrio volcánico es muy bajo en casi todas las muestras. La capa de ceniza "SUM-JS-44", ubicada a la base de la sección ha sido posible fecharla, obteniendo una edad de 4 370 +/- 30 años BP. La capa de ceniza "T3" identificada en la sección Vinillos con una composición similar a las capas de ceniza del Sumaco, tiene una edad entre 45 – 42 ka. En la zona Nor-occidental del volcán se identificó 4 capas de ceniza de composición más ácida que los depósitos de tefra del Sumaco y por lo tanto tiene su origen en otros volcanes.

Se ha distinguido cenizas abundantes en el lado Sur del Sumaco, caracterizadas en las secciones estratigráficas: "Wild Sumaco", "Pacto Sumaco" y "Desbanque", las cuales se han correlacionado con las capas de ceniza ubicadas al Este del volcán (sección "8 de Diciembre") que tienen un menor espesor (~ 0.10 m) (Figura 3.28). Las capas de ceniza correlacionadas presentan líticos con mayor diámetro en las partes proximales al volcán (Lodge Wild Sumaco), que disminuye hacia las partes distales (8 de Diciembre) (Figura 3.27 A). Este mismo comportamiento presenta la pómez (Figura 3.27 B).

Sin embargo, aproximadamente a 15 km al Noroccidente del volcán, no se encontró capas de ceniza de fuente el Sumaco (Figura 3.20). Es posible que un régimen de vientos preferentemente hacia el Sur, Sureste del edificio explique la presencia de capas de ceniza entre 0.30 a 1 m de espesor en la parte Sur del volcán (Figura 3.27). La dirección principal de los vientos demuestra una dirección clara E-O durante los meses entre Abril y Septiembre, mientras que los otros meses la dirección varía ligeramente hacia el Sur -

Sureste respecto al Sumaco (“Imagery and Data | NOAA National Environmental Satellite, Data, and Information Service (NESDIS)”, s. f.).

El análisis del testigo de perforación obtenido de la laguna “Guagua Sumaco”, nos permitió identificar 9 capas de ceniza de las cuales 7 son de fuente el volcán Sumaco y las dos restantes son niveles de ceniza re-trabajada pero no ha sido posible identificar su fuente. De manera general, las 7 capas de ceniza del volcán Sumaco, se caracterizan por presentar fragmentos de pómez blanca, cristales de augita, plagioclasa, en menor cantidad hornblenda, hercinita, zircón y trazas de biotita; presentan un alto contenido en líticos densos (25 - 45 %) y una poca cantidad de partículas oxidadas. Los líticos son de composición basáltica, color gris, vesicularidad muy variable (baja a alta), presentan fenocristales de piroxeno, a veces plagioclasa y muy pocas veces hauyina. La cantidad de vidrio volcánico es baja.

La característica destacada es la presencia de cristales de zircón con hábito prismático irregular pero con varias caras del cristal de color amarillo y fractura concoide. El color amarillento del zircón lo obtiene cuando es calentado, a veces incluso lo pierde, y al mismo tiempo normalmente aumenta en densidad y brillo (Ball & Wanklyn., 1976). Los resultados de varios estudios acerca de la solubilidad del zircón muestran de manera concluyente que los líquidos basálticos requieren una abundancia realmente muy alta (> 5000 ppm) de Zr para cristalizar directamente el zircón y, por lo tanto, los zircones que se encuentran en ambientes máficos deben haber cristalizado en la etapa final a partir de fundidos evolucionados (Boehnke et al., 2013; Hatson y Harrison., 1983). Uno de los modelos hipotéticos de Garrison et al., (2018), es la presencia de una cámara magmática poco profunda bajo el Sumaco, en donde la temperaturas del magma antes de la erupción oscilan entre 720 – 1000 °C. Boehnke et al., (2013) determinó que la temperatura de cristalización del zircón se encuentra ≤ 750 °C, siendo posible crear una posible correlación del zircón en la génesis del magma del Sumaco. Cristales de zircón también han sido identificados en la capa de ceniza (SUM-JS-12), ubicada al sur-este del volcán Sumaco (Figura 3.16).

En el testigo de perforación se ha podido fechar una capa de turba (OL3) sobre la cual yacen 6 depósitos de ceniza del volcán Sumaco. La edad del tope de este nivel de turba (OL3) es de 360 +/- 30 años BP (Figura 3.63). Con lo cual se ha calculado a groso modo una tasa de recurrencia eruptiva que es de una erupción cada 60 años.

Las capas de ceniza caracterizadas en el testigo de perforación tienen espesores entre 1.5 a 4 cm (Tabla 11; Figura 3.63). Estos espesores son concluyentes con una actividad

explosiva (al menos seis erupciones) de pequeña magnitud durante los últimos 360 años. De todos modos, tomando en cuenta que se han caracterizado otras capas de ceniza abundantes al Sur del edificio con espesores promedio entre 25 – 30 cm y con líticas de diámetro desde 1 a 3 cm (Figura 3.27), es posible decir que sí hubo actividad durante la época histórica (< 44 000 años BP), siendo esta ligera. Las capas de ceniza identificadas en Wild Sumaco y 8 de Diciembre son de mayor edad, dado que el espesor de suelo que sobreyace la estratigrafía de las tefras tiene entre 30 a 80 cm. Sin embargo, tomando en cuenta el espesor y el tamaño de los líticos, las erupciones fueron en mayor magnitud. (Según los conceptos de Green et al., 2016).

En el presente estudio se caracterizaron varios depósitos volcánicos pertenecientes al volcán Sumaco: dos depósitos de lahares, dos depósitos de flujos piroclásticos, cuatro depósitos de avalanchas y cuatro flujos de lava.

Los depósitos de lahar son homogéneos, matriz soportada, con varios bloques basálticos alcalinos. La matriz está compuesta por pómez, líticas de composición basáltica, cristales de piroxeno, plagioclasa, anfíbol, en menor cantidad cristales de biotita y pequeños cristales de hercinita. La matriz no contiene vidrio volcánico. El depósito “Puente Loreto” ha sido posible fecharlo obteniendo una edad de 25 310 +/- 100 años BP.

Se han identificado dos depósitos de flujos piroclásticos re-trabajados, localizados al Sureste del volcán Sumaco, en la margen izquierda del río Suno a una distancia entre 33 y 40 km del viento actual (Figura 3.35). Los depósitos presentan una característica común relacionada a su aspecto de disgregado o triturado. Además, presentan una buena relación estratigráfica y un similar contenido de componentes. Ambos depósitos han sido diferenciados mediante análisis químicos, presentando el primer depósito “Antigua Mina – Loreto” una composición de traquibasalto, y el segundo depósito “Mina Consejo Provincial” una composición de traquiandesita. El depósito “Antigua Mina – Loreto” aparentemente se encuentra más re-trabajado que el depósito “Mina Consejo Provincial”.

Cuatro depósitos de avalanchas volcánicas han sido caracterizados en el presente trabajo (DAE-RS, DAE-RG, DAE-LP y DAE-CHC). El depósito DAE-RS ha sido posible fecharlo a través de restos de madera carbonizada encontrada dentro de la matriz del depósito, el resultado del análisis radiocarbón indica una edad sobre los 43 500 años BP. Los depósitos de avalancha presentan facies de mezcla. Forman terrazas de gran tamaño (~ 80 a 100 metros). En general, son depósitos matriz-soportada, heterogéneos y presentan un mal sorteo. Presentan bloques grises porfiríticos con fenocristales grandes de piroxeno; los bloques pertenecientes al DAE-RS son de composición tefrita y ha sido posible identificar

fracturas en forma de jigsaw-cracks. Se ha visitado a la localidad de Puerto Murialdo ubicado al Sureste del volcán con el objetivo de confirmar la presencia de hummocks de avalancha, siendo imposible confirmar esta hipótesis debido a la falta de caminos y a la densa vegetación de la zona. La distancia desde el ventó actual del Sumaco al depósito más distal “DAE-LP” es de aproximadamente 38 km; este depósito se caracteriza por presentar rocas clasificadas como las más máficas del Sumaco.

El depósito de avalancha DAE-RG ubicado en el valle actual del río Guamaní, al Sur del volcán Sumaco, podría estar relacionado con el evento de avalancha que colapsó la parte superior del volcán. El depósito se encuentra ubicado a casi 20 km del ventó actual del volcán (Figura 3.39). Sobre el depósito no se encuentra una capa importante de “cangahua tropical” (Figura 3.49). Las rocas de este depósito presentan cristales de hauyna dentro de su paragénesis mineral y si consideramos que las rocas aparentemente más jóvenes del Sumaco (rocas más diferenciadas) se encuentran en la cumbre, podríamos correlacionar este depósito con el evento que dio origen a la formación del cono actual del Sumaco. Otros afloramientos de avalanchas localizados al Este y Sureste del volcán (DAE-RS, DAE-LP, DAE-CHC) presentan un aspecto más viejo con rocas más máficas, sin presencia de cristales de hauyna en su composición mineral; estos afloramientos posiblemente se relacionan con la avalancha más antigua relacionada al *PaleoSumaco* (Figura 3.3). Es importante mencionar que sobre los depósitos DAE-RS, DAE-LP y DAE-CHC ubicados al margen izquierdo del río Suno y río Chacayacu, respectivamente; no se ha encontrado otro depósito de avalancha más joven que podría relacionarse con el depósito DAE-RG.

Se ha caracterizado cuatro flujos de lava que afloran en el flanco sur del Sumaco. Los flujos de lava son poco viscosos y han descendido por los drenajes principales. Los flujos de lava aparentemente más antiguos se encuentran al sur-occidente del volcán, estos flujos de lava reciben el nombre de “Río Hollín” y “Río Guamaní”. Los flujos aparentemente más jóvenes afloran al sur-oriente del Sumaco, aquí destaca el flujo de lava “Río Huataracu” que poseen una composición más diferenciada en comparación con los flujos de lava “Río Hollín” y “Río Guamaní” (Figura 3.54). Se diferencian principalmente por la presencia de cristales de hauyna y hornblenda.

La presencia de hauyna en las lavas de Sumaco y no en los otros volcanes del trasarco en la NVZ está vinculada a una alta fugacidad de oxígeno, altas condiciones de temperatura y baja presión del reservorio de magma (Garrison et al., 2018) donde residía el magma antes de la erupción. Estas condiciones apuntan hacia un ascenso rápido durante el cual suficiente SO₂ permaneció en el magma a profundidades someras. Esto podría haber

producido un magma de baja viscosidad y con alta temperatura que es consistente con los extensos flujos de lava descritos en este trabajo. Los flujos de lava se extienden más de 15 km desde la base del volcán Sumaco.

Las rocas del Sumaco son de color gris oscuro a negro, presentan texturas afaníticas-porfiríticas con una estructura masiva. Algunas muestras presentan una estructura vesicular (SUM-JS-33, 1.20.112). En las muestras de mano es característico la presencia de cristales de clinopiroxeno (augita) de tamaño entre 2 hasta 7 mm (SUM-JS-40) y en pocas muestras no se observan cristales de plagioclasa en la muestra de mano (SUM-JS-09, 1.20.29). Los cristales de hauyna son visibles en algunas muestras y presentan un tamaño de 1 – 2 mm (SUM-JS-38). El menor tamaño de los cristales de hauyna en comparación con los cristales de titano-augita se asocia a un rápido enfriamiento del magma. También es posible observar algunos cristales alargados de anfíbol de aproximadamente 3 mm (SUM-JS-40). En las muestras pertenecientes a la cumbre del volcán se pueden observar cristales de clinopiroxeno y hauyna de un tamaño entre 1 – 2 mm. No ha sido posible diferenciar estructuras de flujo, sin embargo algunas muestras presentan texturas traquíticas en lámina delgada. Aparentemente, las rocas más máficas del volcán pueden ser consideradas las rocas más antiguas, tomando en cuenta que todas las muestras de la cumbre presentan cristales de hauyna. Todas las muestras presentan magnetismo al pasar el imán.

Se ha observado tres paragénesis minerales presentes en las rocas del Sumaco: a) titano-augita + olivino, b) titano-augita + plagioclasa (An_{70-90}), c) titano-augita + plagioclasa (An_{24-58}) + hauyna y d) titano-augita + plagioclasa (An_{24-54}) + hornblenda + hauyna. El apatito y los minerales opacos son minerales accesorios que se encuentran presentes en todas las muestras; el apatito como cristales individuales y la mayoría de veces como inclusiones en los cristales de titano-augita. La plagioclasa presente en las rocas más máficas del Sumaco es de composición bitownita, en cambio la composición de la plagioclasa en las rocas más diferenciadas es de composición entre oligoclasa a labradorita. Los microlitos son de composición más ácida que los fenocristales de plagioclasa. Algunos cristales presentan textura sieve producto de resorción. Los minerales opacos son igualmente un mineral accesorio dominante en este grupo de rocas. Los cristales de titano-augita se caracterizan por presentar estructura reloj de arena, se encuentran zonados con inclusiones de apatito. Los cristales de hauyna son euhedrales –subhedrales incoloros, a veces en tonalidades azules, con un tamaño máximo de 0.8 mm.

Según Garrison et al., (2018), las texturas y composiciones minerales de las rocas del Sumaco reflejan la cristalización de titanio-augita y plagioclasa en la corteza inferior, teniendo a la mayor parte de la diferenciación en el fraccionamiento de una fase accesoria después del ascenso y dentro de los 14 km hasta llegar a la superficie en una cámara magmática poco profunda. Además, Garrison et al., (2018) menciona únicamente tres paragénesis minerales [a) titanio-augita + olivino, b) titanio-augita + plagioclasa (An_{70-90}), c) titanio-augita + anortoclasa + haüyna] presentes en las rocas del volcán Sumaco. En el presente estudio se observó una nueva paragénesis mineral: titanio-augita + plagioclasa (An_{24-54}) + hornblenda + haüyna. Los cristales de hornblenda están presentes en el flujo de lava “Río Huataracu” (SUM-JS-40), además cristales de hornblenda han sido identificados en las rocas pertenecientes al debris flow localizado en el Tena (SUM-JS-36). Los cristales de hornblenda son idiomorfos alargados de color marrón (Figura 5.1). Los cristales de hornblenda presentan finos anillos de óxidos de hierro formados cuando magmas hidratados alcanzan niveles superficiales, donde por la súbita pérdida de presión escapan los volátiles y hace que se deshidraten y oxiden. Además, los cristales de hornblenda han sido reabsorbidos parcialmente con el desarrollo de minerales opacos como producto de resorción.

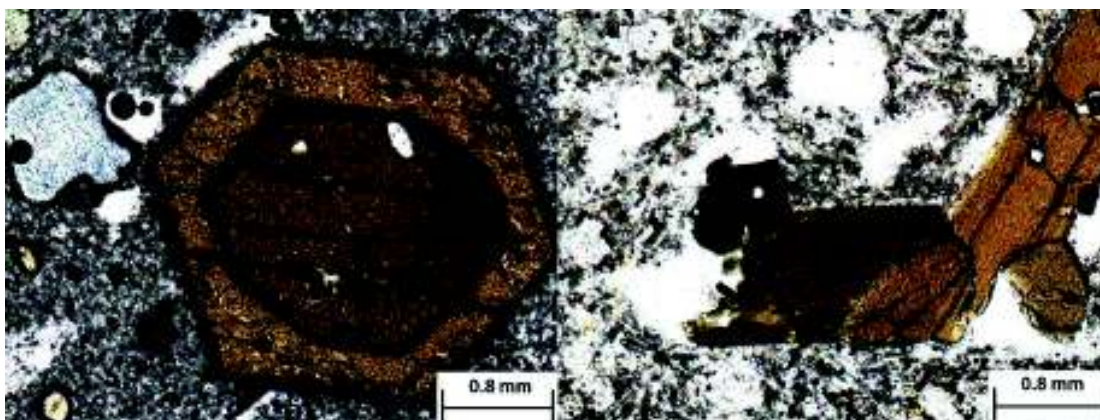


Figura 5.1 Cristales de hornblenda color marrón idiomorfos en LPP. La imagen de la izquierda pertenece a la muestra SUM-JS-36, perteneciente al Debris Flow del Tena. La imagen de la derecha es la sección delgada de la muestra SUM-JS-40 perteneciente al flujo de lava Huataracu.

El depósito de debris flow del Tena, se localiza en las coordenadas (UTM) 18S 189515 / 9888593, 570 msnm. Únicamente se ha trabajado con una muestra del depósito ya que no ha sido descrito en el campo, y es posible que la fuente sea el volcán Sumaco. Es importante recalcar que un estudio más profundo nos permitirá correlacionarlo de mejor manera con el volcán. Los cristales de hornblenda en las rocas del Sumaco han sido reportados de igual manera en el estudio realizado por Eissen et al., (2002).

Las rocas del volcán Sumaco pertenecen a la serie absarokita-shoshonita-banakita. Las líneas de tendencia que muestran los elementos mayores se ajustan bien a procesos de cristalización fraccional. El decrecimiento en MgO, FeO*, CaO y TiO₂ con el incremento de la SiO₂, sería consistente con la remoción temprana de plagioclasa (bitownita), olivino y/o titano-augita desde el líquido que se enfría, presentes en las rocas más máficas del Sumaco. El incremento de Na₂O, K₂O y Al₂O₃, se debe a que no son incorporados a los minerales que cristalizan y se conservan o concentran en el líquido residual. El sodio, el aluminio y el calcio forman parte del mineral hauyua, presente en las rocas más diferenciadas del Sumaco.

Con respecto a los elementos traza en las rocas del Sumaco, estas se encuentran enriquecidas en los elementos Sr, Zr, Y, Ba y La. El grupo de rocas más máficas se encuentra empobrecido en las concentraciones de Nb, Yb, Th y los elementos en tierras raras ligeras (LREE) a comparación del grupo de rocas más diferenciadas.

El Sc estaría formando clinopiroxeno, el V muestra un fuerte fraccionamiento en los óxidos de Fe-Ti, minerales accesorios principales en todas las rocas del Sumaco. El Co y Ni están presentes en el olivino que se encuentra en las rocas más máficas del Sumaco. Las altas concentraciones de Zr implican un enriquecimiento en la fuente. El Y presenta una tendencia levemente positiva, este elemento se concentra en el apatito.

Comparativamente, se observa que las relaciones propuestas por Schiano et al., (2010) en las rocas del Sumaco muestran correlaciones positivas, cuyas curvas se ajustan bien con un modelo de cristalización fraccional, confirmando la participación de este proceso como dominante en la evolución de los magmas del volcán Sumaco. La gráfica de Mg# vs. Th (Figura 4.31) muestra una pendiente negativa que corrobora lo mostrado por estas gráficas.

CAPÍTULO VI

6 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 Conclusiones

Morfológicamente se ha distinguido dos cicatrices de deslizamiento/avalanchas en el edificio volcánico del Sumaco. Las cicatrices se asocian posiblemente a tres etapas de construcción y destrucción del edificio volcánico. Las unidades diferenciadas en el edificio son *PaleoSumaco*, *Sumaco Reciente* y *Sumaco Actual*.

Se caracterizaron cuatro depósitos de avalanchas de escombros. Los afloramientos localizados al Este y Sureste del volcán presentan un aspecto más viejo con rocas más máficas relacionados posiblemente con el evento de avalancha del *PaleoSumaco*. El depósito más importante es DAE-RS, ubicado al oriente del volcán Sumaco, dado que forma una terraza paralela al Río Suno de aproximadamente 100 metros de espesor y se caracteriza por presentar facies de mezcla. Sobre los depósitos (DAE-RS, DAE-CHC y DAE-LP) no se ha encontrado una avalancha más joven que podría relacionarse con la cicatriz superior del volcán.

Las rocas del depósito de avalancha DAE-RG, ubicado en el valle actual del río Guamaní (lado Sur) son rocas más diferenciadas comparadas con las rocas de otros depósitos de avalancha (DAE-RS, DAE-LP y DAE-CHC) caracterizados en este trabajo. Por lo cual, petrográficamente se puede correlacionar el depósito DAE-RG con el evento de avalancha más reciente que colapsó la parte superior del volcán. Las rocas del depósito de avalancha DAE-RG tienen cristales de hauyna, igual como las rocas más jóvenes de la cumbre.

El lahar “Puente Loreto” tiene una edad de 25310 +/- 100 años BP. El depósito es homogéneo, rico en matriz muy densa y compactada que ha descendido varios kilómetros por el drenaje nor-oriental principal del Sumaco, llegando hasta la ciudad de Loreto. La distancia desde el volcán a Loreto por el Río Suno es ~24 km.

Se ha encontrado evidencia de dos depósitos de flujos piroclásticos localizados al Sureste del volcán Sumaco, en la margen izquierda del río Suno, a una distancia mayor a 33 km del viento actual. Los depósitos tienen un aspecto triturado, presentan una buena relación estratigráfica y un similar contenido de componentes. El primer depósito “Antigua Mina – Loreto” tiene una composición de traquibasalto, y el segundo depósito “Mina Consejo Provincial” una composición de traquiandesita.

Cinco capas de ceniza del volcán Sumaco han sido identificadas y caracterizadas en cuatro secciones estratigráficas realizadas en los alrededores de los flancos S, SE del volcán Sumaco. Las capas de ceniza pudieron ser correlacionadas entre sí utilizando secciones estratigráficas proximales (Wild Sumaco y Pacto Sumaco) y distales (8 de Diciembre) al volcán Sumaco. Las capas se caracterizan de manera general por presentar cristales de plagioclasa, augita, hornblenda, trazas de cristales de biotita, fragmentos de pómez blanca, líticos grises basálticos con vesicularidad variable que presentan fenocristales de piroxeno y rara vez fenocristales de plagioclasa. El contenido de vidrio volcánico en todas las muestras es muy bajo. Los espesores de las capas y el tamaño de líticos sugieren que las erupciones fueron con un VEI entre 3 y 4.

Aproximadamente a 15 km al Noroccidente del Sumaco no ha sido posible identificar depósitos de ceniza del volcán. Sin embargo, abundantes capas de ceniza han sido caracterizadas hacia el Sur del volcán. Por lo tanto, es posible que un régimen en la dirección de los vientos con tendencia al Sur y Sureste del Sumaco estuvo presente durante este periodo eruptivo (< 4906 años BP).

El testigo de perforación SUM-001 obtenido de la laguna "Guagua Sumaco", a 4 km en línea recta del cráter, presenta nueve capas de ceniza con espesor variable que no supera los 4 cm. Siete capas pertenecen al volcán Sumaco y se caracterizan por presentar líticos grises de composición similar a las rocas del Sumaco con una vesicularidad variable (a veces incluso alta), a excepción de la muestra SUM- 03 B. Las muestras presentan una secuencia rica en augita, plagioclasa, en menor cantidad presenta cristales de hornblenda, hercinita y zircón. Algunas muestras poseen trazas de biotita. Es posible observar pómez de color blanco con forma predominante subangular.

Se realizó una datación ^{14}C de la capa de turba OL3 que obtuvo una edad de 360 ± 30 años BP, perteneciente al testigo de perforación SUM-001 con el fin de conocer la actividad reciente del volcán. En definitiva, se conoció que el volcán experimentó al menos seis (6) eventos explosivos de pequeña magnitud durante los últimos 360 años, por lo tanto la tasa de recurrencia calculada a groso modo es de una erupción cada 60 años.

La capa de ceniza SUM-JS-44, obtenida de un corte localizado a 2.5 km al NE de la comunidad de Pacto Sumaco obtuvo una edad radiocarbón de $4\ 370 \pm 30$ años BP. Sobre este depósito de tefra se tiene al menos 4 capas de ceniza pertenecientes al volcán Sumaco. Por tanto es posible considerar al volcán Sumaco como potencialmente activo y con una erupción importante/grande cada 1000 años.

En general, las rocas del Sumaco son de color gris oscuro a negro, presentan texturas afaníticas-porfiríticas con una estructura masiva. Se ha distinguido 4 paragénesis minerales presentes en las rocas del volcán: a) olivino + titanoaugita; b) titanoaugita + plagioclasa (An₇₀₋₉₀); c) titano-augita + plagioclasa (An₂₄₋₅₈) + haüyna y d) titano-augita + plagioclasa (An₂₄₋₅₄) + hornblenda + haüyna.

