

# **ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL**

**FACULTAD DE INGENIERÍA EN GEOLOGÍA Y PETRÓLEOS**

**DETERMINACIÓN DEL ORIGEN Y LAS CARACTERÍSTICAS DEL  
LAHAR “TENA”, PROVINCIA DE NAPO.**

**TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR PRESENTADO COMO REQUISITO  
PARA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO GEÓLOGO  
OPCIÓN: TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR**

**BRYAN ISMAEL SUNTAXI CHILLOGALLI**  
[bryan.suntaxi@epn.edu.ec](mailto:bryan.suntaxi@epn.edu.ec)

**DIRECTORA: Patricia Ann Mothes, Msc**  
[pmothes@igepn.edu.ec](mailto:pmothes@igepn.edu.ec)

**Quito, marzo 2023**

## CERTIFICACIÓN

Yo, BRYAN ISMAEL SUNTAXI CHILLOGALLI declaro que el trabajo de integración curricular aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado por calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.



**BRYAN ISMAEL SUNTAXI CHILLOGALLI**

Certifico que el presente trabajo de integración curricular fue desarrollado por BRYAN ISMAEL SUNTAXI CHILLOGALLI, bajo mi supervisión.



**PATRICIA ANN MOTHES, MSC**

## DECLARACIÓN DE AUTORIA

A través de la presente declaración, afirmamos que el trabajo de integración curricular aquí descrito, así como los productos resultantes del mismo, son públicos y estarán a disposición de la comunidad a través del repositorio institucional de la Escuela Politécnica Nacional; sin embargo, la titularidad de los derechos patrimoniales nos corresponde a los autores que hemos contribuido en el desarrollo del presente trabajo; observando para el efecto las disposiciones establecidas por el órgano competente en propiedad intelectual, la normativa interna y demás normas.



**BRYAN ISMAEL SUNTAXI CHILLOGALLI**



**PATRICIA ANN MOTHES, MSC**

## DEDICATORIA

*“El presente trabajo va dedicado a mis padres (Nestor & Zoila), mi hermano (Alex), mis abuelos y a Dios que me dio la fuerza para seguir adelante”*

*A mi madre que fue un gran apoyo durante todo el tiempo que pasé en la universidad y que nunca dejó de creer en mí, a mi hermano que me ayudó a solventar algunos obstáculos presentes y a utilizar nuevos programas que tuve que usar durante la realización del trabajo y a mi padre que me dio la libertad y el estímulo para alcanzar mis metas planteadas.*

## AGRADECIMIENTOS

*Agradezco a la Msc. Patricia Ann Mothes por siempre confiar en mí y darme la oportunidad de trabajar con ella en este importante tema, también por siempre darme grandes consejos y una buena enseñanza.*

*Al Ing. Marco Córdova por ser una gran persona y profesional, también por ayudarme con el trabajo en campo realizado a lo largo del trabajo.*

*Al Ing. Edgar Chulde por brindarnos su conocimiento que tenía respecto a los depósitos de lahar que había encontrado en la ciudad de Tena.*

*Al Sr. Dan Dixon por siempre tener disponibilidad y llevarnos a lo largo del río Tena por medio de su bote, además de brindarnos valiosa información respecto a los depósitos del Lahar Tena encontrados.*

*A todos mis compañeros de carrera que compartieron sus conocimientos por lo que me permitieron entender de una mejor forma las materias.*

*A todos los profesores de la Facultad de Geología y Petróleos que compartieron sus conocimientos, en especial a la Dra. Ana Cabero que siempre me ayudó en el proceso de las matrículas y al Dr. Pedro Reyes por su gran consejo que me dio respecto a una materia que tomé en los últimos semestres.*

*A la Ing. Marjorie Encalada por haberme permitido formar parte de su proyecto de tesis de doctorado donde pude ver lo amplio que es el campo de la geología, además de brindarme su amistad, amabilidad, confianza y siempre mostrar una actitud positiva ante toda dificultad que se le ha presentado. De todo corazón espero que te vaya bien en todos tus objetivos planteados, que no pierdas la fe y nunca te rindas.*

*A Salomé Acosta por ser la primera amiga que conocí en el Prepo, me brindó su amistad incondicional, su carisma y me hacía reír con sus ocurrencias. Espero que logres cumplir con tus metas planteadas, que sepas y recuerdes que fuiste el principal motivo por el que pude pasar el Prepo y continué estudiando en la Escuela Politécnica Nacional.*