Geoquímicamente las rocas del Sumaco se dividen en dos grupos: rocas más máficas y rocas más diferenciadas. Ambos grupos se distinguen por el contenido empobrecido en las concentraciones de Nb, Yb, Th y los elementos en tierras raras ligeras (LREE) presentes en las rocas más máficas del Sumaco. Todas las rocas pertenecen a la serie absarokita-shoshonita-banakita y cumplen con condiciones de cristalización de acuerdo a los diagramas propuestos por Schiano et al., (2010), y corroborado por la gráfica Mg# vs. Th.

El grupo de rocas más máficas del Sumaco aparentemente son las rocas más antiguas del volcán considerando que los flujos de lavas jóvenes ubicados en la cumbre se caracterizan por presentar una paragénesis mineral con la presencia de hauyna. Es decir, son rocas más diferenciadas en comparación con los flujos de lava ubicados al sur y suroccidente del Sumaco. Rocas similares a las de la cumbre se encuentran en el depósito de avalancha en el río Guamaní, a 25 km pendiente abajo, en el flanco Sur.

6.2 Recomendaciones

El presente estudio tuvo como objetivo contribuir al conocimiento del volcán Sumaco mediante una identificación y caracterización de los productos eruptivos desde el Pleistoceno superior del volcán (últimos 50000 años). Se recomienda un estudio geovolcanológico más completo del volcán Sumaco ya que ha sido poco estudiado, particularmente su evolución volcano-estructural.

Realizar dataciones de las diferentes unidades del edificio volcánico sería importante para plantear un modelo evolutivo del Sumaco.

El depósito de avalancha DAE-RG es muy particular por la presencia de rocas con varios cristales de hauyna a diferencia de las rocas de los depósitos de avalancha DAE-RS, DAE-CHC y DAE-LP que no presentan este mineral. Petrográficamente, se relaciona con el evento que colapsó la parte superior del volcán. Por lo cual, se recomienda realizar una datación de las rocas de la avalancha Río Guamaní.

Depósitos de avalanchas de escombros presentan residuos o vestigios de flujos piroclásticos (DAE-LP) por lo que es importante un estudio de los depósitos de flujos piroclásticos en las partes proximales del volcán Sumaco.

Al oriente-nororiente del volcán Sumaco, se observa una morfología similar a hummocks. La topografía muy irregular se la observa muy bien en el modelo digital de elevación (DEM) (Fig. 3.37). Por lo cual, se recomienda en el futuro visitar este lugar y buscar afloramientos que permita corroborar o desmentar esta hipótesis, así como también definir la fuente de la misma, caracterizarla y realizar una correlación con los depósitos de avalanchas de escombros descritos en este trabajo.

Los estudios tectónicos en la zona del volcán Sumaco son escasos. Establecer una relación entre el estado de esfuerzos NE – SW, asociados a fallas presentes al oriente y sur-oriente del volcán Sumaco permitirá conocer su implicación en la evolución y desarrollo del edificio volcánico.

Se ha descrito una capa de ceniza (SUM-JS-43) del volcán Sumaco caracterizada por presentar líticos de roca con un diámetro entre 2 - 3 cm (Figura 3.13). De tal modo que, realizar un estudio más profundo acerca de los dinamismos eruptivos permitiría explicar el gran tamaño de los líticos presentes a una distancia de casi 14 km en el flanco sur del volcán.

En el presente trabajo se ha confirmado la actividad reciente del volcán Sumaco. El volcán ha experimentado 6 erupciones de pequeña magnitud en los últimos 360 años, lo que permite clasificarlo dentro del grupo de volcanes potencialmente activos del Ecuador. Por lo cual, es importante dar conocer a la comunidad las implicaciones volcánicas asociadas al Sumaco. Además, el volcán ha tenido cuatro erupciones más grandes en 4400 años.

Las condiciones difíciles de la zona de estudio principalmente la densa vegetación, las escasas vías de acceso, los ríos grandes, caudalosos, profundos y sin puentes son unos limitantes al momento de realizar nuevos estudios geológicos en la zona. A pesar de ello, es de mucha importancia realizar un mapeo geológico exhaustivo con la finalidad de crear un mapa de peligros volcánicos del Sumaco, siendo ya considerado un volcán potencialmente activo del Ecuador.

7 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Al encuentro del Sumaco | La Revista de Viajes de Ecuador. (2016, Diciembre 23). *Nan | La Revista de Viajes de Ecuador*. Recuperado marzo 28, 2018, a partir de <http://www.nanmagazine.com/es/al-encuentro-del-sumaco/>

Alvarado, A., Audin, L., Nocquet, J. M., Jaillard, E., Mothes, P., Jarrín, P., & Cisneros, D. (2016). Partitioning of oblique convergence in the Northern Andes subduction zone: Migration history and the present-day boundary of the North Andean Sliver in Ecuador. *Tectonics*, 35(5), 1048-1065.

Annen, C., Blundy, J. D., & Sparks, R. S. J. (2005). The genesis of intermediate and silicic magmas in deep crustal hot zones. *Journal of Petrology*, 47(3), 505-539.

Aspden, J. A., & Litherland, M. (1992). The geology and Mesozoic collisional history of the Cordillera Real, Ecuador. *Tectonophysics*, 205(1-3), 187-204.

Atherton, M. P., & Petford, N. (1993). Generation of sodium-rich magmas from newly underplated basaltic crust. *Nature*, 362(6416), 144.

Baby, P., Rivadeneira, M., Barragan, R., & Christophoul, F. (2013). Thick-skinned tectonics in the Oriente foreland basin of Ecuador. *Geological Society, London, Special Publications*, 377, SP377-1.

Baker, D. R., Conte, A., Freda, C., & Ottolini, L. (2002). The effect of halogens on Zr diffusion and zircon dissolution in hydrous metaluminous granitic melts. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 142(6), 666-678.

Baldock, J. W. (1982). *Geology of Ecuador: Explanatory Bulletin of the National Geological Map of the Republic of Ecuador: 1: 1,000,000 Scale*. Ministerio de Recursos Naturales y Energéticos, Dirección General de Geología y Minas.

Ball, D., & Wanklyn, B. M. (1976). Coloured Synthetic zircon crystals. Flux growth and EPR of V4+ impurity centres. *Physical status solidi (a)*, 36(1), 307-316.

Barragán R., Christophoul F., White H., Baby P., Rivadeneira M., Ramírez F., Rodas J. (2014). Estratigrafía Secuencial del Cretácico de la Cuenca Oriente del Ecuador. En *la Cuenca Oriente: Geología y Petróleo*. Ed. 3, (pp. 55-78). Quito, Ecuador. IFEA.

Barragán, R., & Baby, P. (2004). Evolución magmática actual de la zona subandina: volcanes el Reventador y Sumaco, modelos geodinámicos preliminares.

Barragan, R., Geist, D., Hall, M., Larson, P., & Kurz, M. (1998). Subduction controls on the compositions of lavas from the Ecuadorian Andes. *Earth and Planetary Science Letters*, 154(1), 153-166.

Bernard, B., & Andrade, D. (2011). Volcanes Cuaternarios del Ecuador Continental. *IGEPN Poster Informativo*.

Bès de Berc, S. (2003). Tectonique de chevauchement, surrection et incision fluviale: exemple de la zone subandine équatorienne, haut bassin amazonien.

Boehnke, P., Watson, E. B., Trail, D., Harrison, T. M., & Schmitt, A. K. (2013). Zircon saturation re-revisited. *Chemical Geology*, 351, 324-334.

Bourdon, E., Eissen, J. P., Gutscher, M. A., Monzier, M., Hall, M. L., & Cotten, J. (2003). Magmatic response to early aseismic ridge subduction: the Ecuadorian margin case (South America). *Earth and Planetary Science Letters*, 205(3), 123-138.

Bourdon, E., Eissen, J. P., Monzier, M., Robin, C., Martin, H., Cotten, J., & Hall, M. L. (2002). Adakite-like lavas from Antisana Volcano (Ecuador): evidence for slab melt metasomatism beneath Andean Northern Volcanic Zone. *Journal of Petrology*, 43(2), 199-217.

Chiaradia, M. (2009). Adakite-like magmas from fractional crystallization and melting-assimilation of mafic lower crust (Eocene Macuchi arc, Western Cordillera, Ecuador). *Chemical Geology*, 265(3), 468-487.

Christophoul (1988). Comisión Zona Gualaquiza, Carretera Mendez-Patuca-Morona Santiago y Cerro Macuma. Proyecto Pre-Cretácico. PETROPRODUCCIÓN-ORSTOM. Quito – Ecuador. Ed. ORSTOM. Recuperado: Biblioteca de la Facultad de Geología y Petróleos de la Escuela Politécnica Nacional: Apartado Memorias de la Exploración Petrolera en el Ecuador, Abril, 2018.

Collot, J. Y., Michaud, F., Alvarado, A., Marcaillou, B., Sosson, M., Ratzov, G., & Pazmino, A. (2009). Visión general de la morfología submarina del margen convergente de Ecuador-Sur de Colombia: implicaciones sobre la transferencia de masa y la edad de la subducción de la Cordillera de Carnegie. En *Geología y Geofísica Marina y Terrestre del Ecuador*

Colony, R. J., & Sinclair, J. H. (1928). The lavas of the volcano Sumaco, eastern Ecuador, South America. *American Journal of Science*, (94), 299-312.

Cóndor, C. W. R. (2018, marzo). Identificación y Caracterización de Facies de la Formación Hollín en Centro Shaima: El Registro de una transición fluvio-marina en la Región Sur Oriental del Ecuador. Escuela Politécnica Nacional, Quito.

Dalziel, I. W., Dalla Salda, L. H., & Gahagan, L. M. (1994). Paleozoic Laurentia-Gondwana interaction and the origin of the Appalachian-Andean mountain system. *Geological Society of America Bulletin*, 106(2), 243-252.

Dashwood, M. F., & Abbotts, I. L. (1990). Aspects of the petroleum geology of the Oriente Basin, Ecuador. *Geological Society, London, Special Publications*, 50(1), 89-117.

Díaz, M., Baby, P., Rivadeneira, M., & Christophoul, F. (2003, September). El Pre-Aptense en la Cuenca Oriente Ecuatoriana. In 8th Simposio Bolivariano-Exploración Petrolera en las Cuencas Subandinas.

Díaz, M., Baby, P., Rivadeneira, M., & Christophoul, F. (2014). El pre-Aptense en la Cuenca Oriente Ecuatoriana. En P. Baby, M. Rivadeneira, & R. Barragán, *La Cuenca Oriente: Geología y Petróleo* (págs. 31-50). Quito: Travaux de l'Institut Français d'Études Andines.

Dozy, J. (1940). Oil exploration in Eastern Ecuador. *Shell Report*, 224.

Drobe, J., Lindsay, D., Stein, H., & Gabites, J. (2013). Geology, mineralization, and geochronological constraints of the Mirador Cu-Au porphyry district, southeast Ecuador. *Economic Geology*, 108(1), 11-35.

- Drummond, M. S., & Defant, M. J. (1990).** A model for trondhjemite-tonalite-dacite genesis and crustal growth via slab melting: Archean to modern comparisons. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 95(B13), 21503-21521.
- Ego, F., Sébrier, M., Lavenu, A., Yepes, H., & Egüez, A. (1996).** Quaternary state of stress in the Northern Andes and the restraining bend model for the Ecuadorian Andes. *Tectonophysics*, 259(1-3), 101-116.
- Egüez, A., Alvarado, A., Yepes, H., Machette, M. N., Costa, C., Dart, R. L., & Bradley, L. A. (2003).** Database and map of Quaternary faults and folds of Ecuador and its offshore regions. *US Geological Survey Open-File Report*, 3, 289.
- Eissen, J. P., Bourdon, E., Beate, B., Hidalgo, S., & Cotten, J. (2002).** Second partial melting stage of a slab-melt metasomatized mantle at Sumaco volcano (Northern Volcanic Zone, Ecuador).
- Escobar, R. D., Garrison, J. M., Sims, K. W., Matthews, T. P., & Yogodzinski, G. M. (2012).** Geochemistry and petrogenetic history of lavas from Sumaco Volcano, Northern Volcanic Zone, Ecuador. *AGU Fall Meeting Abstracts*, 11, V11D-2801.
- Font, Y., Segovia, M., Vaca, S., & Theunissen, T. (2013).** Seismicity patterns along the Ecuadorian subduction zone: new constraints from earthquake location in a 3-D a priori velocity model. *Geophysical Journal International*, 193(1), 263–286.
- Garrison, J. M., & Davidson, J. P. (2003).** Dubious case for slab melting in the Northern volcanic zone of the Andes. *Geology*, 31(6), 565-568.
- Garrison, J. M., Sims, K. W., Yogodzinski, G. M., Escobar, R. D., Scott, S., Mothes, P., & Ramon, P. (2018).** Shallow-level differentiation of phonolitic lavas from Sumaco Volcano, Ecuador. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 173(1), 6.
- Gil Rodriguez, W., Baby, P., & Ballard, J. F. (2001).** Structure et contrôle paléogéographique de la zone subandine péruvienne: *Comptes Rendus à l'Académie des Sciences Paris*, v. 333.

Gill, J. B. (2012). Orogenic andesites and plate tectonics (Vol. 16). Springer Science & Business Media.

Goldschmid, K. T. (1941). Geological compilation on the Cutucu-Macuma-Cangaime Region. SHELL Geological Report (Archivo Técnico Petroproducción, ECUA 131).

Green, R. M., Bebbington, M. S., Jones, G., Cronin, S. J., & Turner, M. B. (2016). Estimation of tephra volumes from sparse and incompletely observed deposit thicknesses. *Bulletin of Volcanology*, 78(4), 25.

Guillier, B., Chatelain, J.-L., Jaillard, É, Yepes, H., Poupinet, G., & Fels, J.-F. (2001). Seismological evidence on the geometry of the Orogenic System in central-northern Ecuador (South America). *Geophysical Research Letters*, 28(19), 3749–3752.

Gutscher, M.-A., Malavieille, J., Lallemand, S., & Collot, J.-Y. (1999). Tectonic segmentation of the North Andean margin: impact of the Carnegie Ridge collision. *Earth and Planetary Science Letters*, 168(3–4), 255–270.

Hall, M. L. (1977). El volcanismo en el Ecuador (p. 120). IPGH, Sección Nacional del Ecuador.

Hall, M. L. (1977). El volcanismo en el Ecuador (p. 120). IPGH, Sección Nacional del Ecuador.

Hall, M. L., & Beate, B. (1991). El volcanismo plio-cuaternario en los Andes del Ecuador. *Estudios Geograficos*, 4, 5-38.

Hall, M. L., Samaniego, P., Le Pennec, J. L., & Johnson, J. B. (2008). Ecuadorian Andes volcanism: A review of Late Pliocene to present activity. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 176(1), 1-6.

Hall, M., & Mothes, P. (2012). Nuevos Centros Volcánicos al Pié Oriental de los Andes Ecuatorianos, Provincia de Napo. *Revista Huellas Del Sumaco*, 7, 1–10.

Haq, B. U., Hardenbol, J. A. N., & Vail, P. R. (1987). Chronology of fluctuating sea levels since the Triassic. *Science*, 235(4793), 1156-1167.

Harmon, R. S., Barreiro, B. A., Moorbath, S., Hoefs, J., Francis, P. W., Thorpe, R. S., & Viglino, J. A. (1984). Regional O-, Sr-, and Pb-isotope relationships in late Cenozoic calc-alkaline lavas of the Andean Cordillera. *Journal of the Geological Society*, 141(5), 803-822.

Hidalgo, S., Gerbe, M. C., Martin, H., Samaniego, P., & Bourdon, E. (2012). Role of crustal and slab components in the Northern Volcanic Zone of the Andes (Ecuador) constrained by Sr–Nd–O isotopes. *Lithos*, 132, 180-192.

Hoffer, G., Eissen, J. P., Beate, B., Bourdon, E., Fornari, M., & Cottencotton, J. (2008). Geochemical and petrological constraints on rear-arc magma genesis processes in Ecuador: The Puyo cones and Mera lavas volcanic formations. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 176(1), 107-118.

Imagery and Data | NOAA National Environmental Satellite, Data, and Information Service (NESDIS). (s. f.). . Recuperado noviembre 14, 2018, a partir de <https://www.nesdis.noaa.gov/content/imagery-and-data>

Jaillard E., Bengtson P., V. Dhondt A. (2005). La transgression marina del Cretácico Tardío en el Ecuador y en el Norte de Perú: Un marco conceptual estratigráfico redefinido. *Journal of South American Earth Sciences* V. 19 (No. 2), pp. 307-323.

Jaillard, E., Caron, M., Dhondt, A., Ordoñez, M., Andrade, R., Bengtson, P., & Huacho, J. (1997). Síntesis estratigráfica y sedimentológica del Cretáceo y Paleógeno de la cuenca oriental del Ecuador. *Convenio ORSTOM-PETROPRODUCCION*, 1, 1-164.

Jenks, W. F. (1956). *Handbook of South American Geology* (Vol. 65). Geological Society of America.

Kendrick, E., Bevis, M., Smalley Jr, R., Brooks, B., Vargas, R. B., Lauria, E., & Fortes, L. P. S. (2003). The Nazca–South America Euler vector and its rate of change. *Journal of South American Earth Sciences*, 16(2), 125-131.

Knight, C. L., Cuéllar, A. M., Glascock, M. D., Hall, M. L., & Mothes, P. A. (2011). Obsidian source characterization in the Cordillera Real and eastern piedmont of the north Ecuadorian Andes. *Journal of Archaeological Science*, 38(5), 1069-1079.

- Leary, S., Sillitoe, R. H., Stewart, P. W., Roa, K. J., & Nicolson, B. E. (2016).** Discovery, geology, and origin of the Fruta Del Norte epithermal gold-silver deposit, southeastern Ecuador. *Economic Geology*, 111(5), 1043-1072.
- Legrand, D., Baby, P., Bondoux, F., Dorbath, C., De Berc, S. B., & Rivadeneira, M. (2005).** The 1999–2000 seismic experiment of Macas swarm (Ecuador) in relation with rift inversion in Subandean foothills. *Tectonophysics*, 395(1-2), 67-80.
- Lonsdale, P. (2005).** Creation of the Cocos and Nazca plates by fission of the Farallon plate. *Tectonophysics*, 404(3–4), 237–264.
- Loughlin, N. J., Gosling, W. D., Coe, A. L., Gulliver, P., Mothes, P., & Montoya, E. (2017).** Landscape-scale drivers of glacial ecosystem change in the montane forests of the eastern Andean flank, Ecuador. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 489, 198-208.
- Macpherson, C. G., Dreher, S. T., & Thirlwall, M. F. (2006).** Adakites without slab melting: high pressure differentiation of island arc magma, Mindanao, the Philippines. *Earth and Planetary Science Letters*, 243(3), 581-593.
- Mariño Morejón, E. D. L. M. (2016).** Identificación y caracterización de facies de la Formación Hollín en un afloramiento ubicado en el Proyecto Hidroeléctrico Coca-Codo Siclair, provincia de Napo (Bachelor's thesis, Quito, 2016).
- Michaud, F., Witt, C., & Royer, J. Y. (2009).** Influence of the subduction of the Carnegie volcanic ridge on Ecuadorian geology: Reality and fiction. *Backbone of the Americas: Shallow Subduction, Plateau Uplift, and Ridge and Terrane Collision*, 204, 217.
- Ministerio del Ambiente del Ecuador. (2013).** *Plan de Manejo del Parque Nacional Sumaco - Napo Galeras*. Quito.
- Müntener, O., & Ulmer, P. (2006).** Experimentally derived high-pressure cumulates from hydrous arc magmas and consequences for the seismic velocity structure of lower arc crust. *Geophysical Research Letters*, 33(21).
- Nocquet, J. M., Mothes, P., & Alvarado, A. (2009).** Geodésia, geodinámica y ciclo sísmico en Ecuador, 18.

Nocquet, J. M., Villegas-Lanza, J. C., Chlieh, M., Mothes, P. A., Rolandone, F., Jarrin, P., Cisneros, D., et al. (2014). Motion of continental slivers and creeping subduction in the northern Andes. *Nature Geoscience*, 7(4), 287–291.

PARQUE NACIONAL SUMACO – Ministerio del Ambiente. (s. f.). Recuperado enero 16, 2018, a partir de <http://www.ambiente.gob.ec/parque-nacional-sumaco/>

Peccerillo, A., & Taylor, S. R. (1976). Geochemistry of Eocene calc-alkaline volcanic rocks from the Kastamonu area, northern Turkey. *Contributions to mineralogy and petrology*, 58(1), 63-81.

Pennington, W. D. (1981). Subduction of the Eastern Panama Basin and seismotectonics of northwestern South America. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 86(B11), 10753–10770.

Philpotts, A., & Ague, J. (2009). Principles of igneous and metamorphic petrology. Cambridge University Press.

Rivadeneira, M., Baby, P., Dávila, C., & Christophoul, F. (1999). La Cuenca Oriente: estilo tectónico, etapas de deformación y características geológicas de los principales campos de Petroproducción. *Petroproducción —IRD (EX ORSTOM)*. Quito, Ecuador, 88.

Robert, E., Jaillard, E., Peybernes, B., & BULOT, L. G. (2002). La transgresión albiana en la cuenca andina (Perú central y Ecuador): modelo general y diacronismo de los depósitos marinos. *Boletín de la Sociedad Geológica del Perú*, 94, 25-30.

Rollinson, H. R. (1992). Another look at the constant sum problem in geochemistry. *MINERALOGICAL MAGAZINE-LONDON-*, 56, 469-469.

Romeuf, N., Münch, P., Soler, P., Jaillard, E., Pik, R., & Aguirre, L. (1997). Mise en évidence de deux lignes magmatiques dans le volcanisme du Jurassique inférieur de la zone subandine équatorienne. *COMPTES RENDUS-ACADEMIE DES SCIENCES PARIS SERIE 2 SCIENCES DE LA TERRE ET DES PLANETES FASCICULE A*, 324, 361-368.

Samaniego, P., Martin, H., Monzier, M., Robin, C., Fornari, M., Eissen, J. P., & Cotten, J. (2005). Temporal evolution of magmatism in the Northern Volcanic Zone of the Andes: the geology and petrology of Cayambe Volcanic Complex (Ecuador). *Journal of petrology*, 46(11), 2225-2252.

Samaniego, P., Martin, H., Robin, C., & Monzier, M. (2002). Transition from calc-alkalic to adakitic magmatism at Cayambe volcano, Ecuador: insights into slab melts and mantle wedge interactions. *Geology*, 30(11), 967-970.

Santamaría, S., Telenchana, E., Bernard, B., Hidalgo, S., Beate, B., Córdova, M., & Narváez, D. (2017). Registro de erupciones ocurridas en los Andes del Norte durante el Holoceno: Nuevos resultados obtenidos en la turbera de Potrerillos, Complejo Volcánico Chiles-Cerro Negro, 39(2), 9.

Schiano, P., Monzier, M., Eissen, J. P., Martin, H., & Koga, K. T. (2010). Simple mixing as the major control of the evolution of volcanic suites in the Ecuadorian Andes. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 160(2), 297-312.

Shanmugam, G., Poffenberger, M., & Toro Alava, J. (2000). Tide-dominated estuarine facies in the Hollin and N"apo" (" T"" a"nd" U") formations (Cretaceous), Sacha field, Oriente basin, Ecuador. *AAPG bulletin*, 84(5), 652-682.

Sinclair, J. H., & Wasson, T. (1923). Explorations in eastern Ecuador. *Geographical review*, 13(2), 190-210.

Spikings, R. A., Winkler, W., Seward, D., & Handler, R. (2001). Along-strike variations in the thermal and tectonic response of the continental Ecuadorian Andes to the collision with heterogeneous oceanic crust. *Earth and Planetary Science Letters*, 186(1), 57-73.

Spikings, R., Cochrane, R., Villagomez, D., Van der Lelij, R., Vallejo, C., Winkler, W., & Beate, B. (2015). The geological history of northwestern South America: from Pangaea to the early collision of the Caribbean Large Igneous Province (290–75 Ma). *Gondwana Research*, 27(1), 95-139.

Stewart, P. W., Stein, H. J., & Roa, K. (2016). Fruta del Norte, Ecuador: A completely preserved Late Jurassic epithermal gold-silver deposit.

SUMACO - Instituto Geofísico - EPN. (s. f.). . Recuperado enero 2, 2018, a partir de <http://www.igepn.edu.ec/sumaco>

Trenkamp, R., Kellogg, J. N., Freymueller, J. T., & Mora, H. P. (2002). Wide plate margin deformation, southern Central America and northwestern South America, CASA GPS observations. *Journal of South American Earth Sciences*, 15(2), 157–171.

Vallejo Vargas, S. X. (2011). Distribución de las cenizas volcánicas Holocénicas Tardías en la Costa del Ecuador (Bac'helor's thesis, QUITO/EPN/2011).

Wallace, P. J. (2005). Volatiles in subduction zone magmas: concentrations and fluxes based on melt inclusion and volcanic gas data. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 140(1-3), 217-240.

Watson, E. B., & Harrison, T. M. (1983). Zircon saturation revisited: temperature and composition effects in a variety of crustal magma types. *Earth and Planetary Science Letters*, 64(2), 295-304.

White, H. J., Skopec, R. A., Ramirez, F. A., Rodas, J. A., & Bonilla, G. (1995). Reservoir characterization of the Hollin and Napo formations, western Oriente Basin, Ecuador.

White, J. D. L., & Houghton, B. F. (2006). Primary volcanoclastic rocks. *Geology*, 34(8), 677-680.

White, S. M., Trenkamp, R., & Kellogg, J. N. (2003). Recent crustal deformation and the earthquake cycle along the Ecuador–Colombia subduction zone. *Earth and Planetary Science Letters*, 216(3), 231-242.

Witt, C., Bourgois, J., Michaud, F., Ordoñez, M., Jiménez, N., & Sosson, M. (2006). Development of the Gulf of Guayaquil (Ecuador) during the Quaternary as an effect of the North Andean block tectonic escape. *Tectonics*, 25(3).

Ye, Y. (2014). Depositional systems and sequence stratigraphy of the M1 sandstone in Tarapoa, Ecuador (Doctoral dissertation).

Yepes, H., Audin, L., Alvarado, A., Beauval, C., Aguilar, J., Font, Y., & Cotton, F. (2016). A new view for the geodynamics of Ecuador: Implication in seismogenic

source definition and seismic hazard assessment: ECUADOR GEODYNAMICS AND PSHA. *Tectonics*, 35(5), 1249–1279.

ANEXO I

INFORME DE ANÁLISIS DE DATOS DE RADIOCARBONO

 Beta Analytic <small>RADIOCARBON DATING</small>	Beta Analytic Inc 4985 SW 74 Court Miami, Florida 33155 Tel: 305-667-5167 Fax: 305-663-0964 beta@radiocarbon.com	Mr. Darden Hood President Mr. Ronald Hatfield Mr. Christopher Patrick Deputy Directors
ISO/IEC 2005:17025-Accredited Testing Laboratory		

REPORT OF RADIOCARBON DATING ANALYSES

Patricia Mothes	Report Date: July 25, 2018
Escuela Politécnica Nacional	Material Received: July 06, 2018

Laboratory Number	Sample Code Number	Conventional Radiocarbon Age (BP) or Percent Modern Carbon (pMC) & Stable Isotopes	
Beta - 498933	Moth-Sumaco3	4370 +/- 30 BP	IRMS δ13C: -23.1 ‰

(93.4%)	3026 - 2887 cal BC	(4975 - 4836 cal BP)	
(2.0%)	3081 - 3069 cal BC	(5030 - 5018 cal BP)	

Submitter Material: Carbonized twigs
 Pretreatment: (organic sediment) acid washes
 Analyzed Material: Organic sediment
 Analysis Service: AMS-Standard delivery
 Percent Modern Carbon: 58.04 +/- 0.22 pMC
 Fraction Modern Carbon: 0.5804 +/- 0.0022
 δ14C: -419.58 +/- 2.17 ‰
 Δ14C: -424.34 +/- 2.17 ‰(1950:2,018.00)
 Measured Radiocarbon Age: (without δ13C correction): 4340 +/- 30 BP
 Calibration: BetaCal3.21; HPD method: SHCAL13

Results are ISO/IEC:17025:2005 accredited. No sub-contracting or student labor was used in the analyses. All work was done at Beta in 4-in-house NEC accelerator mass spectrometers and 4 Thermo FMSs. The "Conventional Radiocarbon Age" was calculated using the Libby half-life (5568 years), is corrected for isotopic fraction, and was used for calendar calibration where applicable. The Age is rounded to the nearest 10 years and is reported as radiocarbon years before present (BP); "present" = AD, 1950. Results greater than the modern reference are reported as percent modern carbon (pMC). The modern reference standard was 99% the 14C signature of NIST SRM-4990C (oxalic acid). Quoted errors are 1-sigma counting statistics. Calculated errors less than 30 BP on the Conventional Radiocarbon Age are conservatively rounded up to 30. δ13C values are on the material itself (not the AMS δ13C). δ13C and δ15N values are relative to VPDB-1. References for calendar calibrations are cited at the bottom of calibration graph pages.



Beta Analytic Inc
4550 SW 24 Court
Miami, Florida 33155
Tel: 305-447-5157
Fax: 305-447-0964
beta@radiocarbon.com

Mr. Darden Hood
President

Mr. Ronald Hatfield
Mr. Christopher Parlick
Deputy Director

ISO/IEC 17025 Accredited Testing Laboratory

REPORT OF RADIOCARBON DATING ANALYSES

Patricia Mather Report Date: April 23, 2018
Escuela Politecnica Nacional Material Received: March 29, 2018

Laboratory Number	Sample Code Number	Conventional Radiocarbon Age (BP) or Percent Modern Carbon (pMC) & 1-sigma (1σ) Range	Calibrated Calendar Range: 95.4 % Probability High Probability Calendar Range (cal BP)
DATE - 48098	MOTR-4-LDR18	25310 ± 100 BP	(1980-5130) - 26.6 cal BP

(95.4%) 27571 - 27046 cal BC (29620 - 28995 cal BP)

Subscriber Material: Plant
Pre-treatment: (plant material) acid/alkali/acid
Analyzed Material: Plant material
Analysis Service: Radiocarbon/PL/US-Standard delivery
Percent Modern Carbon: 4.28 ± 0.05 pMC
Fraction Modern Carbon: 0.0428 ± 0.0035
δ13C: -25.7 ‰ ± 0.53 ‰ (‰)
δ14C: -57.53 ± 0.53 ‰ (‰) (95% 2.018 ‰)
Measured Radiocarbon Age: (without δ13C correction) 25370 ± 100 BP
Calibrator: BetaCal2.21; HPD method; SHCAL13

Results are ISO/IEC 17025:2005 accredited. An administrative or student record may exist in the process of work and may be filed in a laboratory ISO/IEC accreditation record approximately one to three months. The "Conventional Radiocarbon Age" was calculated using the Libby half-life (5568 years), is calibrated for 1000-10000 BP only and was used for calendar calibration unless specified. The Age is rounded to the nearest 10 years and is reported as indicated (years before present (BP), "Before" ± 1σ, 95.4% probability) with the 1-sigma (1σ) range and reported as percent modern carbon (pMC). The modern standard employed was 95% of the 1950 signature of 1000 ± 10 pMC (1950 AD). Dates are given as 1-sigma (1σ) ranges. Calendar ranges are given as 95.4% of the Conventional Radiocarbon Age and probability rounded to 0.1, 0.1% (1σ) values are at the reported level (per the IAEA 4130) 95% and 47% values are relative to 1950. References to calendar calibrations are made at the bottom of calibration graph pages.



Beta Analytic
RADIOCARBON DATING

Beta Analytic Inc.
4395 SW 74 Court
Miami, Florida 33155
Tel: 305-667-5367
Fax: 305-667-0964
beta@betanuclear.com

Mr. Darden Hood
President

Mr. Ronald Hatfield
Mr. Christopher Parrish
Deputy Directors

ISO/IEC 2006:17025 Accredited Testing Laboratory

REPORT OF RADIOCARBON DATING ANALYSES

Patrice Mothers		Report Date:	April 23, 2016
Escuela Politecnica Nacional		Material Received:	March 25, 2015
Laboratory Number	Sample Code Number	Conventional Radiocarbon Age (BP) or Percent Modern Carbon (pMC) & Sigma Levels	
		Calibrated Radiocarbon Age (cal BP) or High Probability Density Range Method (HPD)	
Beta - 480895	MOTR-2-SUN016	+ 43666 BP	88% 2130 - 25.6 sigma

Submitter Material: Carbonized Wood
 Pretreatment: (none) acid/base/bleach
 Analyzed Material: Wood
 Analysis Service: Radiometric/PLS Standard delivery
 Percent Modern Carbon: + 0.44 pMC
 Fraction Modern Carbon: + 0.0044
 $\delta^{13}C$: + -205.3 permil
 $\Delta^{14}C$: + -886.8 permil(1990.2.9.18.00)
 Measured Radiocarbon Age: (without $\delta^{13}C$ correction) NA
 Calibration: BetaCal3.21-HPD method-SHCAL13

Beta Analytic Inc. (ISO/IEC 17025:2005 accredited) is a laboratory for radiocarbon dating. We use a combination of three different methods: AMS, LSC and Beta Counter. The AMS method is used for samples that are less than 10,000 years old. The LSC method is used for samples that are more than 10,000 years old. The Beta Counter method is used for samples that are more than 10,000 years old. We use a combination of these methods to provide the most accurate and precise results possible. Our laboratory is ISO/IEC 17025:2005 accredited, which means that we meet the highest standards of quality and accuracy in the world. We are proud to be a part of the Beta Analytic team, and we look forward to serving you with the best possible service.



Beta Analytic
RADIOCARBON DATING

Beta Analytic Inc
4985 SW 74 Court
Miami, Florida 33155
Tel: 305-667-5167
Fax: 305-663-0964
beta@radiocarbon.com

Mr. Darden Hood
President

Mr. Ronald Hatfield
Mr. Christopher Patrick
Deputy Directors

ISO/IEC 2005:17025-Accredited Testing Laboratory

INFORME DE LOS ANÁLISIS DE DATACIÓN POR RADIOCARBONO

Patricia Mothes

Fecha del informe: 7 de diciembre de 2018

Escuela Politecnica Nacional

Material recibido: 15 de noviembre de 2018

Información y datos de la muestra

Código de la muestra

Edad de Radiocarbono Convencional (BP) o Porcentaje de Carbono Moderno (pMC) y Relación de Isótopos Estables.

Resultados calibrados a años calendario: 95.4% de probabilidad

Beta - 509867 Moth18_CoreSumaco_TopOL3 360 +/- 30 BP IRMS 513C: -22.0 ‰

(95.4%) 1482 - 1642 cal AD(468 - 308 cal BP)

Material del remitente: Organic - Peat Layer

Pretratamiento: (material carbonizado) ácido/álkalicóido

Material analizado: Material carbonizado

Servicio de análisis: Servicio Standard AMS

Porcentaje de carbono moderno: 95.62 +/- 0.36 pMC

Fracción de carbono moderno: 0.9562 +/- 0.0038

Δ14C: -43.83 +/- 3.57 ‰

Δ14C: -51.66 +/- 3.57 ‰(1950:2018)

Edad de radiocarbono calculada: (sin corrección de δ13C):310 +/- 30 BP

Calibración: BetaCal3.21: HPD method: SHCAL13

Los resultados están acreditados por la normativa ISO/IEC-17025:2005. No se subcontractó a empresas o estudiantes para realizar los análisis. Todo el trabajo se llevó a cabo en las instalaciones de Beta en nuestros 4 espectrómetros de masa con aceleradores NRC y 4 IRMSa Thermo. La "Edad de Radiocarbono Convencional" se calculó utilizando la vida media establecida por Libby (5568 años), corregida en función del fraccionamiento isotópico total y utilizada para la calibración de calendario en caso aplicable. La edad se redondea a los 10 años más cercanos y se expresa como años radiocarbonos antes del presente (BP por sus siglas en inglés), siendo el "presente" = AD 1950. Los resultados mayores que la referencia moderna se expresan como "porcentaje de carbono moderno" (pMC por sus siglas en inglés), el estándar de referencia moderno fue el 95% del registro de 14C del NIST SRM4990C (ácido oxálico). Los errores citados son estadísticas de conteo de 1 sigma. Los sigma calculados marcan a 30 BP con respecto a la Edad de Radiocarbono Convencional se redondean a 30 de manera conservadora. Los valores δ13C corresponden al material mismo (no al valor δ13C obtenido por AMS). Los valores δ13C y δ15N guardan relación con el estándar VPDB-1. Las referencias para las calibraciones de calendario se dan al final de las páginas de las gráficas de calibración.

ANEXO II

UBICACIÓN DE LAS MUESTRAS UTILIZADAS EN LOS ANÁLISIS PETROGRÁFICOS

Muestra	Localización	UTM X	UTM Y	Altura	Tipo de roca	Campaña	Muestreado por
SUM-JS-03	Avila Viejo / Chacayacu	229143	9926997	664	Roca Avalancha	15-Nov-17	Salgado J
SUM-JS-09	Mina Río Suno	239238	9931650	497	Roca Avalancha	16-Nov-17	Salgado J
SUM-A	Río Pucuno/Intersección W/rio	211900	9920116	1220	Lava Flow	2010	Garrison J
SUM B	Río Pucuno/Intersección W/rio	211900	9920116	1220	Lava Flow	2010	Garrison J
SUM C	Río Pucuno/Intersección W/rio	211900	9920116	1220	Lava Flow	2010	Garrison J
GS-3	Cumbre volcán Sumaco	207606	9939606	3600	Roca Cumbre Sumaco	2010	Garrison J
GS-9	Cumbre volcán Sumaco	207606	9939606	3600	Roca Cumbre Sumaco	2010	Garrison J
GS-17	Cumbre volcán Sumaco	207606	9939606	3600	Roca Cumbre Sumaco	2010	Garrison J
SU-19-RF-10-GYS	Río Pingüillo_Bomba	214800	9923664	1060	Bomba	2010	Garrison J
SUM-JS-37	Archidona/San Pablo de Ushpayacu	192924	9895583	501	Canto Rodado Río Hollín	10-Jun-18	Mothes P
SUM-JS-36	Debris Flow - Tena	189515	9888593	570	Clastoform Debris Flow Tena	13-Mar-15	Mothes P
SUM-JS-13	Boca del Suno	263222	9922959	278	Canto Rodado Río Suno	18-Ene-18	Salgado J
SUM-JS-14	Boca del Suno	263222	9922959	278	Canto Rodado Río Suno	18-Ene-18	Salgado J
SUM-JS-28	Puente Loreto	242753	9922926	411	Lahar	20-Ene-18	Salgado J
SUM-JS-33	Río Guamaní margen izquierdo	205907	9920215	1069	Lavas	20-Ene-18	Salgado J
SUM-JS-35	Parada Río Hollín	207551	9923153	3770	Lavas	20-Ene-18	Salgado J
SUM-JS-38	Río Guamaní margen derecho	206146	9920135	1071	Roca Avalancha	19-Jun-18	Salgado J
SUM-JS-40	Flujo de lava efuente Huataracu	212862	9926900	1484	Lavas	20-Jun-18	Salgado J
SUM-JS-41	Las Peñas- El Balcón	235867	9920392	387	Roca Avalancha	20-Jun-18	Salgado J
SUM-JS-42	Flujo de lava efuente Huataracu	212862	9926900	1484	Lava	20-Jun-18	Salgado J
1.19.71	Intersección del Río Pucuno y carretera Loreto-Archidona	210735	9922024	-	Andesita alcalina	01-Ago-91	Hall M
1.19.72	Río Pucuno	210735	9922024	-	Andesita piroxénica alcalina	01-Ago-91	Hall M
1.20.113	Volcán Sumaco	-	-	-	Basalto alcalino	01-Ago-91	Hall M

Muestra	Localización	UTM X	UTM Y	Altura	Tipo de roca	Campaña	Muestreado por
1.20.112	Intersección del Río Pucuno y carretera Loreto-Archidona	210735	9922024	-	Basalto alcalino	01-Ago-91	Hall M
1.20.29	Bloque rodado dominante, río Pucuno, camino Cotundo-Sumaco	-	-	-	Basalto piroxénico	01-Ago-91	Hall M

ANEXO III

ANÁLISIS GEOQUÍMICOS DE LAS ROCAS DEL SUMACO (ELEMENTOS MAYORES)

Tabla 14. Análisis Geoquímicos. Los elementos mayores están dados en wt%. El código de las muestras es el siguiente: SUM XX = Hidalgo et al., (2012); SU-XXX = Garrison et al., (2018); SUM-JS-XX = Presente Estudio; Muestra T3 = Loughlin et al., (2017).

MUESTRA	SiO2	TiO2	Al2O3	FeO	MnO	MgO	CaO	Na2O	K2O	P2O5	Total	Mg#	Fe2O3
SUM 3	54.10	0.76	19.11	6.01	0.23	1.96	6.39	6.59	4.36	0.49	100.00	36.77	6.68
SUM 2	54.27	0.76	19.41	5.93	0.22	1.86	6.09	6.70	4.33	0.44	100.00	35.87	6.58
SUM 1	54.33	0.75	19.46	5.93	0.22	1.78	6.06	6.67	4.32	0.47	100.00	34.91	6.59
SU-400-C-10	53.007	0.784	19.276	7.892	0.227	1.875	6.242	6.245	3.989	0.463	100.00	36.77	8.77
SU-401-L-10	54.650	0.793	19.758	5.145	0.233	1.918	6.371	6.574	4.088	0.469	100.00	36.77	5.72
SU-402-L-10	53.030	0.763	19.277	7.961	0.223	1.793	6.093	6.393	4.017	0.451	100.00	36.77	8.85
SU-403-L-10	55.190	0.791	20.057	3.919	0.231	1.854	6.387	6.861	4.237	0.471	100.00	36.77	4.35
SU-404-L-10	53.471	0.770	19.368	7.220	0.228	1.840	6.183	6.356	4.108	0.457	100.00	36.77	8.02
SU-405-L-10	53.406	0.788	19.301	7.119	0.230	1.882	6.286	6.537	3.987	0.464	100.00	36.77	7.91
SU-406-L-10	54.935	0.775	19.832	4.939	0.231	1.814	6.135	6.599	4.299	0.442	100.00	36.77	5.49
SU-06-L-10	48.660	1.623	17.537	5.460	0.219	6.959	12.065	4.091	2.404	0.982	100.00	69.43	6.07
SU-07-L-10	47.357	1.591	16.930	8.021	0.215	6.875	11.854	3.908	2.288	0.961	100.00	60.43	8.91
SU-08-L-10	47.468	1.589	17.133	7.716	0.212	6.823	11.749	3.991	2.341	0.978	100.00	61.18	8.57
SU-106-AL-10	45.610	1.745	14.508	6.946	0.218	11.487	14.152	2.915	1.430	0.988	100.00	36.77	7.72
SUM 5	44.99	1.70	15.10	9.93	0.19	7.14	13.52	3.28	2.99	1.15	100.00	56.16	11.04
SUM 4	45.09	1.35	16.21	10.26	0.22	6.23	12.65	4.15	2.78	1.06	100.00	51.98	11.40
SUM 6	46.03	1.28	18.47	9.28	0.24	4.41	11.06	4.78	3.24	1.21	100.00	45.86	10.31
SU-12-L-10	46.601	1.452	18.960	7.952	0.247	4.421	10.520	5.230	3.390	1.227	100.000	36.77	8.84
SU-01-L-10	51.064	1.391	20.552	4.041	0.366	2.677	9.240	7.381	2.648	0.641	100.000	54.14	4.49
SU-14-L-10	53.424	0.936	21.110	4.172	0.257	1.965	7.696	5.562	4.259	0.618	100.000	45.63	4.64

MUESTRA	SiO2	TiO2	Al2O3	FeO	MnO	MgO	CaO	Na2O	K2O	P2O5	Total	Mg#	Fe2O3
SU-02-L-10	45.041	1.781	16.775	8.010	0.248	6.414	14.694	4.434	1.169	1.433	100.000	58.80	8.90
SU-16-RF-10	47.476	1.776	19.931	4.487	0.267	5.628	12.682	4.070	2.193	1.491	100.000	69.09	4.99
SU-101-RF-10	47.369	1.619	20.903	7.172	0.275	5.165	11.250	3.076	1.758	1.412	100.000	56.20	7.97
SU103-RF-10	44.166	1.896	15.604	7.817	0.211	7.614	15.539	3.343	2.353	1.457	100.000	63.45	8.69
SU-108-RF-10	46.285	1.896	18.367	7.463	0.237	6.109	12.399	3.465	2.269	1.511	100.000	59.33	8.29
SU-104-DF-10	44.392	1.978	17.403	7.282	0.251	7.404	16.286	2.710	0.726	1.568	100.000	64.44	8.09
SU-17-RF-10	43.687	2.014	22.597	8.666	0.301	6.286	12.262	1.314	1.072	1.802	100.000	56.38	9.63
SU-110-RF-10	46.117	1.484	18.077	8.744	0.235	6.285	12.939	3.235	1.643	1.241	100.000	56.16	9.72
SUM-JS-03	45.73	1.60	18.85	10.24	0.21	4.38	10.68	5.42	1.57	1.33	100.00	43.23	11.38
SUM-JS-09	45.17	1.27	18.75	10.08	0.28	4.07	12.08	5.48	1.54	1.27	100.00	41.82	11.21
SUM-JS-16	51.05	1.51	21.13	9.97	0.20	3.31	6.40	2.99	2.71	0.74	100.00	37.16	11.08
SUM-JS-26	57.46	1.04	20.17	7.40	0.15	2.36	3.29	3.76	3.83	0.53	100.00	36.25	8.22
SUM-JS-33	49.60	1.02	20.22	8.35	0.22	3.30	9.28	4.35	2.80	0.86	100.00	41.35	9.1
SUM-JS-40	40.49	1.63	27.71	11.24	0.31	4.64	9.45	0.98	1.32	2.25	100.00	42.38	10.5
T3	59.31	0.89	20.05	2.73	0.07	2.33	5.11	5.15	3.85	0.52	100.00	60.35	2.92
SUM 37	44.05	1.63	13.98	10.53	0.20	10.63	13.29	3.21	1.54	0.93	100.00	64.27	11.70
SUM 11B	44.23	1.58	17.98	10.22	0.22	5.36	11.24	4.65	3.19	1.33	100.00	48.32	11.36
SUM 7	44.61	1.75	17.22	10.68	0.20	5.86	13.67	3.40	1.21	1.40	100.00	49.44	11.87
SUM 36	45.81	1.50	17.20	9.88	0.21	5.18	10.84	5.08	3.10	1.18	100.00	48.30	10.98
SUM 32	45.93	1.56	17.06	10.06	0.20	6.30	10.87	4.51	2.47	1.04	100.00	52.74	11.17
SUM 9	46.10	1.50	16.61	10.12	0.20	6.84	11.55	3.95	2.28	0.85	100.00	54.63	11.24
SUM 15	46.30	1.33	18.22	9.20	0.24	4.86	9.92	5.55	3.38	0.99	100.00	48.51	10.23
SUM 13	46.52	1.33	17.93	9.87	0.22	4.77	11.17	4.29	2.91	0.99	100.00	46.29	10.97
SUM 14	46.60	1.34	17.84	9.95	0.22	4.83	11.22	4.16	2.84	0.99	100.00	46.39	11.06
SUM 11C	46.62	1.12	20.01	8.31	0.34	2.37	9.39	8.30	2.98	0.56	100.00	33.73	9.23
SUM 38B	46.92	1.36	17.85	9.87	0.22	4.77	11.12	4.24	2.67	0.98	100.00	46.30	10.96
SUM 35B	46.99	1.40	19.07	9.38	0.22	3.55	8.97	5.91	3.38	1.12	100.00	40.27	10.43
SUM 35A	47.21	1.48	20.71	9.96	0.25	3.67	9.38	4.81	1.32	1.21	100.00	39.62	11.07