## ÍNDICE DE CONTENIDO

CERTIFICACIÓN .....	II
DECLARACIÓN DE AUTORIA .....	III
DEDICATORIA.....	IV
AGRADECIMIENTOS .....	V
ÍNDICE DE TABLAS .....	VIII
ÍNDICE DE FIGURAS .....	IX
RESUMEN.....	XI
ABSTRACT.....	XII
CAPITULO I.....	1
1. DESCRIPCIÓN DEL COMPONENTE DESARROLLADO .....	1
1.1 Objetivo general .....	2
1.2 Objetivos específicos .....	2
1.3 Alcance .....	3
1.4 Marco teórico .....	3
1.4.1 Ubicación del lahar Tena.....	3
1.4.2 Geología local .....	4
1.4.3 Geomorfología de la zona de estudio.....	5
CAPITULO II.....	7
2. METODOLOGIA.....	7
2.1 Tipo de estudio .....	7
2.2 El ámbito y muestreo .....	7
2.3 Técnicas de investigación .....	7
2.4 Registro de información.....	12
2.5 Procesamiento de datos .....	13
2.6 Interpretación de resultados .....	13
CAPITULO III.....	14
3. RESULTADOS, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	14
3.1 Resultados .....	14
3.1.1 DESCRIPCIÓN DE LOS SITIOS MUESTREADOS.....	14
3.1.1.1 Sección estratigráfica en el río Tena – abajo del balneario Peña Colorada.....	14
3.1.1.2 Sección estratigráfica en el río Tena – balneario Las Sogas .....	15
3.1.1.3 Sección estratigráfica en el río Pano – balneario “Guinea Chimbana” .....	16

3.1.1.4	Sección estratigráfica en el río Pano – barrio San Jorge.....	17
3.1.1.5	Sección estratigráfica en el río Misahualli – barrio San Luis.....	20
3.1.1.6	Sección estratigráfica en la vía Archidona – Tena.....	20
3.1.2	Radiometría por radiocarbono de los depósitos de flujos volcánicos (Lahar Tena) 21	
3.1.3	Caracterización petrográfica y geoquímica de las muestras tomadas del lahar y de los volcanes Sumaco y Sierra Azul.....	22
	Caracterización petrográfica.....	22
3.1.3.1	Caracterización Geoquímica.....	30
3.1.4	Mapeo de la zona de ocurrencia del lahar.....	37
3.2	CONCLUSIONES .....	39
3.3	RECOMENDACIONES .....	43
	CAPITULO IV .....	44
4.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	44
	CAPITULO V .....	46
5.	ANEXOS.....	46

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1</b> Tamaños y designación de tamices según la norma ASTM-E11 (Sociedad Americana para el ensayo de materiales).....	8
<b>Tabla 2</b> Clasificación de las muestras de lahar de acuerdo con su contenido en arcillas de acuerdo con el trabajo de Msc. Patricia Mothes (Mothes, 2010) .....	8
<b>Tabla 3</b> Muestra las edades obtenidas de la radiometría realizada en los ríos Pano y Misahualli. ....	22

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Fig. 1</b> Mapa de ubicación de las paradas realizadas a lo largo de los afluentes de los ríos Misahualli, Tena y Pano.....	2
<b>Fig. 2</b> Mapa de ubicación de las paradas en donde fue evidenciado el depósito de flujo volcánico (Lahar Tena) .....	4
<b>Fig. 3</b> Gráfico de barras que muestra los porcentajes de la granulometría realizada en las 7 muestras seleccionadas.....	10
<b>Fig. 4</b> Sección estratigráfica en el río Tena, UTM: 18M 184041,78 / 9890525,04; 514 msnm.....	15
<b>Fig. 5</b> Afloramiento del Lahar Tena en el río Tena, donde se evidenció el material orgánico (troncos de árboles y restos de plantas) y los líticos volcánicos descritos. ....	15
<b>Fig. 6</b> Sección estratigráfica en el río Tena, UTM: 18M 184841,85 / 9890498,94; 493 msnm.....	16
<b>Fig. 7</b> Sección estratigráfica en el río Pano, UTM: 18M 184021,83 / 9888597,98; 508 msnm. ....	17
<b>Fig. 8</b> Afloramiento del Lahar Tena en el balneario Guinea Chimbana en vista 3D. Está expuesta una área y volumen importante, y donde se evidenció el material orgánico (troncos de árboles y restos de plantas) y los líticos volcánicos descritos.....	17
<b>Fig. 9</b> Sección estratigráfica en el río Pano, UTM: 18M 185734 / 9888733; 500 msnm.....	19
<b>Fig. 10</b> Afloramiento del Lahar Tena en el barrio San Luis de gran área, espesor y volumen, donde se evidenció el material orgánico (grandes troncos de árboles y restos de plantas) y los líticos volcánicos descritos.....	19
<b>Fig. 11</b> Sección estratigráfica en el río Misahualli, UTM: 18M 187052,81 / 9891673,98; 494 msnm. ....	20
<b>Fig. 12</b> Sección estratigráfica en la vía Archidona – Tena, UTM: 18M 186824,84 / 9892675,97; 520 msnm. ....	21
<b>Fig. 13</b> Lámina delgada de la muestra SUM-Mis_Ag21_#1, vista al microscopio (objetivo 2.5x). Se puede observar grandes cristales euhédricos de plagioclasa y cristales color verde de augita con bordes de descomposición (parte superior, LPP y XLP).....	23
<b>Fig. 14</b> Lámina delgada de la muestra SUM-Pan_Ag21_#4, vista al microscopio (objetivo 2.5x). Se puede observar cristales euhédricos de plagioclasa y grandes cristales color verde pálido de augita con bordes de descomposición (parte superior, LPP y XLP).....	24
<b>Fig. 15</b> Lámina delgada de la muestra SUM-36, vista al microscopio (objetivo 2.5x). Se puede observar cristales euhédricos de plagioclasa, cristales color azul claro e isótopos de haüyna y cristales color verde de augita con bordes de reacción (parte superior, LPP y XLP). ....	25
<b>Fig. 16</b> Lámina delgada de la muestra PANO_1, vista al microscopio (objetivo 2.5x). Se puede observar grandes cristales euhédricos de plagioclasa y grandes cristales color verde pálido de augita con bordes de reacción (parte superior, LPP y XLP). ....	26
<b>Fig. 17</b> Lámina delgada de la muestra PANO_3, vista al microscopio (objetivo 2.5x). Se puede observar cristales euhédricos de plagioclasa y cristales color verde de augita con bordes de reacción (parte superior, LPP y XLP).....	27
<b>Fig. 18</b> Lámina delgada de la muestra V. ARCHIDONA – TENA, vista al microscopio (objetivo 2.5x). Se puede observar cristales euhédricos de plagioclasa y cristales color verde de augita con bordes de reacción (parte superior, LPP y XLP). ....	28
<b>Fig. 19</b> Lámina delgada de la muestra SUM-Orit_Oct21_#10, vista al microscopio (objetivo 2.5x). Se puede observar cristales euhédricos de plagioclasa y grandes cristales color verde oliva de augita con bordes de descomposición (parte superior, LPP y XLP).....	29