MUESTRA	SiO2	TiO2	Al2O3	FeO	MnO	MgO	CaO	Na2O	K2O	P2O5	Total	Mg#	Fe2O3
SUM 38A	47.34	1.36	18.21	9.82	0.22	4.81	11.27	5.04	0.94	1.00	100.00	46.57	10.92
SUM 11D	47.45	1.06	21.74	7.68	0.30	1.76	6.78	9.54	3.09	0.60	100.00	29.04	8.53
SUM 20C	47.64	1.11	18.36	8.58	0.26	4.13	8.82	6.30	3.65	1.14	100.00	46.17	9.54
SUM 39	47.68	1.10	18.22	8.68	0.25	4.11	8.88	6.21	3.73	1.13	100.00	45.79	9.65
SUM 40	47.71	1.13	18.02	8.74	0.25	4.33	9.04	6.30	3.35	1.15	100.00	46.89	9.71
SUM 12	47.79	1.54	18.07	9.95	0.19	5.06	9.92	4.35	2.21	0.91	100.00	47.56	11.06
SUM 41C	47.81	1.54	17.72	9.98	0.19	5.08	9.93	4.46	2.31	0.98	100.00	47.59	11.09
SUM 41B	47.86	1.50	17.83	9.89	0.19	5.00	10.03	4.42	2.27	1.02	100.00	47.42	10.99
SUM 20B	47.82	1.12	18.32	8.61	0.25	4.25	9.06	5.95	3.51	1.11	100.00	46.83	9.56
SUM 43	47.94	1.46	17.99	9.84	0.19	4.96	10.07	4.17	2.35	1.02	100.00	47.30	10.94
SUM 41A	47.96	1.49	17.67	9.90	0.20	5.02	10.10	4.30	2.32	1.03	100.00	47.45	11.01
SUM 42C	48.30	1.45	17.92	9.75	0.20	4.78	9.77	4.46	2.36	1.01	100.00	46.63	10.83
SUM 28A	48.41	1.10	18.31	8.50	0.24	4.24	8.84	6.61	2.70	1.04	100.00	47.06	9.45
SUM 34A	49.41	1.17	18.96	9.78	0.23	3.91	9.31	4.49	1.53	1.22	100.00	41.62	10.86
SUM 33	49.66	1.18	18.91	9.86	0.22	3.85	8.93	4.08	2.08	1.22	100.00	41.05	10.96
SUM 34B	49.66	1.16	18.74	9.63	0.23	3.87	9.11	4.58	1.83	1.20	100.00	41.74	10.70
SUM 11A	51.16	0.92	20.45	6.61	0.22	2.19	7.19	7.55	3.13	0.58	100.00	37.11	7.35
SUM 27	51.63	0.98	18.51	7.96	0.21	3.43	8.64	5.01	2.82	0.82	100.00	43.48	8.84
SUM 26	52.08	0.98	18.51	8.75	0.21	3.45	8.68	4.29	2.22	0.84	100.00	41.27	9.72
SUM 20D	53.15	0.83	19.22	6.45	0.23	2.19	6.54	6.67	4.16	0.54	100.00	37.70	7.17
SUM 8	53.20	0.64	22.71	4.41	0.23	0.80	4.85	7.25	5.65	0.25	100.00	24.41	4.90
SUM 42B	53.66	0.80	19.16	6.25	0.23	2.08	6.40	6.68	4.21	0.53	100.00	37.25	6.95
SUM 17	53.83	0.76	19.40	5.90	0.23	1.88	6.20	6.93	4.40	0.47	100.00	36.19	6.56
SUM 16	53.90	0.75	19.51	5.96	0.22	1.79	6.11	6.99	4.30	0.46	100.00	34.91	6.62
SUM 18B	53.94	0.75	19.67	5.76	0.22	1.76	5.98	7.06	4.41	0.45	100.00	35.32	6.40
SUM 18A	53.97	0.75	19.62	5.81	0.22	1.74	6.05	7.01	4.39	0.45	100.00	34.78	6.45
SUM 31	54.02	0.76	19.43	6.00	0.23	1.81	6.00	6.92	4.36	0.46	100.00	34.99	6.66
SUM 18C	54.02	0.75	19.72	5.87	0.22	1.78	5.96	7.00	4.23	0.44	100.00	35.13	6.52

MUESTRA	SiO2	TiO2	Al2O3	FeO	MnO	MgO	CaO	Na2O	K2O	P2O5	Total	Mg#	Fe2O3
SUM 21	54.05	0.76	19.42	5.92	0.23	1.80	6.15	6.86	4.32	0.47	100.00	35.14	6.58
SUM 22	54.08	0.79	19.49	6.22	0.24	2.00	6.24	6.70	3.76	0.49	100.00	36.39	6.91
SUM 30B	54.29	0.74	19.47	5.85	0.22	1.74	5.95	6.99	4.29	0.46	100.00	34.60	6.51
SUM 24C	54.30	0.76	19.49	5.90	0.22	1.80	6.12	6.69	4.28	0.45	100.00	35.19	6.55
SUM 23	54.33	0.74	19.55	5.80	0.22	1.77	6.01	6.91	4.21	0.45	100.00	35.18	6.45
SUM 28C	54.37	0.73	19.51	5.71	0.22	1.70	5.79	7.03	4.50	0.43	100.00	34.61	6.35
SUM 19B	54.42	0.74	19.77	5.76	0.22	1.74	5.96	6.75	4.20	0.44	100.00	35.03	6.40
SUM 24B	54.50	0.74	19.61	5.85	0.23	1.71	5.86	6.80	4.27	0.43	100.00	34.28	6.50
SUM 19C	54.59	0.74	19.76	5.65	0.22	1.69	5.82	6.69	4.41	0.43	100.00	34.70	6.28
SUM 24A	54.87	0.76	19.83	5.97	0.23	1.82	5.87	6.56	3.63	0.45	100.00	35.25	6.64
SUM 29	55.10	0.77	19.67	6.00	0.23	1.83	5.97	6.49	3.48	0.45	100.00	35.27	6.66

ANEXO IV

ANÁLISIS GEOQUÍMICOS DE LAS ROCAS DEL SUMACO (ELEMENTOS TRAZA)

Tabla 15. Análisis Geoquímicos. Los elementos traza están dados en ppm. El código de las muestras es el siguiente: SUM XX = Hidalgo et al., (2012); SU-XXX = Garrison et al., (2018); SUM-JS-XX = Presente Estudio; Muestra T3 = Loughlin et al., (2017).

MUESTRA	Sc	V	Cr	Co	Ni	Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Ba	La	Ce	Nd	Sm	Eu	Gd	Dy	Er	Yb	Th	
SUM 3	4.0	140.0	10.00	12.00	9.00	115.00	2585.00	37.00	392.00	52.00	2900.00	137.00	245.00	89.00	15.60	3.79	9.70	6.25	3.20	3.20	28.70	
SUM 2	3.6	132.0	8.00	12.00	7.00	101.00	2600.00	37.00	385.00	50.00	2775.00	136.00	242.00	87.00	15.40	3.79	10.00	6.40	3.20	3.20	29.20	
SUM 1	3.6	136.0	7.00	12.00	7.00	104.00	2590.00	35.00	395.00	51.00	2770.00	139.00	243.00	91.00	14.70	3.79	9.70	6.50	3.20	3.07	28.80	
SU-400-C-10	-	134.78	5.56	-	10.12	112.15	2709.72	34.04	365.44	53.79	2774.93	134.09	233.93	90.81	-	-	-	-	-	-	-	30.67
SU-401-L-10	-	131.51	6.65	-	9.93	112.55	2671.61	34.34	364.15	54.79	2763.22	136.07	235.32	89.13	-	-	-	-	-	-	-	30.37
SU-402-L-10	-	130.02	8.24	-	11.12	113.24	2687.99	34.34	365.64	54.49	2771.66	136.77	241.67	90.22	-	-	-	-	-	-	-	32.45
SU-403-L-10	-	129.12	6.25	-	8.93	112.25	2686.30	34.24	363.26	54.89	2773.14	135.18	236.81	90.02	-	-	-	-	-	-	-	30.27
SU-404-L-10	-	132.20	7.94	-	10.32	111.76	2650.47	33.94	364.64	54.79	2757.96	137.46	236.31	90.02	-	-	-	-	-	-	-	30.57
SU-405-L-10	-	131.11	6.95	-	10.22	110.96	2683.52	34.44	364.15	54.49	2771.75	136.27	234.63	89.62	-	-	-	-	-	-	-	32.06
SU-406-L-10	-	128.93	6.65	-	9.33	104.11	2649.78	33.75	365.74	54.29	2791.21	137.66	236.81	90.32	-	-	-	-	-	-	-	31.26
SU-06-L-10	-	271.75	130.81	-	55.38	47.74	1795.73	26.80	174.98	29.08	1368.66	62.33	117.71	56.47	-	-	-	-	-	-	-	9.33
SU-07-L-10	-	276.51	132.10	-	57.47	48.04	1813.69	27.99	176.37	29.18	1369.75	61.63	124.26	60.94	-	-	-	-	-	-	-	10.22
SU-08-L-10	-	273.83	130.71	-	57.96	47.04	1869.87	26.70	174.88	29.08	1390.89	62.53	119.10	57.96	-	-	-	-	-	-	-	10.22
SU-106-AL-10	-	302.51	468.36	-	0.00	88.73	1536.09	27.59	165.35	24.02	1019.60	56.97	117.71	60.24	-	-	-	-	-	-	-	8.24
SUM 5	27.5	304.00	110.00	32.00	32.00	82.00	2100.00	34.50	408.00	22.00	1185.00	86.00	176.00	92.00	18.00	4.60	12.80	7.30	3.00	2.42	11.50	
SUM 4	26.0	310.00	70.00	36.00	24.00	93.00	2470.00	34.00	220.00	22.50	1300.00	75.00	150.00	75.00	15.00	3.90	11.00	6.55	2.80	2.47	11.10	
SUM 6	9.7	275.00	4.00	31.00	12.00	80.00	2560.00	36.00	256.00	37.00	2070.00	108.00	205.00	90.00	16.00	3.95	11.00	6.65	3.05	2.82	23.00	
SU-12-L-10	-	284.95	17.96	-	19.85	115.43	3070.20	33.65	251.90	41.19	1752.26	95.97	182.62	85.45	-	-	-	-	-	-	-	18.56
SU-01-L-10	-	281.67	0.60	-	6.05	85.16	4121.26	47.84	358.19	84.86	2621.79	174.98	322.17	125.85	-	-	-	-	-	-	-	32.65
SU-14-L-10	-	174.08	8.14	-	11.22	149.87	3670.07	34.94	336.85	53.89	3015.71	130.81	232.64	91.41	-	-	-	-	-	-	-	34.14

MUESTRA	Sc	V	Cr	Co	Ni	Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Ba	La	Ce	Nd	Sm	Eu	Gd	Dy	Er	Yb	Th
SU-02-L-10	-	332.49	35.83	-	27.89	64.31	2653.65	36.13	233.14	42.68	1461.16	99.94	194.53	96.07	-	-	-	-	-	-	20.74
SU-16-RF-10	-	309.76	23.32	-	19.55	169.92	2756.77	36.52	249.81	38.51	1625.22	91.91	184.31	89.23	-	-	-	-	-	-	14.49
SU-101-RF-10	-	293.38	22.43	-	24.32	23.62	2831.01	37.22	285.34	47.94	2286.22	121.88	228.97	101.24	-	-	-	-	-	-	24.91
SU103-RF-10	-	356.51	78.61	-	42.68	107.59	2147.57	36.03	218.35	32.36	1332.83	88.93	173.79	87.84	-	-	-	-	-	-	17.47
SU-108-RF-10	-	316.51	44.46	-	31.36	115.63	2580.50	36.03	439.68	36.42	1667.70	103.82	216.17	101.53	-	-	-	-	-	-	17.37
SU-104-DF-10	-	349.86	47.04	-	31.86	420.52	2638.36	36.42	234.53	40.20	1437.44	94.59	196.32	96.57	-	-	-	-	-	-	19.45
SU-17-RF-10	-	335.07	23.82	-	17.96	5.86	1294.12	38.71	275.72	39.40	1396.35	96.37	193.64	92.00	-	-	-	-	-	-	15.68
SU-110-RF-10	-	305.59	56.77	-	27.69	115.03	2707.24	31.56	213.39	29.18	1419.08	82.68	152.85	78.41	-	-	-	-	-	-	14.39
SUM-JS-03	12	297.24	7.37	-	22.02	232.16	2413.70	30.91	204.84	36.16	1930.11	70.40	145.54	67.87	-	-	-	-	-	-	13.23
SUM-JS-09	9	291.59	3.84	-	13.53	278.59	3931.12	38.58	270.17	50.50	2822.04	127.97	244.82	103.93	-	-	-	-	-	-	24.54
SUM-JS-16	15	242.60	58.48	-	22.42	92.76	1764.07	35.35	284.94	37.77	2477.43	117.06	222.81	92.52	-	-	-	-	-	-	19.90
SUM-JS-26	12	164.02	75.48	-	17.59	91.61	1060.48	32.16	311.06	35.98	1872.42	94.17	147.94	67.74	-	-	-	-	-	-	20.40
SUM-JS-33	8.1	175	1.7	22.5	7.3	83	2994	35.3	243	35.4	2325	114	196	85.8	14.8	3.95	10.0	6.3	3.8	2.94	16.1
SUM-JS-40	8.8	273	14.8	25.6	12.4	8	966	40.8	277	62.3	1815	111	200	93.7	16.7	4.53	11.6	7.4	3.8	3.39	28.5
T3	-	-	106	-	23	-	-	-	-	-	2538	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
SUM 37	28.5	295.00	405.00	46.00	175.00	80.00	1520.00	28.00	166.00	21.00	1030.00	57.00	112.00	61.00	11.20	3.15	8.40	5.50	2.40	2.02	7.00
SUM 11B	15.5	298.00	19.00	33.00	25.00	82.00	2620.00	32.50	216.00	36.00	2000.00	93.00	176.00	82.00	13.50	3.74	10.45	5.95	3.00	2.50	19.50
SUM 7	18.8	336.00	25.00	36.00	21.00	63.50	2250.00	42.00	325.00	39.00	1540.00	100.00	190.00	93.00	18.00	4.80	13.40	8.30	3.70	2.92	17.50
SUM 36	13.5	268.00	56.00	32.00	30.00	73.00	2200.00	32.50	240.00	32.00	1680.00	92.00	174.00	85.00	14.00	3.90	10.00	6.30	2.80	2.38	12.80
SUM 32	16.5	268.00	120.00	34.00	72.00	69.00	1900.00	29.00	205.00	26.00	1370.00	75.00	144.00	72.00	12.30	3.40	9.10	5.75	2.70	2.17	10.30
SUM 9	22.0	270.00	127.00	35.00	55.00	42.00	1740.00	28.00	172.00	25.50	1280.00	61.00	114.00	59.00	10.30	3.02	8.50	5.25	2.40	2.10	8.20
SUM 15	11.7	270.00	95.00	29.00	42.00	93.00	2700.00	37.00	270.00	45.50	2000.00	116.00	208.00	93.00	15.00	4.02	10.80	6.65	3.20	2.90	17.50
SUM 13	17.0	280.00	12.00	29.00	17.00	66.00	2320.00	35.00	230.00	21.50	1990.00	121.00	222.00	106.00	17.70	4.65	12.00	6.50	3.20	2.60	19.50
SUM 14	17.0	280.00	12.00	30.00	17.00	58.00	2320.00	35.00	230.00	22.00	1920.00	121.00	222.00	107.00	18.00	4.64	12.00	6.60	3.25	2.60	19.50
SUM 11C	2.4	255.00	4.00	16.00	3.50	80.00	4400.00	49.00	375.00	58.00	2300.00	166.00	310.00	132.00	21.00	5.70	14.50	8.90	4.40	3.90	23.50
SUM 38B	17.5	276.00	14.50	30.00	17.00	60.00	2185.00	33.50	228.00	22.50	1850.00	104.00	197.00	94.00	15.90	4.25	11.50	6.35	3.00	2.50	16.50
SUM 35B	6.5	245.00	9.50	26.00	13.00	87.00	2500.00	33.50	265.00	39.50	1920.00	105.00	187.00	87.00	14.40	3.92	10.35	6.40	2.80	2.52	16.30
SUM 35A	6.0	242.00	9.00	26.00	13.00	120.00	2630.00	33.00	260.00	40.50	2000.00	111.00	200.00	91.00	14.90	3.95	10.30	6.45	2.90	2.60	16.20

MUESTRA	Sc	V	Cr	Co	Ni	Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Ba	La	Ce	Nd	Sm	Eu	Gd	Dy	Er	Yb	Th
SUM 38A	17.5	274.00	13.50	30.00	16.50	51.00	2200.00	34.00	227.00	22.50	1880.00	104.00	195.00	96.00	16.00	4.30	11.80	6.40	3.00	2.51	16.00
SUM 11D	1.6	195.00	2.50	16.00	2.50	82.00	3800.00	43.00	340.00	70.00	2300.00	166.00	295.00	116.00	16.80	4.64	11.90	7.25	3.70	3.40	32.00
SUM 20C	5.8	230.00	31.00	27.00	37.00	84.00	2940.00	37.00	315.00	52.00	2620.00	140.00	242.00	100.00	15.70	4.27	11.00	6.80	3.45	2.92	25.00
SUM 39	5.7	215.00	29.00	26.00	35.00	86.00	2950.00	37.00	316.00	52.00	2450.00	137.00	240.00	100.00	15.60	4.30	11.50	6.65	3.15	2.91	25.40
SUM 40	6.5	207.00	42.00	27.00	41.00	82.00	2900.00	36.50	312.00	50.50	2475.00	134.00	236.00	98.00	15.50	4.17	11.00	6.65	3.10	2.83	24.00
SUM 12	40.0	255.00	29.00	30.00	25.00	44.00	1750.00	28.50	202.00	27.50	1350.00	65.00	124.00	61.50	10.50	3.12	8.20	5.10	2.50	2.10	10.40
SUM 41C	18.8	257.00	28.00	31.00	24.00	41.50	1760.00	28.50	187.00	28.00	1380.00	66.00	125.00	62.00	10.90	3.07	8.40	5.30	2.60	2.17	10.00
SUM 41B	18.0	254.00	22.50	31.00	24.00	40.00	1800.00	28.50	193.00	28.50	1430.00	70.00	133.00	63.50	11.10	3.13	8.50	5.20	2.60	2.15	10.90
SUM 20B	6.5	225.00	40.00	27.00	40.00	86.50	2910.00	37.00	315.00	51.50	2520.00	140.00	237.00	99.00	15.70	4.28	11.10	6.80	3.45	2.92	25.00
SUM 43	16.7	246.00	21.00	30.00	22.50	38.00	1840.00	28.50	190.00	27.50	1480.00	72.00	136.00	65.00	11.40	3.15	8.50	5.25	2.45	2.17	11.40
SUM 41A	18.5	254.00	24.00	32.00	24.00	39.50	1800.00	29.00	195.00	28.00	1450.00	71.00	132.00	63.50	11.20	3.14	8.55	5.30	2.50	2.17	10.90
SUM 42C	17.0	246.00	18.50	30.00	21.50	43.50	1820.00	29.50	200.00	28.50	1520.00	74.00	136.00	66.00	11.70	3.20	8.80	5.35	2.55	2.24	11.60
SUM 28A	6.5	195.00	43.00	24.00	38.00	59.00	2830.00	36.50	312.00	49.00	2510.00	130.00	231.00	97.00	15.40	4.14	10.70	6.45	3.40	2.94	24.50
SUM 34A	10.4	195.00	3.00	24.00	8.00	102.00	2140.00	30.50	205.00	22.00	1670.00	82.00	150.00	73.00	12.20	3.38	8.90	5.80	2.80	2.45	11.20
SUM 33	10.6	195.00	3.50	25.00	9.00	37.50	2110.00	31.00	206.00	21.50	1680.00	83.00	152.00	72.50	12.40	3.41	9.00	5.75	2.80	2.48	11.00
SUM 34B	10.4	202.00	3.50	25.00	7.50	99.00	2120.00	31.50	207.00	22.00	1680.00	82.00	154.00	72.00	12.50	3.42	8.95	5.85	2.80	2.50	11.00
SUM 11A	4.3	183.00	7.00	15.00	7.00	75.00	3200.00	34.50	315.00	49.00	2750.00	133.00	226.00	88.00	13.30	3.62	9.50	5.90	3.00	2.80	36.00
SUM 27	9.0	182.00	11.00	20.00	12.50	64.00	2430.00	30.00	250.00	22.50	2100.00	90.00	163.00	76.00	13.90	3.53	9.10	5.60	2.70	2.39	12.40
SUM 26	9.0	195.00	10.00	22.00	13.00	39.00	2400.00	30.50	250.00	23.00	2140.00	90.00	160.00	75.00	12.50	3.52	9.20	5.50	2.60	2.29	12.50
SUM 20D	4.3	150.00	16.00	15.00	12.00	102.00	2530.00	36.00	360.00	52.50	2990.00	142.00	240.00	92.00	14.50	3.80	10.00	6.30	3.30	3.05	29.00
SUM 8	0.7	116.00	2.00	5.00	2.00	162.00	5000.00	40.00	315.00	79.00	5060.00	180.00	300.00	95.00	14.30	3.78	9.50	6.50	3.60	3.60	43.00
SUM 42B	4.2	142.00	14.00	14.00	10.50	104.00	2510.00	36.50	365.00	52.00	3000.00	139.00	239.00	93.00	14.30	3.79	10.00	6.25	3.30	3.03	28.50
SUM 17	3.4	130.00	7.50	12.50	6.50	105.00	2500.00	36.00	360.00	52.00	2905.00	140.00	234.00	93.00	14.50	3.79	10.10	6.45	3.40	3.10	29.00
SUM 16	3.5	129.00	7.00	12.00	6.50	105.00	2550.00	36.00	365.00	52.00	2975.00	140.00	237.00	91.00	14.00	3.79	9.90	6.20	3.40	3.06	29.00
SUM 18B	3.5	130.00	6.50	11.50	6.50	108.00	2570.00	36.00	365.00	53.00	2920.00	140.00	235.00	90.00	13.90	3.79	9.70	6.30	3.35	3.06	29.00
SUM 18A	3.4	135.00	6.50	12.00	6.50	108.00	2600.00	35.50	365.00	53.00	2970.00	138.00	237.00	90.00	14.00	3.79	9.80	6.20	3.30	3.06	29.50
SUM 31	3.4	129.00	6.50	11.50	6.00	105.00	2550.00	36.00	370.00	51.00	2770.00	139.00	240.00	94.00	14.40	3.79	9.90	6.30	3.20	3.05	29.00
SUM 18C	3.3	130.00	6.50	11.50	6.50	106.00	2560.00	35.50	350.00	52.00	2860.00	140.00	236.00	91.00	14.00	3.79	9.70	6.25	3.30	3.09	29.00

MUESTRA	Sc	V	Cr	Co	Ni	Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Ba	La	Ce	Nd	Sm	Eu	Gd	Dy	Er	Yb	Th
SUM 21	3.5	134.00	7.00	12.00	6.00	106.00	2500.00	36.00	360.00	52.00	2960.00	141.00	230.00	92.00	13.90	3.79	9.90	6.35	3.45	3.03	29.00
SUM 22	3.9	135.00	9.00	12.50	8.50	100.00	2535.00	36.50	365.00	51.00	2820.00	140.00	235.00	92.00	14.20	3.79	10.20	6.35	3.30	3.05	29.00
SUM 30B	3.3	125.00	7.00	11.00	6.00	107.00	2550.00	36.00	365.00	51.00	2870.00	140.00	240.00	92.00	14.30	3.79	9.90	6.35	3.30	3.00	29.00
SUM 24C	3.4	127.00	7.00	11.50	6.50	111.00	2560.00	35.50	370.00	50.50	2970.00	140.00	230.00	90.00	14.00	3.79	9.90	6.25	3.20	3.04	29.00
SUM 23	3.3	127.00	6.00	11.00	6.50	106.00	2560.00	36.00	372.00	52.00	3000.00	141.00	234.00	91.00	14.00	3.79	9.80	6.00	3.25	3.06	29.50
SUM 28C	3.2	120.00	6.00	10.50	6.00	109.00	2525.00	35.50	370.00	51.00	2910.00	139.00	234.00	91.00	14.20	3.79	9.80	6.25	3.40	3.11	29.00
SUM 19B	3.4	130.00	7.50	12.00	6.50	120.00	2510.00	36.00	365.00	52.50	2960.00	137.00	240.00	91.00	14.30	3.79	9.80	6.30	3.35	3.11	29.50
SUM 24B	3.2	125.00	7.00	11.00	6.00	109.00	2530.00	35.00	375.00	51.00	2900.00	134.00	229.00	90.00	13.60	3.79	9.80	6.20	3.25	3.00	29.00
SUM 19C	3.2	126.00	6.00	12.00	6.00	113.00	2510.00	35.50	365.00	53.00	3020.00	139.00	238.00	90.50	13.70	3.79	9.90	6.20	3.30	3.08	29.50
SUM 24A	3.6	130.00	7.50	11.00	7.00	106.00	2540.00	36.00	380.00	51.00	2860.00	140.00	233.00	91.00	14.00	3.79	9.90	6.20	3.20	3.07	29.50
SUM 29	3.5	133.00	6.50	11.50	7.50	86.00	2520.00	38.00	375.00	51.00	2850.00	140.00	237.00	94.00	14.90	3.79	11.00	6.75	3.70	3.35	30.50