<b>Fig. 20</b> Lámina delgada de la muestra SUM-PucAl-Oct21_#11, vista al microscopio (objetivo 2.5x). Se puede observar cristales euhédricos de plagioclasa y grandes cristales color verde pálido de augita con bordes de reacción (parte superior, LPP y XLP). .....	30
<b>Fig. 21</b> Diagrama de elementos mayores (Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , Na <sub>2</sub> O, K <sub>2</sub> O, P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ) con respecto al SiO <sub>2</sub> . .....	32
<b>Fig. 22</b> Diagrama total de Alkali Silica (TAS) (Le Bass et al., 1986) que muestra el grupo de las rocas del Lahar Tena, del volcán Sumaco y volcán Sierra Azul. ....	33
<b>Fig. 23</b> Diagrama SiO <sub>2</sub> – K <sub>2</sub> O (Peccerillo and Taylor 1976). Se indica las rocas del Sumaco que pertenecen a la serie shoshonítica comparadas con las rocas del Lahar Tena y el volcán Sierra Azul. ....	34
<b>Fig. 24</b> Diagrama Spider de los elementos traza tanto para las rocas de las muestras del volcán Sumaco como para las rocas del Lahar Tena y Sierra Azul normalizados a la composición del manto primitivo (Sun & McDonough, 1989). .....	35
<b>Fig. 25</b> Diagrama de elementos traza (Cr, Ni, Rb, Sr, Zr, Ba, Nb, Ce, Th, U) con respecto al SiO <sub>2</sub> . .....	37
<b>Fig. 26</b> Mapeo del Lahar Tena, donde se muestran los puntos donde fue evidenciado el depósito del lahar. ....	38
<b>Fig. 27</b> Perfil longitudinal Cotundo – Archidona (aproximadamente a 8 km de distancia) .....	42
<b>Fig. 28</b> Perfil longitudinal Archidona – Tena (más de 9 km de distancia) .....	43
<b>Fig. 29</b> Bomba volcánica encontrada en el río Pano en el balneario Guinea Chimbana. ....	53
<b>Fig. 30</b> Bomba volcánica encontrada en la matriz del Lahar Tena en la vía Archidona – Tena. ....	53
<b>Fig. 31</b> Bomba volcánica encontrada en la matriz del Lahar Tena en el barrio San Jorge en el río Pano... ..	54
<b>Fig. 32</b> Bomba volcánica con textura corteza de pan encontrada en la matriz del Lahar Tena en las orillas del río Misahualli. ....	55

## RESUMEN

Los lahares son flujos densos que se movilizan por gravedad por los drenajes de un volcán y consisten en una mezcla de agua (fase líquida) y de materiales volcánicos sueltos (fase sólida) como grandes rocas, arena, ceniza e incluso troncos de árboles que pueden ser arrastrados por el flujo. Los materiales volcánicos pueden provenir de una erupción en curso y/o depósitos dejados por erupciones anteriores, mientras que el agua puede ser originada directamente de la fusión parcial del casquete glaciar durante la erupción o de lluvias intensas sobre el volcán. La magnitud y el potencial destructivo de estos flujos dependen del volumen contenido en las dos fases, así como del tamaño de las partículas sólidas que pueden variar entre arena fina y rocas de algunos metros de diámetro. En este documento se realizará el mapeo, las descripciones de la estratigrafía y litología del lahar “Tena” encontrado a lo largo del cauce de los ríos Misahualli, Pano y Tena, la comparación con la geoquímica tanto de elementos mayores como de elementos traza de las bombas juveniles extraídas del lahar con los datos de la geoquímica de posibles volcanes padres (volcán Sumaco y Sierra Azul), la determinación de la posible fuente volcánica del lahar, la determinación de la edad del lahar encontrado mediante análisis radiométricos del material orgánico extraído de la matriz del lahar y la realización del estudio de las láminas delgadas de las bombas y rocas volcánicas para conocer sus texturas y composiciones mineralógicas.

**Palabras clave:** lahar, geoquímica, bombas juveniles.

## **ABSTRACT**

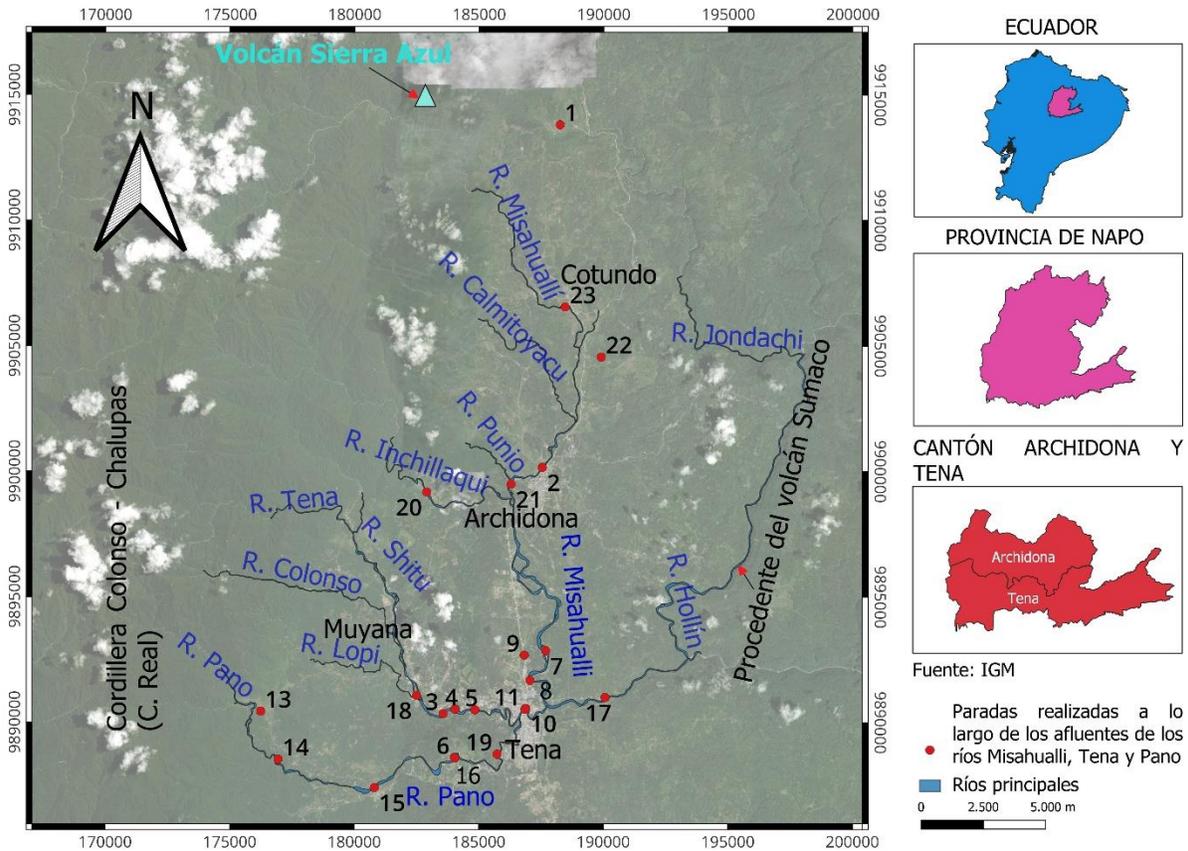
Lahars are dense flows that move by gravity down the quebradas of a volcano and consist of a mixture of water (liquid phase) and loose volcanic materials (solid phase) such as large rocks, sand, ash and even tree trunks that can be dragged by the flow. Volcanic materials may come from an ongoing eruption and/or previous eruptions, while water may originate directly from partial melting of the ice cap during the eruption or from heavy rainfall over the volcano. The magnitude and destructive potential of these flows depends on the volume contained in the two phases, as well as the size of the solid particles that can vary between fine sand and rocks of a few meters in diameter. In this document the mapping, the descriptions of the stratigraphy and lithology of the lahar "Tena" found along the beds of the Misahualli, Pano and Tena rivers, the comparison with the geochemistry of both major elements and trace elements of the juvenile bombs extracted from the lahar with the geochemical data of possible parent volcanoes (Sumaco and Sierra Azul volcanos) is carried out. The determination of the possible volcanic source of the Lahar, the determination of the age of the lahar by radiometric analysis of the organic material extracted from the lahar matrix, and the study of thin sections and related rocks to know their textures and mineralogical compositions and correlations, were all undertaken.

**Keywords:** lahar, geochemistry, juvenile bombs.

## CAPITULO I

### 1. DESCRIPCIÓN DEL COMPONENTE DESARROLLADO

Con el fin de determinar el origen y la caracterización del Lahar Tena, se realizó el mapeo y descripciones de la estratigrafía y litología del lahar a lo largo del cauce de los ríos Misahualli, Pano y Tena. Partiendo de la hipótesis de que el lahar habría bajado por el drenaje del río Misahualli, se decidió comprobar que el lahar no bajó por los ríos Pano y Tena, pese a que existen presencia de gruesos depósitos de flujos volcánicos. Se hizo un trabajo sistemático en campo a lo largo de los afluentes de ambos ríos en las paradas (parada del río Pano, balneario “Puka Urco”, puente del río Pano, balneario “Familia Bueno”, barrio Ongota, Muyana) ubicadas en el mapa (**Fig. 1; ANEXO I**); luego se realizó el mismo trabajo sistemático en los afluentes del río Misahualli en las paradas (barrio “la Libertad”, S de Archidona y barrio Calmitoyacu) (**Fig. 1**). Tampoco se encontró evidencia del lahar; por último, por el drenaje del río Misahualli en el balneario de Cotundo se evidenció una cantidad significativa de líticos volcánicos (+/- 30%) por lo que se podría corroborar que muy probablemente el lahar habría descendido por este río que nace desde la cordillera Oriental, flanco oriental, en donde posiblemente se encuentre el volcán que produjo el Lahar Tena. Se realizó la comparación con la geoquímica de las bombas juveniles extraídas del lahar y datos de la geoquímica de posibles volcanes padres como el volcán Sumaco y además el volcán Sierra Azul para determinar la fuente volcánica del lahar; información sustentada por el estudio de láminas delgadas de las bombas y rocas volcánicas para conocer sus texturas y composiciones mineralógicas. Vale mencionar que la química de algunas de las rocas del volcán Sumaco y las obtenidas del lahar Tena tienen similaridad mineralógica.