ANEXO V

DESCRIPCIÓN PETROGRÁFICA DE LAS MUESTRAS DE CENIZA Y MATRIZ DE LOS DEPÓSITOS VOLCÁNICOS DEL SUMACO



Lugar	Boca del Suno
Muestra	SUM-JS-12
UTM	0263222/9922959
Muestra Color	café oscuro
Tipo de depósito	Ceniza

Muestra pura:	café oscuro	Muestra tamaño de arena muy cristalina sin líticos de pómez. Forma predominante subangular-subesférica
---------------	-------------	--

Mineral	Color	Forma cristalina	Brillo	Inclusiones	Fracturamiento	Alteración	Otros	Tamaño	%
Piroxeno (Augita)	negro, verde claro	prismático	vítreo	no	clivaje	no	Prismas cortos con inclusiones de plag.	0.2	39
Plagioclasa	incolora, amarillenta	prismático	vítreo	no	clivaje	-	-	0.2 – 0.3	48
Feldespatos de K	rosado	prismático	vítreo	no	-	-	-	0.2 – 0.3	3
Biotita	dorado	laminar	graso	-	-	-	-	0.1	1
Ferrihidrita	anaranjado	irregular	mate	no	no	no	-	≤ 0.2	2
Zircón	amarillo	granular	vítreo	-	concoidea	-	-	0.2	3
Vidrio	Color	Forma	Brillo	Inclusiones	Fracturamiento	Otros	Estructuras	Tamaño	
obsidiana	negro	irregular	vítreo	no	concoidea	-	-	0.2	
traslúcidos	incoloro	anhedral	vítreo	-	-	-	-	0.1	
Lífticos	Color	Forma	Vesicularidad	Fracturamiento	Alteración	Otros	CaCO3	Tamaño	
	gris claro	subangular - subesférica	baja	no	-	contiene plag	-	0.2	
Basaltos	gris	angular - subesférica	baja	no	no	-	-	0.2	

Otros: Se observa en poca cantidad cristales de color verde probablemente apatito (< 0.1 cm)

Lugar	Boca del Suno
Muestra	SUM-JS-16
UTM	0263222/9922959
Muestra Color	beige
Tipo de depósito	ceniza



Muestra pura:	beige	Muestra gruesa con liticos vesiculares de hasta 3 cm. Con cristales de plag, hbd y px. Forma predominante subangular
----------------------	-------	--

Pómez disgregada									
Color	Brillo	Forma	Vesicularidad	Minerales	Estructuras	CaCO3	Otros	Tamaño	%
beige	sedoso	subangular - subesférica	media	px, plag	no	-	-	0.3 - 0.5	30
blanca	sedoso	subangular - subesférica	baja	plag	no	-	Alterada algunas pómez de color naranja.	0.5	

Mineral	Color	Forma cristalina	Brillo	Inclusiones	Fracturamiento	Alteración	Otros	Tamaño	%
Piroxeno (Augita)	negro, verde claro	prismático	vitreo	no	clivaje	no	Prismas cortos con inclusiones de plag.	0.2	40
Plagioclasa	incolora, amarillenta	prismático	vitreo	no	clivaje	-	-	0.2 - 0.3	48
Anfibol	negro	prismático	vitreo	no	no	-	-	0.2	12

Líticos	Color	Forma	Vesicularidad	Fracturamiento	Alteración	Otros	CaCO3	Tamaño
Basaltos	gris oscuro	subangular - subesférica	baja	no	-	se observa pocos cristales de plag	-	0.2 mm hasta 3 cm
Otros:	El tamaño de los líticos es de hasta 3 cm							

Lugar	Boca del Suno
Muestra	SUM-JS-15
UTM	0263222/9922959
Muestra Color	café oscuro
Tipo de depósito	ceniza



Muestra pura:	café oscuro	Muestra muy fina con > cantidad de pómez, muy poca en cristales. Forma predominante subangular
---------------	-------------	--

Pómez disgregada									
Color	Brillo	Forma	Vesicularidad	Minerales	Estructuras	CaCO3	Otros	Tamaño	%
café	sedoso	subangular-subesférica / esférica	media	px, plag	no	-	contiene plag en alta cantidad	0.2 – 0.5	42

Mineral	Color	Forma cristalina	Brillo	Inclusiones	Fracturamiento	Alteración	Otros	Tamaño	%
Piroxeno (Augita)	negro	prismático	vítreo	no	clivaje	no	Prismas cortos	0.2	23
Plagioclasa	incolora	prismático	vítreo	no	clivaje	-	-	0.2 – 0.3	43
Biotita	café, dorada	laminar	sedoso	no	-	-	-	0.2	28
Ferrihidrita	anaranjado	irregular	mate	no	-	-	-	≤ 0.2	6

Vidrio	Color	Forma	Brillo	Inclusiones	Fracturamiento	Otros	Estructuras	Tamaño
shards	incoloro, amarillentos	anhedral	vítreo	no	-	-	-	≤ 0.1

Lífticos	Color	Forma	Vesicularidad	Fracturamiento	Alteración	Otros	CaCO3	Tamaño
Basaltos	gris oscuro	subangular - subesférica	baja	no	-	se observa pocos cristales de plag	-	0.2 mm hasta 3 cm
Otros:	Los cristales son de tamaño muy pequeño (≤ 250 micras)							

MATRIZ DAE

Lugar	Ávila Viejo Chacavacu
Muestra	SUM-06 / Matriz DAE-Charcavacu
UTM	229143.9926997
Muestra Color	café oscuro
Tipo de depósito	matriz DAE



Muestra pura:	café oscuro	Muestra muy rica en matriz cristalina con forma predominante subangular subesférica.
------------------	----------------	--

Pómez disgregada							
Color	Brillo	Forma	Vesicularidad	Minerales	Estructuras	CaCO3	Otros
café	sedoso	subangular subesférica	media	px, micas, plag	-	-	
blanca lechosa	sedoso	angular subesférica	media	px, plag	-	-	

Mineral	Color	Forma cristalina	Brillo	Inclusiones	Fracturamiento	Alteración	Otros	Tamaño	%
Plagioclasa	incolora, blanco lechoso	prismáticos	adamantino	no	clivaje	algunas argilitizadas	muy frágil	0.4 - 0.7	43
Piroxeno (Augita)	verde claro	prismáticos	vítreo	no	clivaje		angulares	0.3 - 0.6	25
Micas (Biotita)	negro	laminar	graso	no	-	-	-	0.3	4
Hornblenda	verde oscuro	prismático	vítreo	-	clivaje		-	0.4	12
Apatito?	verde	irregular	graso	no	-	-	-	≤ 0.1	1
Hercinita	negro	granular	vítreo	no	-	-	-	≤ 0.1	2

Lífticos	Color	Forma	Vesicularidad	Fracturamiento	Alteración	Otros	CaCO3	Tamaño
Basaltos	gris oscuro	angular subesférica	-	-	no	no se pudo observar hauyina	-	0.2
	rosado	subangular - subesférica	-	-	si	-	-	0.2

Lugar	Karutambo-Mina Suno
Muestra	SUM-10 / Matriz DAE-Rio Suno
UTM	233824/9937148
Muestra Color	gris oscuro
Tipo de depósito	matriz DAE



Muestra pura:	gris oscuro	Muestra muy rica en matriz con pómez, pocos cristales y mayor cantidad de líticos con forma predominante subangular.
----------------------	-------------	--

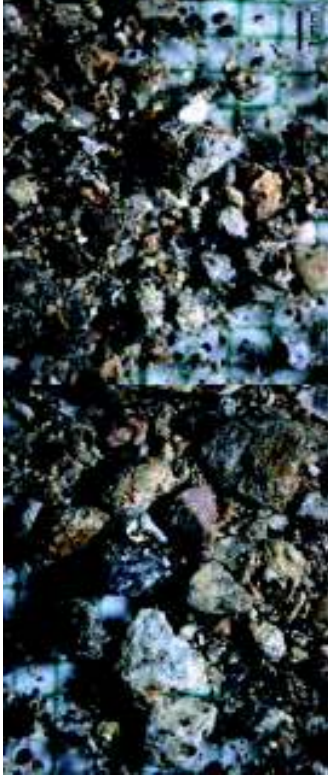
Pómez disgregada		Forma	Vesicularidad	Minerales	Estructuras	CaCO3	Otros	Tamaño
Color	Brillo	Forma	Vesicularidad	Minerales	Estructuras	CaCO3	Otros	Tamaño
beige	sedoso	subangular subesférica	media	px. micas, plág	-	-	presencia de vidrio	0.5
blanca	sedoso	subangular, esférica	baja	-	-	-	-	0.7 – 1.2

Mineral	Color	Forma cristalina	Brillo	Inclusiones	Fracturamiento	Alteración	Otros	Tamaño	%
Plagioclasa	inoloro	prismáticos	vitreo	no	clivaje	no	frágil	0.3-0.5	50
Piroxeno (Augita)	negros, verdes claro	prismáticos	vitreo	no	clivaje		angulares	0.6	22
Hornblenda	verde oscuro, negro	prismático	vitreo	-	clivaje	-	-	0.2	3

Lífticos	Color	Forma	Vesicularidad	Fracturamiento	Alteración	Otros	CaCO3	Tamaño
Basaltos alcalinos	gris oscuro	subangular subesférica	baja	-	-	Presencia de Hauyina	-	de hasta 0.9 mm

Otros: Los líticos del Sumaco se observan en la fracción > 710 micras. Se observa biotita únicamente como inclusión en la pómez. La pómez color blanco de hasta 1.2 cm

Lugar	Karutambo-Mina Suno
Muestra	SUM-27 / Matriz DAE-Rio Suno F.M.
UTM	233824/9937148
Muestra Color	anaranjada
tipo de depósito	matriz DAE



Muestra pura: Muestra muy rica en matriz con pómez, cristales máficos y mayor cantidad de líticos con forma predominante subangular.

Pómez disgregada		Forma	Vesicularidad	Minerales	Estructuras	CaCO3	Otros	Tamaño
Color								
gris	sedoso	subangular subesférica	baja	plag, px	-	-	-	0.5
blanca	sedoso	subangular, esférica	baja	-	-	-	-	0.7 – 1.2

Mineral	Color	Forma cristalina	Brillo	Inclusiones	Fracturamiento	Alteración	Otros	Tamaño	%
Plagioclasa	incoloro	prismáticos	vitreo	no	clivaje	no	frágil	0.1-0.3	46
Piroxeno (Augita)	negros, verdes claro	prismáticos	vitreo	no	clivaje		angulares	0.6	40
Magnetita	negro	rombododecaedro	metálico	-	-	-	-	≤ 0.1	12
Biotita	negra	laminar	sedoso	-	-	-	-	≤ 0.1	2

Vidrio	Color	Forma	Brillo	Inclusiones	Fracturamiento	Otros	Estructuras	Tamaño
shards	incoloros	placas, anhedral	vitreo	-	-	-	-	0.2 – 0.3

Líticos	Color	Forma	Vesicularidad	Fracturamiento	Alteración	Otros	CaCO3	Tamaño
Basaltos	gris oscuro	subangular subesférica	baja	-	si, oxidación		-	de hasta 0.6 mm
	rojizos	subangular subesférica	baja	-	si		-	0.2 – 0.4 mm

Otros: Muestra con muchos líticos basálticos y andesíticos, predominan los líticos basálticos sobre los andesíticos.

8 DE DICIEMBRE

Lugar	8 de Diciembre / Loreto
Muestra	SUM-JS-18 / Ash 2
UTM	0231570 / 9937600
Muestra Color	café oscuro
Tipo de depósito	ceniza



Muestra pura:	café oscuro	Muestra muy rica en matriz, rica en cristales con forma predominante subangular subesférica.
---------------	-------------	--

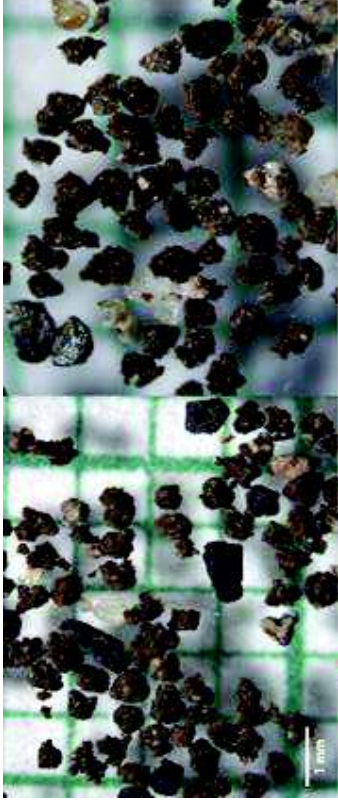
Pómez disgregada		Forma	Vesicularidad	Minerales	Estructuras	CaCO3	Otros	Tamaño	%
Color	Brillo	Forma	Vesicularidad	Minerales	Estructuras	CaCO3	Otros	Tamaño	%
café	sedoso	subangular subesférica	media	px, bt, plag	hilos de vidrio	-	presencia de vidrio	0.2 – 0.5	30
blanca	sedoso	subangular subesférica	baja	px, plag		-	pocas alteradas coloración naranja	0.3 – 0.5	

Mineral	Color	Forma cristalina	Brillo	Inclusiones	Fracturamiento	Alteración	Otros	Tamaño	%
Plagioclasa	incolora amarillenta	prismáticos	vitreo	no	clivaje	no		0.3-0.4	40
Piroxeno (Augita)	negros, verdes claro	prismáticos	vitreo	no	clivaje		angulares	0.6	57
Hornblenda	negro	prismáticos alargados	vitreo	no	no		-	0.1	3
Biotita	negro, café oscuro	laminar	sedoso	no	no	no	no	0.1	trazas

Vidrio	Color	Forma	Brillo	Inclusiones	Fracturamiento	Otros	Estructuras	Tamaño
shards	traslúcidos	anhedral	vitreo	-			-	≤ 0.1

Líticos	Color	Forma	Vesicularidad	Fracturamiento	Alteración	Otros	CaCO3	Tamaño
Basaltos	gris oscuro	subangular - subesférica	baja				-	0.2

Lugar	8 de Diciembre
Muestra	SUM-JS-17 Ash 1
UTM	0231570 / 9937600
Muestra Color	café oscuro
tipo de depósito	ceniza



Muestra pura:	café oscuro	Matriz rica en cristales con presencia de px, micas, plag. Forma predominante subangular-subesférica
---------------	-------------	--

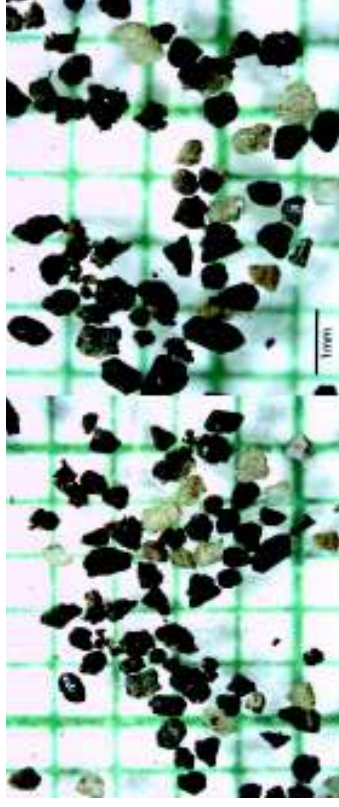
Pómez disgregada									
Color	Brillo	Forma	Vesicularidad	Minerales	Estructuras	CaCO3	Otros	Tamaño	%
café	sedoso	angular - subangular subesférica	media	px, plag, bt	-	-	-	0.2 - 0.5	48
blanca	sedoso	subangular-subesférica	baja	plag, px	-	-	alterada, coloración naranja	0.2 - 0.3	

Mineral	Color	Forma cristalina	Brillo	Inclusiones	Fracturamiento	Alteración	Otros	Tamaño	%
Piroxeno	negro, verde claro	prismático	vitreo	no	clivaje	no	-	0.4 - 0.7	58
Hornblenda	negro	prismático alargado	vitreo	no	-	-	-	0.1	3
Plagioclasa	traslúcida, blanca, amarillenta	prismático	vitreo	no	clivaje	no	-	0.2	39

Vidrio	Color	Forma	Brillo	Inclusiones	Fracturamiento	Otros	Estructuras	Tamaño
shards	traslucido	irregular	vitreo	no	-	-	-	≤ 0.1

Líticos	Color	Forma	Vesicularidad	Fracturamiento	Alteración	CaCO3	Tamaño
Basaltos	gris claro	subangular - subesférica	baja	-	contiene plag poca cantidad	-	0.1 - 0.3
Otros:							

Lugar	8 de Diciembre
Muestra	SUM-JS-19 Ash 3
UTM	0231570 / 9937600
Muestra Color	café claro
tipo de depósito	ceniza



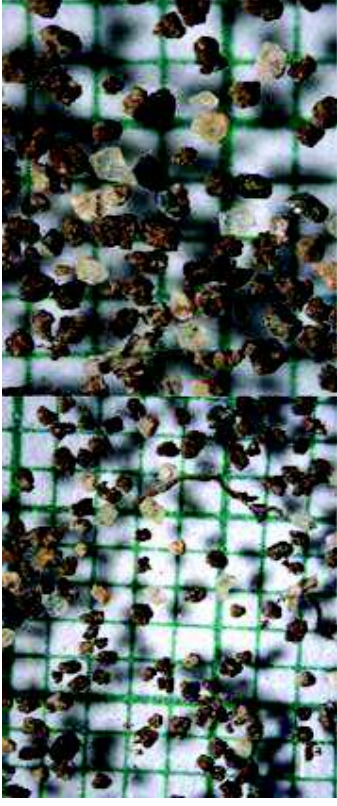
Muestra pura:	café claro	Matriz rica en cristales con presencia de px, plag, hbd y vidrio. Forma predominante subangular-subesférica
----------------------	------------	---

Pómez disgregada									
Color	Brillo	Forma	Vesicularidad	Minerales	Estructuras	CaCO3	Otros	Tamaño	%
café	sedoso	subangular - subesférica	media	px, plag,hb	-	-	-	0.2 – 0.3	30
anaranjado	sedoso	subangular – subesférica	baja	px, plag				0.1 – 0.3	

Mineral	Color	Forma cristalina	Brillo	Inclusiones	Fracturamiento	Alteración	Otros	Tamaño	%
Piroxeno	negro, verde claro	prismático	vitreo	no	clivaje	no	cristales angulares	0.1 – 0.2	43
Plagioclasa	traslúcida, blanca, amarillenta	prismático	vitreo	no	clivaje	no	-	0.2	44
Hornblenda	negro	prismáticos	vitreo	no	-	-	-	0.1 – 0.2	10
Hercinita	negro	granular	vitreo	-	-	-	-	≤ 0.1	3

Lífticos	Color	Forma	Vesicularidad	Fracturamiento	Alteración	Otros	CaCO3	Tamaño
Basaltos	gris	subangular - subesférica	no	no	oxidación	-	-	0.2
Otros:	En la fracción de 250 micras la cantidad de hercinita es mayor.							

Lugar	8 de Diciembre
Muestra	SUM-JS-20 Ash 4
UTM	0231570 / 9937600
Muestra Color	marrón
tipo de depósito	ceniza



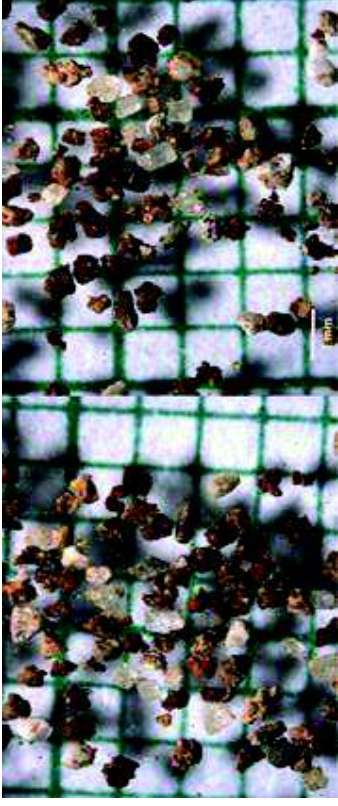
Muestra pura:	marrón	Matriz fina con presencia de cristales: px, plag, hbd, vidrio y pómez. Forma predominante subangular-subesférica
----------------------	--------	--

Pómez disgregada		Forma	Vesicularidad	Minerales	Estructuras	CaCO3	Otros	Tamaño	%
Color	Brillo	subangular – subesférica	media	px, plag, bt	-	-	-	0.2 – 0.3	30
	sedoso	subangular-subesférica	baja	plag, px	-	-	alterada- coloración anaranjado	0.2- 0.4	

Mineral	Color	Forma cristalina	Brillo	Inclusiones	Fracturamiento	Alteración	Otros	Tamaño	%
Piroxeno (Augita)	negro, verde claro	prismático	vítreo	no	clivaje	no	cristales angulares	0.4 – 0.8	36
Micas (Biotita)	dorada, café	laminar	graso	no	-	-	-	≤ 0.1	tr- 1
Plagioclasa	traslúcida, blanca, poco amarillenta	prismático	vítreo	no	clivaje	no	-	0.5 – 0.7	61
Ferrihidrita	anaranjado	irregular	mate	no	no	no	-	≤ 0.2	3

Lílicos	Color	Forma	Vesicularidad	Fracturamiento	Alteración	Otros	CaCO3	Tamaño
Basaltos	gris	subangular - subesférica	baja	-	-	roca con fenocristales de px y plag	-	0.5-0.7
Otros:	Los cristales de augita se observan en tamaño inferior a 250 micras.							

Lugar	8 de Diciembre
Muestra	SUM-JS-21 Ash 5 (base sección)
UTM	0231570 / 9937600
Muestra Color	marrón
Tipo de depósito	ceniza



Muestra pura:	marrón	Matriz fina con pómez y pocos cristales de px, plag. Forma predominante subangular- subesférica
--------------------------	--------	---

Pómez disgregada

Color	Brillo	Forma	Vesicularidad	Minerales	Estructuras	CaCO3	Otros	Tamaño	%
café claro	sedoso	subangular – subesférica	baja	px, plag, bt	no	-	-	0.3	67
blanca	sedoso	angular-subesférica	media	px, plag	no	-	alteración algunas anaranjadas	0.2- 0.3	

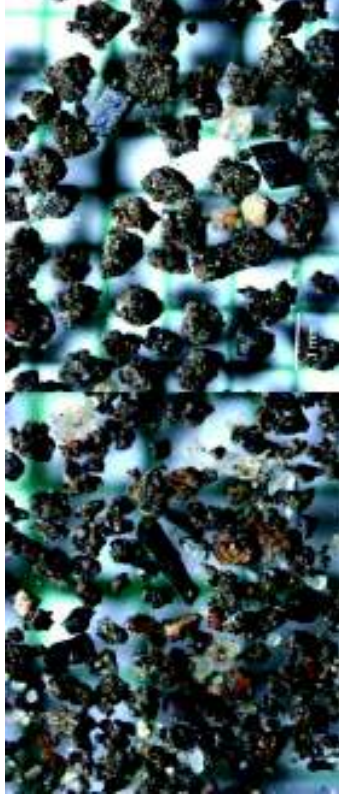
Mineral	Color	Forma cristalina	Brillo	Inclusiones	Fracturamiento	Alteración	Otros	Tamaño	%
Piroxeno (Augita)	negro, verde	prismático	vítreo	no	clivaje	no	cristales angulares	0.2	20
Plagioclasa	incolora, traslúcida	prismático	vítreo	no	clivaje	-	-	0.1 – 0.3	80

Fragmentos	Color	Forma	Vesicularidad	Fracturamiento	Alteración	Otros	CaCO3	Tamaño
carbón	café oscuro	irregular	-	-	-	-	-	1.00

Otros: Presenta fragmentos de carbón de tamaño hasta 1 cm.