**Fig. 1** Mapa de ubicación de las paradas realizadas a lo largo de los afluentes de los ríos Misahualli, Tena y Pano.

### 1.1 Objetivo general

- Determinar el origen y las características de un depósito de flujo volcánico asignado como “Lahar Tena” ubicado en la ciudad de Tena y en los drenajes de los ríos Misahualli, Tena y Pano.

### 1.2 Objetivos específicos

- Identificar el posible evento geológico que produjo el lahar que aflora en la ciudad de Tena, el cual presentaba un espesor considerablemente alto y cantidades significativas de material fino (arcillas y limos).
- Conocer si en un futuro otro lahar con las características similares del Lahar Tena pueda ocurrir afectando a toda la población e infraestructura de la ciudad de Tena.

- Comparar las muestras de rocas encontradas en el Lahar Tena mediante análisis geoquímicos con las muestras de roca del volcán Sumaco y el volcán Sierra Azul, de tal manera corroborar que el lahar no fue provocado por la actividad volcánica del volcán Sumaco.

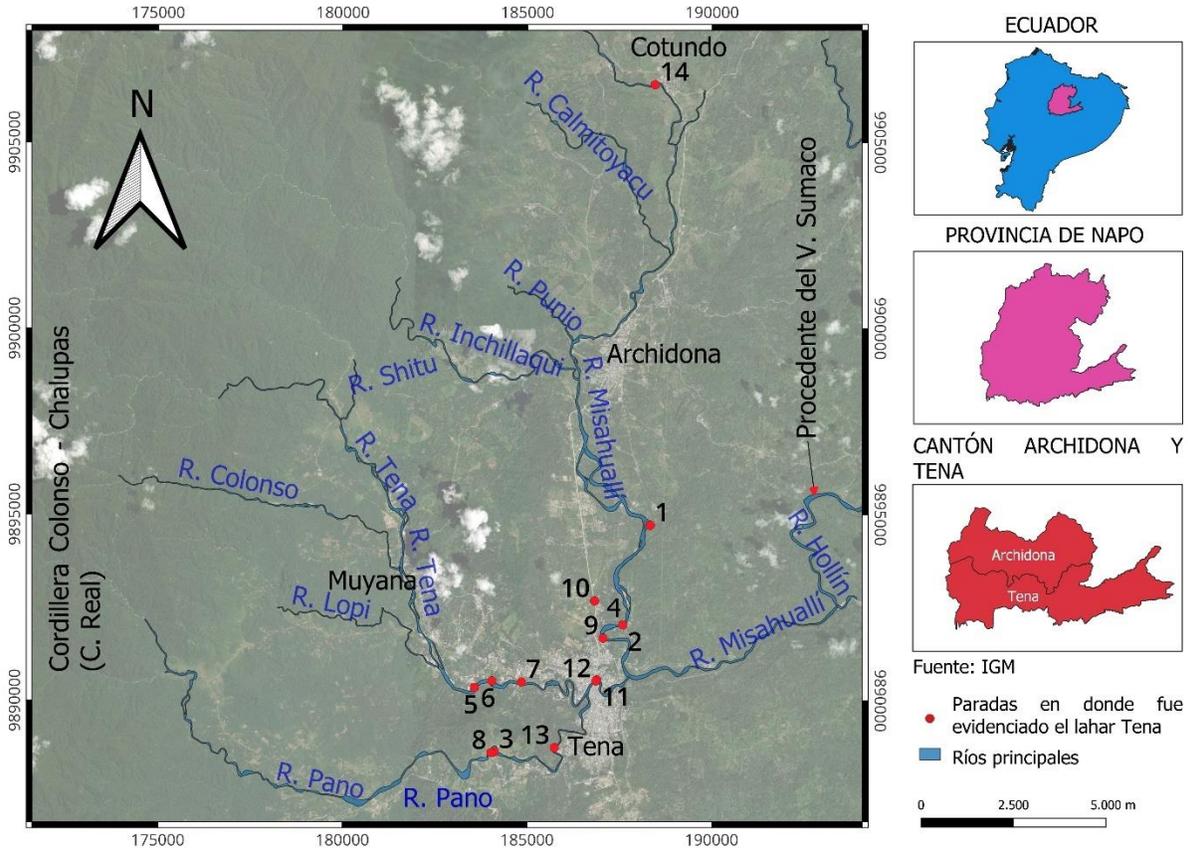
### 1.3 Alcance

El proyecto incluye realizar el mapeo a una escala de 1:25000 del depósito lahárico “Tena”, basado en trabajos de campo a lo largo del río Misahualli y sus afluentes, hasta la unión con los ríos Pano y Tena ubicados en la ciudad del Tena. Realizar la descripción de los componentes más destacables en los cortes del Lahar “Tena” con un control de las capas superiores e inferiores del depósito que nos permitirá distinguirlo y seguirlo únicamente a este depósito (Lahar Tena) y no a otros depósitos de lahares o coluviales que pudieran estar presentes. Utilizando los análisis geoquímicos de las bombas volcánicas radiales extraídas del lahar se contempló comparar con datos geoquímicos de posibles “volcanes padres”, dado que todavía no se sabe de qué volcán se dio el origen del Lahar Tena. Sin embargo, las rocas se vieron muy similares a las rocas del volcán Sumaco y en cierta manera al volcán Sierra Azul. Adicionalmente, se realizó un estudio petrográfico usando láminas delgadas de estos productos juveniles con la finalidad de conocer sus características mineralógicas y se efectuó la realización de estudios radiométricos por medio del material orgánico encontrado en el lahar con el objetivo de determinar la edad en la cual ocurrió la actividad volcánica que produjo el Lahar Tena.