KARUTAMBO

Lugar	Karutambo – Río Suno
Muestra	SUM-JS-22
UTM	0233992 / 9931582
Muestra Color	café
Tipo de depósito	ceniza



Muestra pura:	café	Matriz fina con pocos cristales, tiene pómez y cristales de px, plagi y hbd. Forma predominante subangular-subesférica
---------------	------	--

Pómez disgregada						
Color	Brillo	Forma	Vesicularidad	Minerales	Estructuras	CaCO3
café	sedoso	subangular – esférica	baja	vidrio, px, plagi, óxidos	no	-
blanca	sedoso	subangular-esférica	baja	px, plagi	no	-

Mineral	Color	Forma cristalina	Brillo	Inclusiones	Fracturamiento	Alteración	Otros	Tamaño	%
Piroxeno (Augita)	verde	prismático	vitreo	no	clivaje	no	cristales angulares	0.2 – 0.3	25
Plagioclasa	incolora, traslúcida	prismático	vitreo	no	clivaje	-	-	0.2 – 0.4	60
Hornblenda	negro	prismáticos alargados	vitreo	no	-	-	-	0.2 – 0.3	15
Hercinita	negro	granular	vitreo	no	-	-	-	0.2	3

Vidrio	Color	Forma	Brillo	Inclusiones	Fracturamiento	Otros	Estructuras	Tamaño
traslúcido	incoloro	anhedral	vitreo	no	-	-	-	0.2 – 0.3
Escuria	negro-café oscuro	anhedral	vitreo	no	-	-	-	0.2

Otros: | Alguna pómez disgregada se encuentra bien compactadas. Se observa partículas oxidadas de tonalidades rojizas (4%).

Lugar	Karutambo – Río Suno
Muestra	SUM-JS-24
UTM	0233992 / 9931582
Muestra Color	café oscuro
Tipo de depósito	ceniza



Muestra pura:	café oscuro	Matriz con pocos cristales, pómez de gran tamaño y cristales pequeños de px, plag, hbd. Forma predominante angular-subesférica
----------------------	-------------	--

Pómez disgregada		Forma	Vesicularidad	Minerales	Estructuras	CaCO3	Otros	%
café	sedoso	subangular – subesférica	baja	vidrio, px, plag	no	-	-	53
blanca	sedoso	subangular- esférica	baja	px, plag	no	-	oxidación, poca cantidad de gran tamaño	

Mineral	Color	Forma cristalina	Brillo	Inclusiones	Fracturamiento	Alteración	Otros	Tamaño	%
Piroxeno (Augita)	verde	prismático	vitreo	no	clivaje	no	prismas cortos	0.2	30
Plagioclasa	incolora, blanco lechoso, amarillenta	prismático	vitreo	no	clivaje	oxidación leve	-	0.2 – 0.3	42
Hornblenda	negro	prismáticos alargados	vitreo	no	-	-	-	0.2 – 0.3	25
Micas (biotita)	dorada, negra	laminar	graso	-	-	-	-	≤ 0.2	3

Otros: Pómez de color blanco de gran tamaño (>710 micras) algunas cubiertas por capa naranja posiblemente hematita (oxidación)

Lugar	Karutambo – Río Suno
Muestra	SUM-JS-25 PF lateral
UTM	0233992 / 9931582
Muestra Color	gris oscuro
Tipo de depósito	Matriz PF lateral



Muestra pura:	gris oscuro	Matriz rica en cristales con cristales de px, plag, hbd. Pómez bien consolidada fragmentos duros.
----------------------	-------------	---

Pómez disgregada		Forma	Vesicularidad	Minerales	Estructuras	CaCO3	Otros
Color	blanca	subangular-subesférica	baja	px, vidrio, plag	no	-	bien consolidada (dura)

Mineral	Color	Forma cristalina	Brillo	Inclusiones	Fracturamiento	Alteración	Otros	Tamaño	%
Piroxeno (Augita)	verde	prismático	vitreo	no	clivaje	no	prismas cortos	0.2 – 0.4	32
Plagioclasa	incolora, blanco lechoso, amarillenta	prismático	vitreo	no	clivaje	oxidación leve	-	0.2 – 0.3	40
Hornblenda	negro	prismáticos alargados	vitreo	no	-	-	-	0.2 – 0.3	25
Hercinita	negro	granular	vitreo	no	-	-	-	0.2	3

Vidrio	Color	Forma	Brillo	Inclusiones	Fracturamiento	Otros	Estructuras	Tamaño
traslúcidos	traslúcidos, amarillos	anhedral irregulares	vitreo	-	-	-	-	0.2

Líticos	Color	Forma	Vesicularidad	Fracturamiento	Alteración	Otros	CaCO3	Tamaño
	grises	subangular subesférica	Algunos presentan vesicularidad (media)	no	oxidación (capa hematita)	Fenocristales de px y pocos de plag.	-	0.2 - 1

Otros: Casi todos los minerales están cubiertos por capa naranja posiblemente hematita (oxidación). Se observa partículas oxidadas (5%)



Lugar	Mina 1 – Río Suno
Muestra	SUM-JS-26
UTM	246150/9924246
Muestra Color	café claro
Tipo de depósito	Matriz PF

Muestra pura:	café claro	Matriz gruesa con pocos cristales, pómez de gran tamaño y cristales de px, plag, hbd. Forma predominante angular-subesférica
----------------------	------------	--

Pómez disgregada							
Color	Brillo	Forma	Vesicularidad	Minerales	Estructuras	CaCO3	Otros
café	sedoso	subangular – subesférica	baja	px, plag	no	-	-
blanca	sedoso	subangular-subesférica	baja	px, plag	no	-	-
beige	sedoso	subangular – subesférica	baja	no	no	-	-

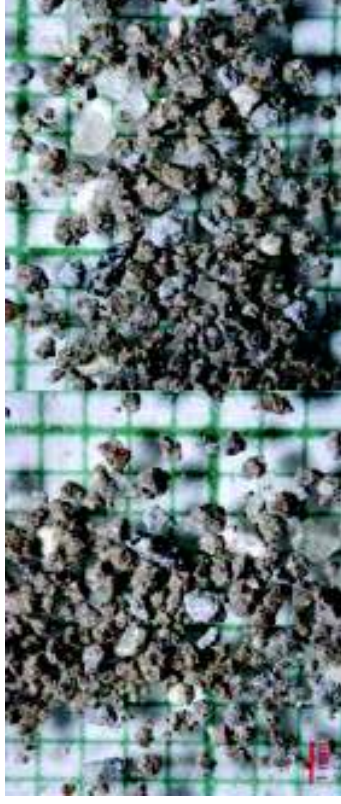
Mineral	Color	Forma cristalina	Brillo	Inclusiones	Fracturamiento	Alteración	Otros	Tamaño	%
Piroxeno (Augita)	negro, verde claro	prismático	vitreo	no	clivaje	no	Prismas cortos con inclusiones de plag.	0.4	20
Plagioclasa	incolora, amarillenta	prismático	vitreo	no	clivaje	oxidación leve	-	0.3 – 0.4	58
Hornblenda	negro	prismáticos alargados	vitreo	no	-	-	-	0.2 – 0.3	10
Micas (biotita)	negro, café oscuro, traslucidos	laminar	graso	-	-	-	-	≤ 0.2	tr - 1

Vidrio	Color	Forma	Brillo	Inclusiones	Fracturamiento	Otros	Estructuras	Tamaño
botroidal	negro	botroidal	vitreo	-	-	-	-	0.1

Líticos	Color	Forma	Vesicularidad	Fracturamiento	Alteración	Otros	CaCO3	Tamaño
Basaltos	gris, rojizos	subangular subesférica	-	no	-	Fenocristales de px	-	0.2 – 0.3
Otros:	Pómez de gran tamaño con inclusiones de plag y px. (0.5 – 0.6 mm).							

LORETO

Lugar	Puente Loreto
Muestra	SUM-JS-31 Ash
UTM	242753/9922926
Muestra Color	café oscuro
tipo de depósito	ceniza



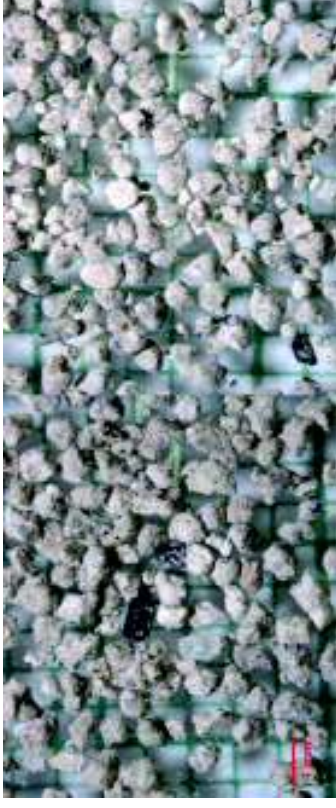
Muestra pura:	café oscuro	Matriz rica en cristales, gruesa con pómez de gran tamaño y cristales de px, plag, hbd. Forma predominante subangular-subestérca
------------------	-------------	--

Pómez disgregada		Forma	Vesicularidad	Minerales	Estructuras	CaCO3	Otros
Color	Brillo						
café	sedoso	subangular – subestérca	media	px, pla, micas	no	-	-
gris claro	sedoso	subangular- subestérca	media	px, plag	no	-	oxidación, leve capa de ilmenita

Mineral	Color	Forma cristalina	Brillo	Inclusiones	Fracturamiento	Alteración	Otros	Tamaño	%
Piroxeno (Augita)	negro, verde claro	prismático	vitreo	no	clivaje	leve capa de serpentina, oxidación	Prismas cortos	0.2 - 0.3	20
Plagioclasa	incolora, blanco leñoso	prismático	vitreo	no	clivaje	-	-	0.3	40
Hornblenda	negro, verde	prismáticos alargados	vitreo	no	-	-	-	0.1 - 0.2	5
Micas (biotita)	negro, doradas	laminar	graso	-	-	-	-	≤ 0.1	tr - 2

Otros:	Pómez de gran tamaño con inclusiones de plag y px. (1 - 1.5 cm).								
--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--

Lugar	Puente Loreto
Muestra	SUM-JS-32 Ash
UTM	242753/9922926
Muestra Color	café claro
Tipo de depósito	ceniza



Muestra pura:	café claro	Matriz con pocos cristales, fina con forma predominante subangular-subestéril.
----------------------	------------	--

Pómez disgregada		Forma	Vesicularidad	Minerales	Estructuras	CaCO3	Otros
Color	Brillo	subangular – subestéril	media	px, pla	no	-	-
café	sedoso	subangular-subestéril	baja	px, plag	no	-	oxidación
gris claro	sedoso						

Mineral	Color	Forma cristalina	Brillo	Inclusiones	Fracturamiento	Alteración	Otros	Tamaño	%
Piroxeno (Augita)	negro, verde	prismático	vitreo	no	clivaje	-	Prismas cortos	0.1 – 0.2	15
Plagioclasa	traslúcida, blanca lehoso	prismático	vitreo	no	clivaje	-	-	0.3	30
Micas (biotita)	café	laminar	graso	plag	-	-	-	≤ 0.1	2

Vidrio	Color	Forma	Brillo	Inclusiones	Fracturamiento	Otros	Estructuras	Tamaño
shards	incoloros	irregulares	vitreo	-	-	-	-	0.2

Otros: Muestra con poca cantidad de cristales y mayor cantidad de pómez disgregada.

DESBANQUE

Lugar	Desbanque
Muestra	SUM 43 - Líticos
UTM	0212862 / 9926900
Muestra Color	café
Tipo de depósito	ceniza

Muestra pura:	café	Muestra tamaño de arena cristalina con varios líticos (0.5 mm) y pómez. Forma predominante subangular-subesférica
------------------	------	---



Pómez disgregada									
Color	Brillo	Forma	Vesicularidad	Minerales	Estructuras	CaCO3	Otros	Tamaño	%
café	sedoso	subangular - subesférica	media	px, plag	no	-	-	0.2 - 0.3	30
blanca	sedoso	subangular- subesférica	baja	plag, px	no	-	Alterada, algunas pómez de color anaranjado.	0.5 - 1	

Mineral	Color	Forma cristalina	Brillo	Inclusiones	Fracturamiento	Alteración	Otros	Tamaño	%
Piroxeno (Augita)	negro, verde claro	prismático	vitreo	no	clivaje	no	Prismas cortos con inclusiones de plag.	0.2	28
Plagioclasa	incolora, amarillenta	prismático	vitreo	no	clivaje	-	-	0.2 - 0.3	65
Biotita	dorado	laminar	graso	-	-	-	-	≤ 0.1	1
Ferrihidrita	anaranjado	irregular	mate	no	no	no	-	≤ 0.2	3
Hercinita	negro	granular	vitreo	-	-	-	-	0.1	3

Líticos	Color	Forma	Vesicularidad	Fracturamiento	Alteración	Otros	CaCO3	Tamaño
Rocas básicas Fonolitas?	gris	angular - subesférica	baja	no	-	fenocristales de plag y piroxeno	-	0.5 - 3
Otros:	Muestra con líticos de hasta 3 cm, son líticos grises porfíricos con fenocristales color verde claro de piroxeno algunos se encuentran alterados y plagioclasa color blanco lechoso. La pómez tiene un tamaño de 0.5 - 1 cm. La muestra contiene pequeños fragmentos de carbón.							

Lugar	Desbanque
Muestra	SUM 44 - Carbón
UTM	0212862 / 9926900
Muestra Color	beige
Tipo de depósito	ceniza



Muestra pura:	beige	Ceniza tamaño arena con fragmentos de pómez. Forma predominante subangular-subesférica
--------------------------	-------	---

Pómez disgregada		Forma	Vesicularidad	Minerales	Estructuras	CaCO3	Otros	Tamaño	%
Color	blanca	subangular- subesférica	baja	plag	no	-		0.3 - 0.4	70

Mineral	Color	Forma cristalina	Brillo	Inclusiones	Fracturamiento	Alteración	Otros	Tamaño	%
Piroxeno (Augita)	negro	prismático	vítreo	no	clivaje	no	Prismas cortos	0.2	20
Plagioclasa	incolora	prismático	vítreo	no	clivaje	-	-	0.2 - 0.3	80

Fragmentos	Color	Forma	Vesicularidad	Fracturamiento	Alteración	Otros	CaCO3	Tamaño
carbón	café oscuro	subangular - subesférica	-	-	-	-	-	0.3 - 3
Otros:	La muestra contiene fragmentos de carbón con un tamaño de hasta 3 cm.							

MATRIZ PRODUCTOS VOLCÁNICOS

Lugar	Loreto
Muestra	SUM 29
UTM	242753/9922926
Muestra Color	café
Tipo de depósito	matriz lahar

Muestra pura:	café	Muestra tamaño de arena con varios líticos (~0.5 mm) y pómez. Forma predominante subangular-subesférica
---------------	------	---



Pómez disgregada									
Color	Brillo	Forma	Vesicularidad	Minerales	Estructuras	CaCO3	Otros	Tamaño	%
gris	sedoso	subangular-subesférica	media	px, plag	no	-	-	0.2 - 0.3	28
blanca	sedoso	subangular-subesférica	baja	plag, px	no	-	Alterada, algunas pómez de color naranja.	0.5 - 1	

Mineral	Color	Forma cristalina	Brillo	Inclusiones	Fracturamiento	Alteración	Otros	Tamaño	%
Piroxeno (Augita)	negro, verde claro	prismático	vitreo	no	clivaje	no	-	0.2 - 0.5	25
Plagioclasa	incolora, amarillenta, blanca fechosa	prismático	vitreo	no	clivaje	-	-	0.2 - 0.3	56
Feldespato de K	rosada	prismático	vitreo	no	-	-	-	0.5	1
Hornblenda	negro	prismático	vitreo	plag	clivaje	-	-	0.1	2
Biotita	dorado	laminar	graso	-	-	-	-	≤ 0.1	2
Magnetita	negro	octaedro	metálico	-	-	-	-	0.1	2

Vidrio	Color	Forma	Brillo	Inclusiones	Fracturamiento	Otros	Tamaño
escoria	rojiza	irregular	vitreo	-	no	no	0.2
shards?	negro	placas	vitreo	no	si	-	0.1 - 0.2

Líticos	Color	Forma	Vesicularidad	Fracturamiento	Alteración	Otros	Tamaño
Rocas básicas	gris oscuro	subangular-subesférica	baja	-	no	fenocristales de piroxeno	0.5 - 3
Fonolitas?	gris	subangular-subesférica	baja	no	no	fenocristales de plag	0.5 - 2

Otros: Muestra con líticos de roca (fonolitas) de hasta 3 cm, son líticos grises porfiríticos con fenocristales de plagioclasa y piroxeno algunos se encuentran alterados. Los líticos de pómez tiene un tamaño de ~0.5 cm. No se observa cristales de hauyina.



Lugar	Carretera Río Pucuno SUM 39
Muestra	2110999/9920876
UTM	gris oscuro
Muestra Color	matriz lahar
tipo de depósito	

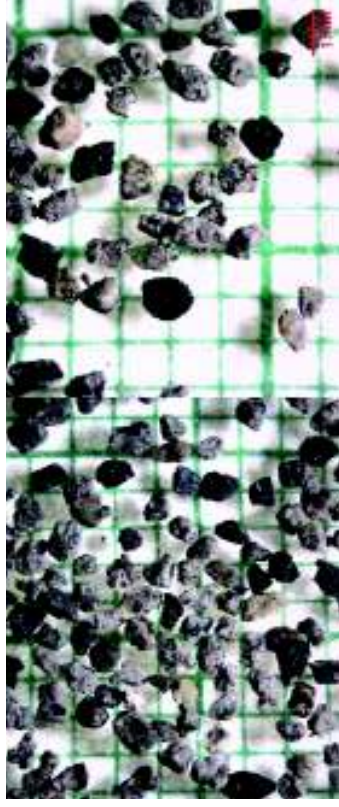
Muestra pura: Matriz rica en cristales de tamaño de arena con varios líticos (hasta ~3-4 cm). Forma predominante subangular-subesférica

Mineral	Color	Forma cristalina	Brillo	Inclusiones	Fracturamiento	Alteración	Otros	Tamaño	%
Piroxeno (Augita)	negro, verde claro	prismático	vitreo	plag	clivaje	no	prismas cortos	0.2 – 0.3	83
Plagioclasa	incolora, amarillenta, blanca lechosa	prismático	vitreo	no	clivaje	-	-	0.2 – 0.3	15
Magnetita	negro	octaedro	metálico	-	-	-	-	0.1	2

Lílicos	Color	Forma	Vesicularidad	Fracturamiento	Alteración	Otros	CaCO3	Tamaño
Rocas básicas Fonolitas?	gris claro	subangular - subesférica	baja	no	-	contiene plag poca cantidad	-	0.3-3
	gris	angular - subesférica	baja	no	no	cristales de px y hbd	-	0.3 - 2
	café	angular - subesférica	baja	no	-	-	-	0.2

Otros: Líticos de gran tamaño, la matriz se encuentra muy consolidada, muy dura. Se observa cristales de augita y varios líticos. Predominan los líticos sobre los cristales. No se observan cristales de hauyina.

Lugar	Río Guamaní M.I
Muestra	SUM 34
UTM	206146/9920135
Muestra Color	gris
Tipo de depósito	matriz DAE-RG



Muestra pura:	gris	Matriz rica en cristales consolidada varios líficos (hasta ~3-4 cm) y pómez (0.2 – 1 cm) Forma predominante angular-subesférica
--------------------------	------	---

Pómez disgregada									
Color	Brillo	Forma	Vesicularidad	Minerales	Estructuras	CaCO3	Otros	Tamaño	%
blanca	sedoso	subangular-subesférica	baja	plag, px	no	-	Alterada algunas pómez de color naranja.	0.5 – 1	15

Mineral	Color	Forma cristalina	Brillo	Inclusiones	Fracturamiento	Alteración	Otros	Tamaño	%
Piroxeno (Augita)	negro, verde claro	prismático	vítreo	plag	clivaje	no	prismas cortos	0.2 – 0.3	70
Plagioclasa	incolora, amarillenta	prismático	vítreo	no	clivaje	-	-	0.2 – 0.3	20
Hornblenda	negro	prismático alargado	vítreo	no	clivaje	no	-	0.2	8
Magnetita	negro	octaedro	metálico	-	-	-	-	0.1	2

Líficos	Color	Forma	Vesicularidad	Fracturamiento	Alteración	Otros	CaCO3	Tamaño
	gris oscuro	subangular-subesférica	baja	no	-	fenocristales pequeños de px	-	0.5- 3
	gris	angular-subesférica	baja	no	si	cristales de px y plag	-	0.3 - 3
	rojo	subangular esférico	baja	no	no	cristales de px	-	0.3
	café	angular-subesférica	baja	no	no	-	-	0.2
Otros:	Líficos de gran tamaño, la matriz se encuentra muy consolidada – dura. Predominan los líficos sobre los cristales.							

Lugar	Las Peñas – El Balcón
Muestra	SUM 45
UTM	235868 / 9920392
Muestra Color	café claro
Tipo de depósito	matriz DAE- LP



Muestra pura:	café claro	Matriz consolidada con varios fragmentos de pómez (hasta ~3.5 cm) Forma predominante subangular-subesférica
----------------------	------------	---

Pómez disgregada		Brillo	Forma	Vesicularidad	Minerales	Estructuras	CaCO3	Otros	Tamaño	%
Color	blanca	sedoso	subangular-subesférica	media - alta	plag, px	no	-	Alterada, algunas pómez de color naranja.	0.5 – 1	70
Color	morada	sedoso	angular – subesférica	media	no	-	-	-	1.5	

Mineral	Color	Forma cristalina	Brillo	Inclusiones	Fracturamiento	Alteración	Otros	Tamaño	%
Plagioclasa	incolora, amarillenta	prismático	vitreo	no	clivaje	-	-	0.2 – 0.3	96
Biotita	dorado	laminar	graso	-	-	-	-	≤ 0.1	2
Ferrihidrita	anaranjado	irregular	mate	no	no	no	-	≤ 0.2	2

Fragmentos	Color	Forma	Vesicularidad	Fracturamiento	Alteración	Otros	CaCO3	Tamaño
Carbon (MO)	café	subangular - subesférica	-	-	-	-	-	0.2
Otros:	Muestra con gran cantidad de pómez, pocos cristales y vidrio. Los líticos observados se encuentran alterados. La cantidad de cristales y vidrio es casi irrelevante a comparación de la pómez disgregada.							