### 1.4 Marco teórico

#### 1.4.1 Ubicación del lahar Tena

Para el estudio del lahar se delimito una zona de interés correspondientes a las orillas de los ríos Pano, Tena, Misahualli con puntos estratégicos ubicados en las paradas (**río Pano** – W de Tena, **río Misahualli** – N de Tena, **río Tena** – abajo del balneario “Peña Colorada”, **río Tena** – balneario “Las Sogas”, **río Pano** – balneario “Guinea Chimbana”, **río Misahualli** – barrio san Luis, **río Tena** – ciudad del Tena, **río Pano** – barrio San Jorge) y también se consideró para el estudio un punto de muestreo en la vía Archidona – Tena, localizados en la ciudad del Tena, provincia de Napo en la parte oriental del Ecuador (**Fig. 2; ANEXO I**). Es importante manifestar que los drenajes de los ríos Misahualli, Pano y Tena son completamente distintos al sistema de drenaje del río Hollín que sale por la parte sur del volcán Sumaco y transcurre por un cañón profundo y aislado.



**Fig. 2** Mapa de ubicación de las paradas en donde fue evidenciado el depósito de flujo volcánico (Lahar Tena)

### 1.4.2 Geología local

La geología local de la zona de estudio está comprendida de: (1) La Cordillera Real, de composición metamórfica (Apsden and Litherland, 1995) y que contribuye a abundantes depósitos aluviales al pie de la cordillera, (2) el abanico del río Tena por la presencia de materiales depositados en terrazas de origen aluvial parcialmente consolidadas, formados por el arrastre del material granítico, desbordamientos y cambios de curso del río, (3) en los afluentes del río Pano por la presencia de materiales depositados en abanicos aluviales producto de fuertes lluvias o actividad sísmica, formados por el arrastre de roca del basamento, deslizamientos y cambios de curso de ríos, (4) en el río Inchiagua conformado por materiales depositados en terrazas de origen aluvial pobremente consolidadas y (5) en el río Misahualli también por la presencia de materiales depositados en terrazas de origen aluvial parcialmente consolidadas.