PACTO SUMACO

Lugar	Escuelita Pacto Sumaco
Muestra	Ash_1_PS
UTM	0210670 / 9925609
Muestra Color	café
Tipo de depósito	ceniza



Muestra pura:	café	Matriz rica en cristales con pómez y cristales de px, plag, F. Forma predominante subangular-subesférica
---------------	------	--

Pómez disgregada		Forma	Vesicularidad	Minerales	Estructuras	CaCO3	Otros	Tamaño	%
Color	Brillo	subangular - subesférica	baja	px, plag, bt	no	-	-	0.5	47
café	sedoso	subangular-subesférica	baja	px, plag	no	-	Alterada algunas pómez de color naranja.	0.5 - 1	
blanca	sedoso								

Mineral	Color	Forma cristalina	Brillo	Inclusiones	Fracturamiento	Alteración	Otros	Tamaño	%
Piroxeno (Augita)	negro, verde claro	prismático	vitreo	no	clivaje	no	Prismas cortos con inclusiones de plag.	0.2	60
Plagioclasa	incolora, amarillenta	prismático	vitreo	no	clivaje	-	-	0.2 - 0.3	36
Hornblenda	negro	prismático alargado	vitreo	-	-	-	-	0.2	4

Vidrio	Color	Forma	Brillo	Inclusiones	Fracturamiento	Otros	Estructuras	Tamaño
traslúcidos	incoloros	anhedral	vitreo	-	-	-	-	≤ 0.1

Líticos	Color	Forma	Vesicularidad	Fracturamiento	Alteración	Otros	CaCO3	Tamaño
Rocas básicas Fonolitas?	gris claro	subangular - subesférica	baja	no	-	contiene plag poca cantidad	-	0.3 - 0.6
Otros:								

Lugar	Escuelita Pacto Sumaco
Muestra	Ash_2_PS
UTM	0210670 / 9925609
Muestra Color	café claro
Tipo de depósito	ceniza



Muestra pura:	café claro	Muestra con pómez bien consolidada de gran tamaño y matriz fina rica en cristales. Forma predominante subangular - subesférica.
----------------------	------------	---

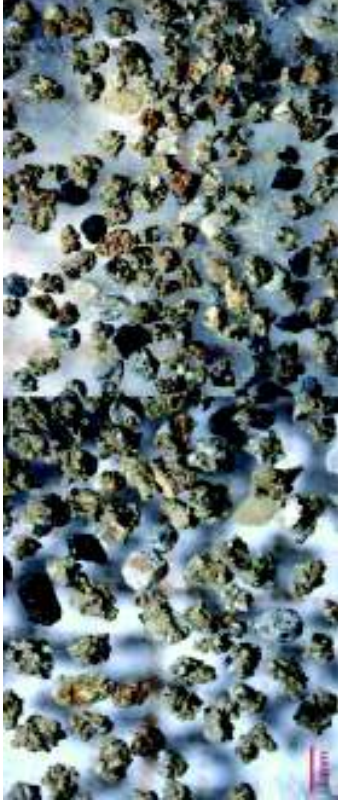
Pómez disgregada									
Color	Brillo	Forma	Vesicularidad	Minerales	Estructuras	CaCO3	Otros	Tamaño	%
café	sedoso	subangular - subesférica	baja	px, plag, bt	no	-	-	0.3 - 1	30
blanca	sedoso	subangular - subesférica	baja	px, plag	no	-	alterada coloración naranja	0.2 - 1.5	

Mineral	Color	Forma cristalina	Brillo	Inclusiones	Fracturamiento	Alteración	Otros	Tamaño	%
Piroxeno (Augita)	negro, verdes	prismático	vitreo	no	clivaje	no	prismas cortos	0.3	60
Plagioclasa	incolora, amarillenta	prismático	vitreo	no	clivaje	-	-	0.2 - 0.3	28
Micas (biotita)	negro, café	laminar	graso	-	-	-	-	≤ 0.1	tr-1
Hornblenda	negro	prismáticos alargados	vitreo	-	-	-	-	0.1 - 0.2	12

Vidrio	Color	Forma	Brillo	Inclusiones	Fracturamiento	Otros	Estructuras	Tamaño
translúcidos	incoloros	anhedral	vitreo	-	-	-	-	0.1 - 0.2

Lífticos	Color	Forma	Vesicularidad	Fracturamiento	Alteración	Otros	CaCO3	Tamaño
Basaltos	gris oscuro	subangular - subesférica	baja	no	-	-	-	0.2 - 0.5
Otros:	Muestra masiva con fragmentos de carbon de 0.3 cm.							

Lugar	Escuelita Pacto Sumaco
Muestra	Ash_3_PS
UTM	0210670 / 9925609
Muestra Color	beige
Tipo de depósito	ceniza



Muestra pura:	beige	Matriz gruesa con varios líticos, pómez y cristales de px, plag. Forma predominante subangular-subesférica
----------------------	-------	--

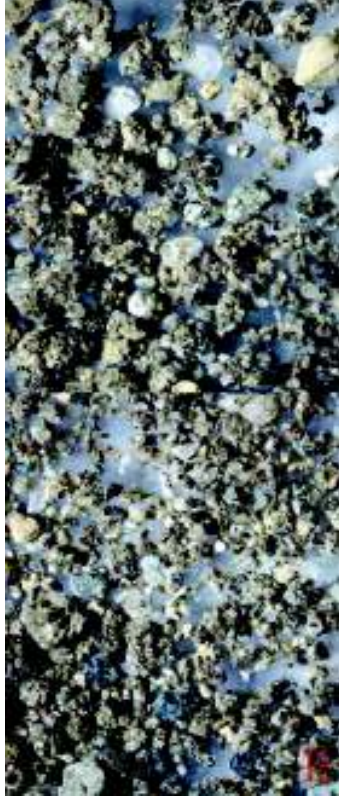
Pómez disgregada									
Color	Brillo	Forma	Vesicularidad	Minerales	Estructuras	CaCO3	Otros	Tamaño	%
blanca	sedoso	subangular - subesférica	baja	px, plag	no	-	algunas alteradas coloración naranja	0.2- 0.3	30
café	sedoso	subangular-esférica	baja	px, plag, bt	no	-	-	0.3-0.4	

Mineral	Color	Forma cristalina	Brillo	Inclusiones	Fracturamiento	Alteración	Otros	Tamaño	%
Piroxeno (Augita)	negro, verde claro	prismático	vítreo	no	clivaje	no	Prismas cortos con inclusiones de plag.	0.2	39
Plagioclasa	incolora, blanca lechosa, amarillenta	prismático	vítreo	no	clivaje	-	-	0.2 - 0.3	44
Hornblenda	negro	prismático alargado	vítreo	no	-	-	-	0.2	12
Hercinita	negro	granular	vítreo	no	-	-	-	≤ 0.1	5

Lílicos	Color	Forma	Vesicularidad	Fracturamiento	Alteración	Otros	CaCO3	Tamaño
Basaltos	gris oscuro	subangular - subesférica	baja	no	-	-	-	0.2 - 0.4
Otros:	La muestra posee fragmentos de carbon de tamaño aprox. 0.2 cm							

WILD SUMACO

Lugar	Lodge Wild Sumaco
Muestra	Ash_1_WS
UTM	0210626/ 9925285
Muestra Color	café anaranjado
Tipo de depósito	ceniza



Muestra pura:	café anaranjado	Muestra tamaño arena, con pocos cristales, varios líticos y pómez de tamaño aprox. 1 – 1.5 cm. Forma predominante subangular-subesférica
----------------------	-----------------	--

Pómez disgregada		Forma	Vesicularidad	Minerales	Estructuras	CaCO3	Otros	Tamaño	%
Color	Brillo	subangular – subesférica	baja	plag, px	no	-	-	0.2 – 1.5	50
anaranjado	sedoso	subangular-subesférica	media	px, plag, bt	no	-	-	0.3 – 1	
café	sedoso								

Mineral	Color	Forma cristalina	Brillo	Inclusiones	Fracturamiento	Alteración	Otros	Tamaño	%
Piroxeno (Augita)	negro, verde claro	prismático	vitreo	no	clivaje	no	Prismas cortos con inclusiones de plag.	0.2	54
Plagioclasa	incolora, amarillenta	prismático	vitreo	no	clivaje	-	-	0.2 – 0.3	40
Hornblenda	negro, verde	prismático alargado	vitreo	plag	-	-	-	0.1	6

Vidrio	Color	Forma	Brillo	Inclusiones	Fracturamiento	Otros	Estructuras	Tamaño
traslúcidos	incoloros	anhedral	vitreo	-	-	-	-	≤ 0.1

Lítics	Color	Forma	Vesicularidad	Fracturamiento	Alteración	Otros	CaCO3	Tamaño
Basaltos	gris oscuro	subangular – subesférica	baja	no	-	plag y px como fenocristales	-	de hasta 1.5

Lugar	Lodge Wild Sumaco
Muestra	Ash_2_WS
UTM	0210626/ 9925285
Muestra Color	café naranjado
Tipo de depósito	ceniza



Muestra pura: café naranjado
Ceniza fina con varios líticos, pómez y cristales de px, hb, plag. Forma predominante subangular-subesférica

Pómez disgregada		Forma	Vesicularidad	Minerales	Estructuras	CaCO3	Otros	Tamaño	%
Color	anaranjado (blanca)	subangular - subesférica	baja	plag, px, hb	no	-	alterada, oxidación coloración naranja	0.2 - 1.5	35
	café	subangular-subesférica	media	px, plag, bt	no	-	-	0.3 - 1	

Mineral	Color	Forma cristalina	Brillo	Inclusiones	Fracturamiento	Alteración	Otros	Tamaño	%
Piroxeno (Augita)	negro, verde claro	prismático	vitreo	no	clivaje	no	Prismas cortos	0.2	68
Plagioclasa	incolora, amarillenta	prismático	vitreo	no	clivaje	-	-	0.2 - 0.3	22
Hornblenda	negro	prismático alargado	vitreo	no	-	-	-	0.2	10

Vidrio	Color	Forma	Brillo	Inclusiones	Fracturamiento	Otros	Estructuras	Tamaño
traslúcidos	incoloros	anhedral	vitreo	-	-	-	-	≤ 0.1

Líticos	Color	Forma	Vesicularidad	Fracturamiento	Alteración	Otros	CaCO3	Tamaño
Basaltos	gris oscuro	subangular - subesférica	baja	no	-	-	-	0.2 - 0.5

Otros: La muestra posee fragmentos de carbón de tamaño aprox. 0.2 mm

Lugar	Lodge Wild Sumaco
Muestra	Ash_3_WS
UTM	0210626/ 9925285
Muestra Color	café
Tipo de depósito	ceniza



Muestra pura:	café	Ceniza gruesa con varias pómez. Forma predominante subangular-subestérica
----------------------	------	---

Pómez disgregada

Color	Brillo	Forma	Vesicularidad	Minerales	Estructuras	CaCO3	Otros	Tamaño	%
anaranjado (blanca)	sedoso	subangular – subestérica	baja	plag, px,	no	-	alterada, oxidación coloración naranja	0.2 – 0.3	32
café	sedoso	subangular-subestérica	baja	px, plag,	no	-	-	0.3 – 0.8	

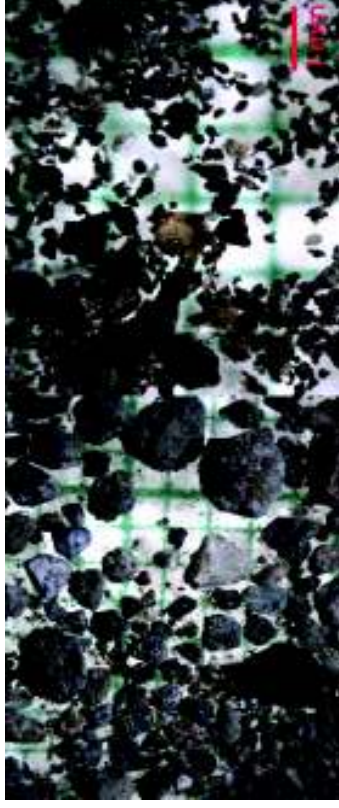
Mineral	Color	Forma cristalina	Brillo	Inclusiones	Fracturamiento	Alteración	Otros	Tamaño	%
Piroxeno (Augita)	negro, verde claro	prismático	vítreo	no	clivaje	no	Prismas cortos con inclusiones de plag	0.2	39
Plagioclasa	incolora, blanca lechosa, amarillenta	prismático	vítreo	no	clivaje	-	-	0.2 – 0.3	48
Hornblenda	negro	prismático alargado	vítreo	no	-	-	-	0.2	13

Lílicos	Color	Forma	Vesicularidad	Fracturamiento	Alteración	Otros	CaCO3	Tamaño
Basaltos	gris oscuro	subangular - subestérica	baja	no	-	-	-	0.2 – 0.4

Otros: Vesicularidad promedio en cada pómez 8%.

LAGUNA GUAGUA SUMACO

Lugar	Laguna Guagua Sumaco
Muestra	SUM 6 A
UTM	211262 / 9936958
Muestra Color	café oscuro
Tipo de depósito	ceniza

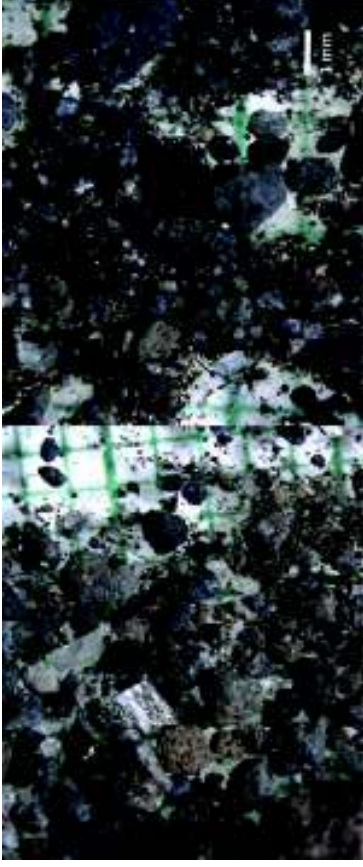


Pómez disgregada		Forma	Vesicularidad	Minerales	Estructuras	CaCO3	Otros	Tamaño	%
Color	café oscuro	subangular – subesférica	media	px, plag	no	-	-	0.2	35

Mineral	Color	Forma cristalina	Brillo	Inclusiones	Fracturamiento	Alteración	Otros	Tamaño	%
Augita	negro, verde claro	prismático	vítreo	no	clivaje			0.1 – 0.2	14
Plagioclasa	incolor, blanco lechoso	prismático	vítreo	no	clivaje	-	-	0.2	78
Biotita	negro, café	laminar	sedoso	-	no	no	no	≤ 0.1	8

Vidrio	Color	Forma	Brillo	Inclusiones	Fracturamiento	Otros	Estructuras	Tamaño
obsidiana	negro	anhedral	vítreo	-	concoídea			0.2

Lugar	Laguna Guagua Sumaco
Muestra	SUM 5 B
UTM	211262 / 9936958
Muestra Color	beige claro
Tipo de depósito	ceniza



Pómez disgregada

Color	Brillo	Forma	Vesicularidad	Minerales	Estructuras	CaCO3	Otros	Tamaño	%
beige café claro	sedoso	subangular – subesférica	media	px, plag	no	-	-	0.2	15

Mineral	Color	Forma cristalina	Brillo	Inclusiones	Fracturamiento	Alteración	Otros	Tamaño	%
Augita	negro, verde claro	prismático	vitreo	no	clivaje	-	-	0.1 – 0.2	33
Plagioclasa	incoloro, blanco lechoso	prismático	vitreo	no	clivaje	-	-	0.1 - 0.2	55
Biotita	negro, dorado	laminar	sedoso	-	no	no	no	≤ 0.1	2
Hornblenda	verde, negro	prismático	vitreo	-	-	-	-	0.3	5
Hercinita	negro	granular	vitreo	-	concoidea, desigual	-	-	0.1	1
Zircón	amarillo	prismático	vitreo	no	concoide	-	-	0.1	4

Vidrio	Color	Forma	Brillo	Inclusiones	Fracturamiento	Otros	Estructuras	Tamaño
obsidiana	café-rojizo, negro	anhedral	vitreo	-	concoidea	-	-	≤ 0.2

Lílicos	Color	Forma	Vesicularidad	Fracturamiento	Alteración	Otros	CaCO3	Tamaño
basalto	gris oscuro	subangular - subesférica	alta	no	-	No se observa Huayna	-	0.3 – 0.5
basalto	gris	subangular - subesférica	baja	no	oxidación	-	-	0.3 - 0.4

Otros: Matriz con varios liticos (40-45%) de composición similar a las rocas del Sumaco. Cristales grandes de hid llaman mucho la atención. Liticos grises son masivos porfiriticos presentan cristales prismáticos de piroxeno color negro y pequeños fenocristales de plagioclasa. Los liticos negros son vesiculares con cristales prismáticos de piroxeno color negro y de plagioclasa incolora, se observa fenocristales prismáticos alargados posiblemente igual son piroxenos Partículas oxidadas 2%.



Lugar	Laguna Guagua Sumaco
Muestra	SUM 4A
UTM	211262 / 9936958
Muestra Color	beige claro
Tipo de deposito	ceniza

Pómez disgregada		Forma	Vesicularidad	Minerales	Estructuras	CaCO3	Otros	Tamaño	%
Color	café oscuro	angular – subesférica	media	px, plag	no	-	-	0.2 – 0.3	90

Mineral	Color	Forma cristalina	Brillo	Inclusiones	Fracturamiento	Alteración	Otros	Tamaño	%
Augita	negro, verde claro	prismático	vítreo	no	clivaje			0.1 – 0.2	25
Plagioclasa	incolor, blanco lechoso	prismático	vítreo	no	clivaje	-	-	0.1 – 0.2	75
Biotita	dorada	laminar	sedoso	-	no	no	no	≤ 0.1	2

Vidrio	Color	Forma	Brillo	Inclusiones	Fracturamiento	Otros	Estructuras	Tamaño
shards	incoloros	irregular	vítreo	-	-	-	-	0.2

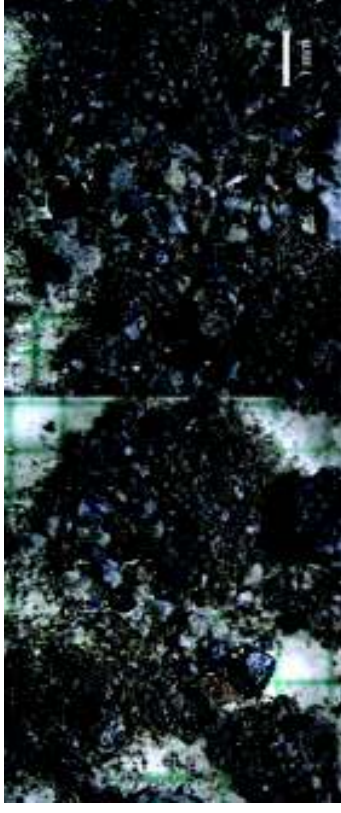
Otros: Muestra re-trabajada se observa alteración leve. Cristales de biotita dorada se encuentran doblados.

Lugar	Laguna Guagua Sumaco
Muestra	SUM 4B
UTM	211262 / 9936958
Muestra Color	beige claro
Tipo de depósito	ceniza



Pómez disgregada									
Color	Brillo	Forma	Vesicularidad	Minerales	Estructuras	CaCO3	Otros	Tamaño	%
café	sedoso	angular - subesférica	media	px, plag	no	-	-	0.2 - 0.3	20
Mineral	Color	Forma cristalina	Brillo	Inclusiones	Fracturamiento	Alteración	Otros	Tamaño	%
Augita	negro, verde claro	prismático	vitreo	no	clivaje	-	-	0.1 - 0.2	34
Plagioclasa	incoloro, blanco lechoso, amarillo	prismático	vitreo	no	clivaje	-	-	0.1 - 0.2	55
Hornblenda	negro	prismático	vitreo	no	-	-	-	0.2	3
Hercinita	negro	granular	vitreo	-	concoide	-	-	0.1	3
Biotita	café-negra	laminar	sedoso	no	-	-	-	≤ 0.1	2
Zircón	amarillo	prismático	vitreo	no	concoide	-	-	0.1	3
Vidrio	Color	Forma	Brillo	Inclusiones	Fracturamiento	Otros	Estructuras	Tamaño	
shards?	incoloros	irregular	vitreo	-	-	-	-	0.2	
obsidiana	café, rojiza	anhedral	vitreo	no	concoidea	-	-	0.1	
Lílicos	Color	Forma	Vesicularidad	Fracturamiento	Alteración	Otros	CaCO3	Tamaño	
basalto	gris oscuro	subangular - subesférica	media	no	-	fenocristales px	-	0.1 - 0.3	
	gris claro	subangular - subesférico	baja	no	no	-	-	0.1 - 0.2	
Otros:	Proporción de lílicos al menos un 35% del volumen de muestra. Lílicos gris oscuro porfíricos vesiculares poseen fenocristales prismáticos de piroxeno, plagioclasa incolora y zircón amarillo. Lílicos grises son porfíricos poco vesiculares presentan cristales de piroxeno negro y plagioclasa. Se observa partículas oxidadas un 3%.								

Lugar	Laguna Guagua Sumaco
Muestra	SUM 3 A
UTM	211262 / 9936958
Muestra Color	beige claro
Tipo de depósito	ceniza



Pómez disgregada		Forma	Vesicularidad	Minerales	Estructuras	CaCO3	Otros	Tamaño	%
Color	brillo								
beige- café	sedoso	subangular – subesférica	media	plag	no	-	-	0.2	30
blanca	sedoso	subangular- subesférica	baja	grandes de plag, px	no	-	consolidada	0.2 – 0.4	

Mineral	Color	Forma cristalina	Brillo	Inclusiones	Fracturamiento	Alteración	Otros	Tamaño	%
Augita	negro, verde claro	prismático	vitreo	no	clivaje			0.1 – 0.2	36
Plagioclasa	incoloro, blanco lechoso, amarillo	prismático	vitreo	no	clivaje	-	-	0.1 - 0.2	50
Hornblenda	negro	prismático	vitreo	no	-	-	-	0.2	7
Hercinita	negro	granular	vitreo	-	concoide	-	-	0.1	3
Biotita	café	laminar	sedoso	-	no	no	no	≤ 0.1	tr
Zircón	amarillo	prismático	vitreo	no	concoide	-	-	0.1	4

Vidrio	Color	Forma	Brillo	Inclusiones	Fracturamiento	Otros	Estructuras	Tamaño
obsidiana	negro	anhedral	vitreo	-	concoidea	-	-	≤ 0.1

Lítics	Color	Forma	Vesicularidad	Fracturamiento	Alteración	Otros	CaCO3	Tamaño
basalto alcalinos	gris oscuro – negros	subangular - subesférica	baja	no	-	fenocristales px y muy pequeños hauyna		0.2 – 0.3
Partículas oxidadas	rojos	subangular – subesférica	baja	no	-	px,plag		0.2
basaltos	gris	subangular – subesférica	media	no	no	px,plag (amarilla)		0.2

Otros: Proporción de líticos al menos un 30% del volumen de muestra. Líticos grises oscuros son porfíricos masivos fenocristales de plagioclasa y piroxenos color negro e incoloro respectivamente, es posible observar pequeños cristales azules de hauyna. Líticos basálticos más vesiculares porfíricos con fenocristales de plag amarilla y piroxeno. Se observa partículas oxidadas un 4%



Lugar	Laguna Guagua Sumaco
Muestra	SUM 3 B
UTM	211262 / 9936958
Muestra Color	beige claro
Tipo de depósito	ceniza

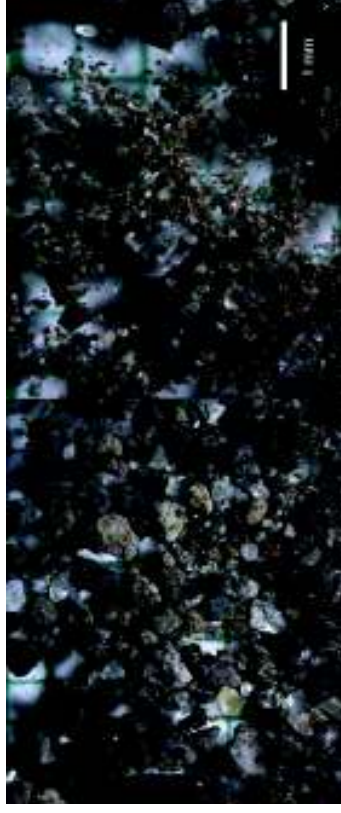
Pómez disgregada									
Color	Brillo	Forma	Vesicularidad	Minerales	Estructuras	CaCO3	Otros	Tamaño	%
blanco-beige	sedoso	subangular – subesférica	media	plag, px	no	-	-	0.2 – 0.4	45

Mineral	Color	Forma cristalina	Brillo	Inclusiones	Fracturamiento	Alteración	Otros	Tamaño	%
Augita	verde claro	prismático	vítreo	no	clivaje	-	-	0.1 – 0.2	40
Plagioclasa	incoloro, blanco lechoso, amarillo	prismático	vítreo	no	clivaje	-	-	0.1 – 0.2	50
Hornblenda	negro	prismático	vítreo	no	-	-	-	0.2	6
Hercinita	negro	granular	vítreo	-	concoide	-	-	0.1	2
Zircón	amarillo	prismático	vítreo	no	concoide	-	-	0.1	2

Vidrio	Color	Forma	Brillo	Inclusiones	Fracturamiento	Otros	Estructuras	Tamaño
shards?	incoloros	irregular	vítreo	-	-	-	-	tr – 0.1

Otros: Muestra muy muy fina, gran cantidad de pómez y cristales pequeños. Predomina la pómez sobre los cristales.

Lugar	Laguna Guagua Sumaco
Muestra	SUM 2 B
UTM	211262 / 9936958
Muestra Color	beige
Tipo de depósito	ceniza



Pómez disgregada

Color	Brillo	Forma	Vesicularidad	Minerales	Estructuras	CaCO3	Otros	Tamaño	%
blanca - beige	sedoso	subangular-subesférica	baja	px, plag	no	-	consolidada	0.2	18

Mineral	Color	Forma cristalina	Brillo	Inclusiones	Fracturamiento	Alteración	Otros	Tamaño	%
Augita	verde claro, negro	prismático	vitreo	no	clivaje			0.1 - 0.2	41
Plagioclasa	incoloro, blanco lechoso, amarillo	prismático	vitreo	no	clivaje	-	-	0.1 - 0.2	46
Hornblenda	negro	prismático	vitreo	no	-	-	-	0.2	7
Hercinita	negro	granular	vitreo	no	desigual	-	-	0.1	3
Zircón	amarillo	prismático	vitreo	no	concoide	-	-	0.1	3

Lílicos	Color	Forma	Vesicularidad	Fracturamiento	Alteración	Otros	CaCO3	Tamaño
basalto	gris oscuro	subangular - subesférica	baja - media	no	-	fenocristales px, plag, apatito		0.2 - 0.3
	gris	angular - subesférica	baja	no	no	px, apatito		0.2

Otros: Presenta mucha cantidad de lílicos 42%. Los lílicos gris oscuro poseen fenocristales de apatito, plagioclasa, piroxeno, son poco vesiculados. Existen lílicos de la misma composición pero se encuentran mucho más vesiculados. Los lílicos de color más claro poseen fenocristales de px y apatito. Partículas oxidadas 3%

Lugar	Laguna Guagua Sumaco
Muestra	SUM 1 A
UTM	211262 / 9936958
Muestra Color	café
Tipo de depósito	ceniza



Pómez disgregada

Color	Brillo	Forma	Vesicularidad	Minerales	Estructuras	CaCO3	Otros	Tamaño	%
blanca - beige	sedoso	subangular-subesférica	baja	px, plag	no	-	consolidada	0.2 - 0.3	15

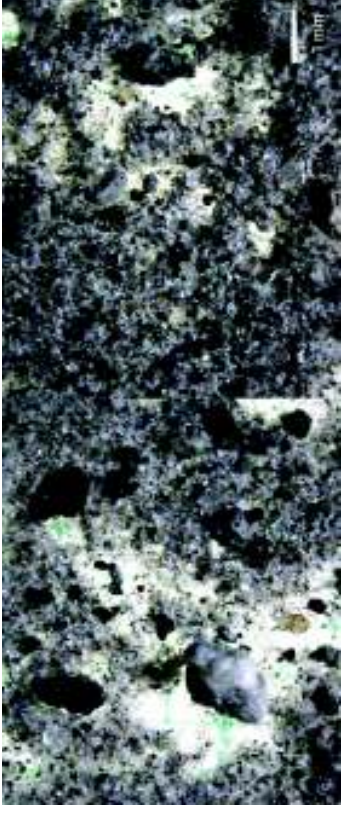
Mineral	Color	Forma cristalina	Brillo	Inclusiones	Fracturamiento	Alteración	Otros	Tamaño	%
Augita	verde claro, negro	prismático	vitreo	no	clivaje	-	-	0.1 - 0.2	48
Plagioclasa	incoloro, blanco lechoso	prismático	vitreo	no	clivaje	-	-	0.1 - 0.2	40
Hornblenda	negro	prismático	vitreo	no	-	-	-	0.2	5
Hercinita	negro	granular	vitreo	no	desigual	-	-	0.1	3
Zircón	amarillo	prismático	vitreo	no	concoide	-	-	0.1	4

Vidrio	Color	Forma	Brillo	Inclusiones	Fracturamiento	Otros	Estructuras	Tamaño
obsidiana	negro	anhedral	vitreo	-	concoidea	-	-	0.1
shards	incoloros	irregular	vitreo	-	-	-	-	< 0.1

Líticos	Color	Forma	Vesicularidad	Fracturamiento	Alteración	Otros	CaCO3	Tamaño
basalto	gris	subangular - subesférica	baja	no	-	fenocristales px, plag	-	0.2 - 0.4
basalto	gris oscuro	subangular - subesférica	media - alta	no	no	px, apatito	-	0.2
	blanco	subangular - subsférico	baja	no	-	px, plag	-	0.2

Otros: La muestra contiene líticos en un 45%. Los líticos gris poseen fenocristales de plagioclasa, piroxeno color negro, son poco vesiculares con una matriz oscura. Existen líticos de la misma composición color gris oscuro con mayor cantidad de vesículas. Partículas oxidadas de hasta 0.3 mm 5%

Lugar	Laguna Guagua Sumaco
Muestra	SUM 1 B
UTM	211262 / 9936958
Muestra Color	crema
Tipo de depósito	ceniza



Pómez disgregada									
Color	Brillo	Forma	Vesicularidad	Minerales	Estructuras	CaCO3	Otros	Tamaño	%
blanco	sedoso	subangular – subesférica	media	plag, px	no	-	-	0.2 – 0.3	35

Mineral	Color	Forma cristalina	Brillo	Inclusiones	Fracturamiento	Alteración	Otros	Tamaño	%
Augita	verde claro, negro	prismático	vitreo	no	clivaje	-	-	0.1 – 0.2	35
Plagioclasa	incoloro, blanco lechoso	prismático	vitreo	no	clivaje	-	-	0.1 - 0.2	44
Hornblenda	negro	prismático	vitreo	no	-	-	-	0.2	7
Hercinita	verde oscuro, negro	granular	vitreo	no	desigual, concolde	-	-	0.1	10
Biotita	tono verdoso y rojizo, dorada	laminar	sedoso	no	-	-	-	< 0.1	1
Zircón	amarillo	prismático	vitreo	no	concolde	-	-	0.1	2

Vidrio	Color	Forma	Brillo	Inclusiones	Fracturamiento	Otros	Estructuras	Tamaño
obsidiana	negro	anhedral	vitreo	-	concoldea	-	-	0.2

Líticos	Color	Forma	Vesicularidad	Fracturamiento	Alteración	Otros	CaCO3	Tamaño
basalto	gris oscuro	subangular - subesférica	baja	no	oxidación	fenocristales px	-	0.1 – 0.4
	café grisáceo	subangular – subesférica	alta	no	no	px, plag, apatito	-	0.2

Otros: La cantidad de líticos es del 25%. Ceniza muy fina, rica en cristales. Partículas oxidadas 5%. Líticos gris oscuro porfíricos con fenocristales de px y plag. Existen líticos de color café mucho más vesiculados con fenocristales de apatito y px.

LINARES

Lugar	Cedros
Muestra	Sample 5
UTM	189678 / 9956978
Muestra Color	café
Tipo de depósito	ceniza



Muestra pura:	café	Ceniza fina rica con líticos y varios cristales. Forma predominante subangular-subesférica
------------------	------	---

Pómez disgregada		Forma	Vesicularidad	Minerales	Estructuras	CaCO3	Otros	%	
Color	Brillo	subangular-esférica	baja	px, plag	no	-	oxidación (anaranjado)	25	
blanca	sedoso								
Mineral	Color	Forma cristalina	Brillo	Inclusiones	Fracturamiento	Alteración	Otros	Tamaño	%
Plagioclasa	incolora, amarillenta	prismático	vítreo	no	clivaje	oxidación	-	0.3	54
Hornblenda	negra, verde	prismático alargado	vítreo	no	-	-	confunde con px	0.2	34
Biotita	café	laminar	sedoso	no	-	-	-	0.2	12
Vidrio	Color	Forma	Brillo	Inclusiones	Fracturamiento	Otros	Estructuras	Tamaño	
obsidiana	negro	irregular	vítreo	-	concoídea	-	-	0.1 - 0.2	
Lítics	Color	Forma	Vesicularidad	Fracturamiento	Alteración	Otros	CaCO3	Tamaño	
Partículas oxidadas	rojo, anaranjado	subangular - subesférica	baja	no	-	contiene plag poca cantidad	-	0.1 - 0.2	
	gris	subangular- subesférica	baja	no	no	no	-	0.2	

Otros: Muestra con varias partículas oxidadas (12%) y pómez alterado en localidades anaranjadas.

Lugar	Cedros
Muestra	Sample 6
UTM	189678 / 9956978
Muestra Color	gris
Tipo de depósito	ceniza



Muestra pura:	gris	Muestra gruesa, se observa varios fragmentos de pómez. Forma predominante subangular-subesférica
----------------------	------	--

Pómez disgregada								
Color	Brillo	Forma	Vesicularidad	Minerales	Estructuras	CaCO3	Otros	%
blanca (anaranjada)	sedoso	subangular-subesférica	baja	px, plag	no	-	oxidación (anaranjado)	38

Mineral	Color	Forma cristalina	Brillo	Inclusiones	Fracturamiento	Alteración	Otros	Tamaño	%
Plagioclasa	incolora, amarillenta	prismático	vítreo	no	clivaje	oxidación	-	0.3	55
Hornblenda	negra, verde	prismático alargado	vítreo	no	-	-	confunde con px	0.2	45

Vidrio	Color	Forma	Brillo	Inclusiones	Fracturamiento	Otros	Estructuras	Tamaño
obsidiana	negro	irregular	vítreo	-	concoídea	-	-	0.1 - 0.2

Lífticos	Color	Forma	Vesicularidad	Fracturamiento	Alteración	Otros	CaCO3	Tamaño
partículas oxidadas	gris	subangular-subesférica	baja	no	no	no	-	0.2
	rojos	subangular-subesférico	baja	no				0.1 - 0.2

Otros: Pocas partículas oxidadas (7%) y pómez alterada con color anaranjado

Lugar	Linares Ridge
Muestra	Sample 7
UTM	190400 / 9959435
Muestra Color	café
Tipo de depósito	ceniza



Muestra pura:	café	Ceniza con líticos y varios cristales. Forma predominante subangular-subesférica
----------------------	------	--

Pómez disgregada		Forma	Vesicularidad	Minerales	Estructuras	CaCO3	Otros	%
Color	blanca	subangular-esférica	baja	px, plag	no	-	oxidación (anaranjado)	25

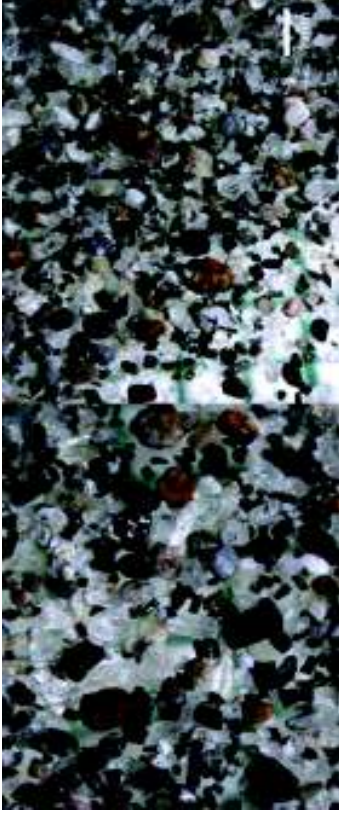
Mineral	Color	Forma cristalina	Brillo	Inclusiones	Fracturamiento	Alteración	Otros	Tamaño	%
Plagioclasa	incolora, amarillenta	prismático	vitreo	no	clivaje	oxidación	-	0.3	54
Hornblenda	negra, verde	prismático alargado laminar	vitreo	no	-	-	confunde con px	0.2	38
Biotita	café		sedoso	no	-	-	-	0.2	8

Vidrio	Color	Forma	Brillo	Inclusiones	Fracturamiento	Otros	Estructuras	Tamaño
obsidiana	negro	irregular	vitreo	-	concoidea	-	-	0.1 - 0.2

Líticos	Color	Forma	Vesicularidad	Fracturamiento	Alteración	Otros	CaCO3	Tamaño
Partículas oxidadas	rojo, anaranjado	subangular - subesférica	baja	no	-	contiene plag poca cantidad	-	0.1 - 0.2
	gris	subangular-subesférica	baja	no	no	no	-	0.2

Otros: Muestra con varias partículas oxidadas (12%) y pómez meteorizada en tonalidades anaranjadas. Muestra muy similar a Sample 5 pero más fina.

Lugar	Linares - Ridge
Muestra	Sample 8
UTM	190400 / 9959435
Muestra Color	gris
Tipo de depósito	ceniza



Muestra pura:	gris	Muestra gruesa con varios fragmentos de pómez de tamaño hasta 4 mm
----------------------	------	--

Pómez disgregada		Forma	Vesicularidad	Minerales	Estructuras	CaCO3	Otros	%	
Color	blanca (anaranjada)	sedoso	brillo	subangular-subesférica	baja	px, plag	no	oxidación (anarajando)	40

Mineral	Color	Forma cristalina	Brillo	Inclusiones	Fracturamiento	Alteración	Otros	Tamaño	%
Plagioclasa	incolora, amarillenta	prismático	vitreo	no	clivaje	oxidación	-	0.3	60
Hornblenda	negra, verde	prismático alargado	vitreo	no	-	-	confunde con px	0.2	40

Vidrio	Color	Forma	Brillo	Inclusiones	Fracturamiento	Otros	Estructuras	Tamaño
obsidiana	negro	irregular	vitreo	-	concoidea	-	-	0.1 - 0.2

Lílicos	Color	Forma	Vesicularidad	Fracturamiento	Alteración	Otros	CaCO3	Tamaño
	gris	subangular-subesférica	baja	no	no	no	-	0.2
partículas oxidadas	rojos	subangular-subesférico	baja	no	no	no	-	0.1 - 0.2

Otros: Muestra con varias partículas oxidadas (8%) y pómez alterada en tonalidades anaranjadas. Muestra similar a la muestra 7 pero con mayor cantidad de pómez meteorizada.

VINILLOS

Lugar	Vinillos
Muestra	T2
UTM	183047 / 993363
Muestra Color	beige blanca
Tipo de depósito	ceniza



Muestra pura:	Beige Blanca	En algunas pómez se observa patina naranja debido a la oxidación de hematita. Forma predominante subredondeada subesférica.
----------------------	--------------	---

Pómez disgregada		Forma	Vesicularidad	Minerales	Estructuras	CaCO3	Otros	%
Color	Blanca lechosa	subesférica - subredondeada	media	bt	melcocha	---		36
	Beige clara	subesférica- subredondeada	media	no	hilos de vidrio	---		

Mineral	Color	Forma cristalina	Brillo	Inclusiones	Fracturamiento	Alteración	Otros	Tamaño	%
Biotita	negra-dorada, dorada	laminar	graso	no	no	algunas frescas otras alteradas	libros	0.3 - 1	18
Plagioclasa	traslucidos, incoloros	prismático	vitreo	no	clivaje			0.5	50
Augita	verde claro	prismático	vitreo	no			bordes angulares	0.2-0.3	32

Vidrio	Color	Forma	Brillo	Inclusiones	Fracturamiento	Otros	Estructuras	Tamaño	%
Hilos de vidrio	clara sedoso	hilos	vitreo	No		finos y frágiles		0.5 - 0.9	3

Otros: Los hilos de vidrio se forman como estructura en la matriz de la pómez.

Lugar	Vimilios
Muestra	T3
UTM	183047 / 993363
Muestra Color	gris oscuro
Tipo de depósito	ceniza



Muestra pura:	Gris Oscuro	Muestra rica en cristales color gris con pómez blanca de 0.4 mm
----------------------	-------------	---

Pómez disgregada		Forma	Vesicularidad	Minerales	Estructuras	CaCO3	Otros	%
Color	Blanca	subredondeada-esférica	media	p/g,px, bt				32
	Beige	subredondeada-esférica	media	no				

Mineral	Color	Forma cristalina	Brillo	Inclusiones	Fracturamiento	Alteración	Otros	Tamaño	%
Plagioclasa	traslúcidos, incoloros	prismático	vitreo		clivaje		algunos bordes redondeados	0.1 - 0.3	30
Biotita	negra-dorada	laminar	graso	no	no	libros	libros	0.3 - 1	tr - 2
Augita	verde claro	prismático	vitreo				Bordes angulares, puntiagudos.	0.2	58
Hornblenda	negro, verde	prismáticos alargados	vitreo	-	-	-	-	0.1 - 0.2	10

Vidrio	Color	Forma	Brillo	Inclusiones	Fracturamiento	Otros	Estructuras	Tamaño	%
traslúcidos	incoloros	irregular	vitreo					0.1-0.2	tr

Lífticos	Color	Forma	Vesicularidad	Fracturamiento	Alteración	Otros	CaCO3	Tamaño	%
Basaltos	gris oscuro, negros	angular subesférica, irregular	baja	no	--			0.2 - 0.4	12
	gris		baja	no	--			0.5	



Lugar	Vinillos
Muestra	T4
UTM	183047 / 993363
Muestra Color	beige
Tipo de depósito	ceniza

Muestra pura:	Beige
---------------	-------

Pómez disgregada						
Color	Brillo	Forma	Vesicularidad	Minerales	Estructuras	CaCO3
Bianca lechosa	sedoso	subredondeada-esférica	media	no		
Beige	sedoso	subredondeada-esférica	media	px,hbd,plag		24

Mineral	Color	Forma cristalina	Brillo	Inclusiones	Fracturamiento	Alteración	Otros	Tamaño	%
Plagioclasa	traslucidos, incoloros	prismáticos	vitreo		no			0.2-0.4	60
Biotita	negra-dorada	laminar	graso	no		Algunas frescas otras alteradas	libros	0.1-0.2	5
Augita	verde claro	prismático	vitreo				bordes puntiagudos, angulares	≤ 0.2	15
Piroxeno	negro	prismático	vitreo		clivaje		bordes angulares	0.2-0.4	12
Cuarzo	incoloro	anhedral	vitreo		no concolidea			0.2	2
Hornblenda	verde oscuro	prismas aciculares	vitreo		clivaje		bordes angulares	0.1	1

Vidrio	Color	Forma	Brillo	Inclusiones	Fracturamiento	Otros	Estructuras	Tamaño	%
Hilos de vidrio	blanco lechoso, traslucidos	hilos	vitreo	no	no	muy finos		0.5	3
Escoria	negro	subredondeada esférica	mate			con vesículas		0.2	2

Otros: Muestra presenta restos de materia orgánica de tamaño de 0.2 mm. Los hilos de vidrio se forman en la matriz de cada pómez.

Lugar	Vinillos
Muestra	T1
UTM	183047 / 993363
Muestra Color	beige
Tipo de depósito	ceniza



Muestra pura:	Beige
----------------------	-------

Pómez disgregada

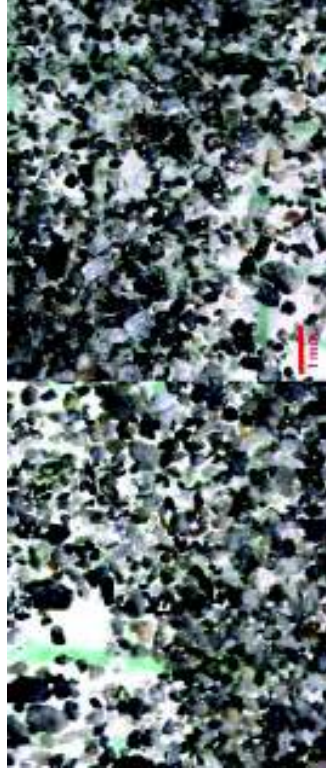
Color	Brillo	Forma	Vesicularidad	Minerales	Estructuras	CaCO3	Otros	%
Blanca lechosa	sedoso	subangular-esférica	media/alta	no			alargamiento de vesículas	20

Mineral	Color	Forma cristalina	Brillo	Inclusiones	Fracturamiento	Alteración	Otros	Tamaño	%
Biotita	negra-dorada, negra	laminar	graso	no	no		libros	0.1-0.2	18
Plagioclasa	translucidos, incoloros	prismático	adamantino		clivaje			0.2-0.4	52
Cuarzo	incoloro	anhedral	vitreo	no	concoidea			0.2	10
Piroxeno	negro	prismático	vitreo	no	-	-	-	0.2	20

Vidrio	Color	Forma	Brillo	Inclusiones	Fracturamiento	Otros	Estructuras	Tamaño	%
Obsidiana	negro	anhedral	vitreo	no	concoidea			0.2	3

Otros: La muestra contiene material orgánico (restos de madera carbonizados) de forma irregular de un tamaño de 0.3-0.7 mm. Los hilos de vidrio en la matriz de cada pómez.

SAN FRANCISCO DE BORJA



Lugar	Rio Borja – W of Pig Farm
Muestra	Sample 1
UTM	187391 / 9958464
Muestra Color	café
Tipo de depósito	ceniza

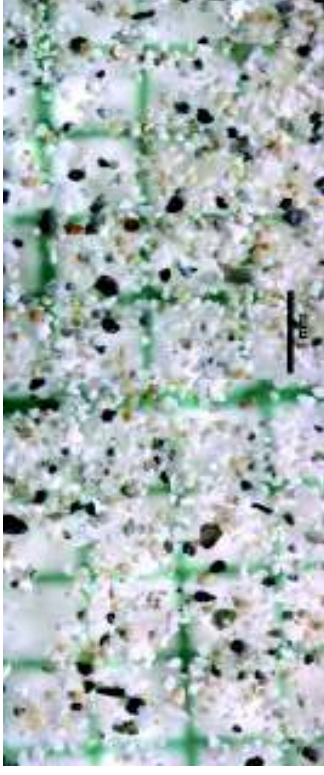
Muestra pura:	café	Muestra fina rica en cristales. Forma predominante subangular-subesférica
----------------------	------	---

Pómez disgregada		Forma	Vesicularidad	Minerales	Estructuras	CaCO3	Otros	%
Color	blanca	subangular-esférica	baja	px, plag	no	-	-	25

Mineral	Color	Forma cristalina	Brillo	Inclusiones	Fracturamiento	Alteración	Otros	Tamaño	%
Plagioclasa	incolora, amarillenta	prismático	vítreo	no	clivaje	oxidación	-	0.3	52
Hornblenda	negra, verde	prismático alargado laminar	vítreo	no	-	-	confunde con px	0.2	38
Biotita	café		sedoso	no	-	-	-	0.2	10

Vidrio	Color	Forma	Brillo	Inclusiones	Fracturamiento	Otros	Estructuras	Tamaño
obsidiana	negro	irregular	vítreo	-	concoidea	-	-	0.2

Lugar	Area de Borja – ciénega
Muestra	Sample 2
UTM	186979/9951021
Muestra Color	café
Tipo de depósito	ceniza



Muestra pura:	café	Muestra muy fina color blanco. Forma predominante subangular-subesférica
--------------------------	------	--

Pómez disgregada								
Color	Brillo	Forma	Vesicularidad	Minerales	Estructuras	CaCO3	Otros	%
gris	sedoso	subangular- subesférica	baja	px, plag	no	-	-	7

Mineral	Color	Forma cristalina	Brillo	Inclusiones	Fracturamiento	Alteración	Otros	Tamaño	%
Hornblenda	verde	prismático	vitreo	no	clivaje	no		0.2	8
Piroxeno	negro	prismático	vitreo	no	clivaje		cortos	0.2	6
Plagioclasa	incolora, amarillenta	prismático	vitreo	no	clivaje	oxidación	-	0.3	67
Biotita	incoloro, amarillo, gris	laminar	sedoso	no	-	-	-	0.2	15
Cuarzo	incoloro		vitreo		concoídea			0.2	4

Vidrio	Color	Forma	Brillo	Inclusiones	Fracturamiento	Otros	Estructuras	Tamaño
obsidiana	negro	irregular	vitreo	-	concoídea		-	0.2