Las terrazas aluviales del río Tena están compuestas de gravas, cantos rodados, areniscas, conglomerados, bloques de roca de hasta 90 cm de diámetro y material granítico que también estaba presente en los sedimentos laharíticos encontrados a las orillas del río. Los abanicos aluviales en los afluentes del río Pano están compuestos de gravas, cantos rodados, areniscas, conglomerados y material granítico de distintos tamaños (1cm – 30cm) mayoritariamente subangulosos provenientes de la cordillera Oriental que se encuentra en la parte occidental de la ciudad del Tena. Las terrazas aluviales del río Pano están compuestas de gravas, cantos rodados, areniscas, conglomerados, lutitas (Napo shale), bloques de roca (granitoides y andesitas) de hasta 1m de diámetro y material granítico las cuales estaban presentes en el material laharítico observado en las orillas del río. Las terrazas aluviales del río Inchillaqui están compuestas de gravas, cantos rodados, areniscas, conglomerados y bloques de roca (andesitas de tonalidades claras y rocas ígneas) superiores a 1m de diámetro arrastrados por el caudal del río. Las terrazas aluviales del río Misahualli están compuestas de gravas, cantos rodados, areniscas, conglomerados, líticos volcánicos y bloques de roca (andesitas de tonalidades oscuras, granitoides, rocas ígneas) superiores a 2m de diámetro arrastrados por el río debido al alto caudal que presenta.

### **1.4.3 Geomorfología de la zona de estudio**

La ciudad del Tena se encuentra a 510 m sobre el nivel del mar y está limitada al norte por la Cordillera de los Guacamayos, al ser esta ciudad el punto donde confluyen los 3 ríos: el río Misahualli, río Pano y río Tena, en la parte oriental del malecón de Tena. El río Misahualli nace de la Cordillera Real y desemboca en el río Napo, recorre a lo largo de la provincia de Napo, pasando por el cantón Archidona y por su capital Tena. Durante el verano el río puede llegar a medir 20 m de ancho y en épocas lluviosas duplica este tamaño, su profundidad promedio es de 1.50 metros y dentro del río se pueden apreciar gran cantidad de rocas de tamaños considerables. El río Tena nace de varios afluentes como los ríos Shitu, Colonso y Lopi que nacen de la cordillera Colonso – Chalupas (Oriental) y desemboca en el río Misahualli al este de la ciudad de Tena. Durante el verano el río puede llegar a medir 15 m de ancho y en épocas lluviosas duplica este tamaño, su profundidad promedio es de más de 2.50 metros y dentro del río se pueden apreciar gran cantidad de rocas. El río Pano nace igualmente de la Cordillera Colonso – Chalupas y desemboca en el río Tena al oeste de la ciudad de Tena. En ciertas partes puede llegar a ser meándrico formando algunas zonas con altas cantidades de arenas, gravas y material característico del río y durante el verano el río puede llegar a medir 13 m de ancho y en épocas

lluvias duplica este tamaño, su profundidad promedio es de más de 2 metros y dentro del río se pueden apreciar gran cantidad de rocas de gran tamaño.

## CAPITULO II

### 2. METODOLOGIA.

#### 2.1 Tipo de estudio

El trabajo de integración curricular desarrollado es de carácter descriptivo, que se apoya en técnicas de investigación bibliográfica y de campo que permite el desarrollo y la especificación del mismo. Toda la información recolectada otorga los fundamentos necesarios para el desarrollo del trabajo, siendo necesarias la ubicación del área de estudio, la determinación de los aportes de los diferentes drenajes, las secciones estratigráficas realizadas, las características geoquímicas y petrográficas, la determinación de la edad de ocurrencia del lahar y la hipótesis sobre la formación de este lahar y de que volcán vino.

#### 2.2 El ámbito y muestreo

El ámbito que se considera para el presente proyecto, son todos los depósitos de flujos volcánicos encontrados en los ríos ya mencionados que se unen en la ciudad de Tena, provincia de Napo, Ecuador. Se hizo una búsqueda y muestreo a lo largo del río Misahualli, en la ciudad de Tena y una pequeña parte en la ciudad de Archidona, lugares donde se realizaron todo el trabajo sistemático en campo.

#### 2.3 Técnicas de investigación

Con el objetivo de realizar un correcto estudio del lahar, fue necesario determinar en las muestras del Lahar Tena: los porcentajes en finos, arenas y gravas presentes en el depósito; obtener análisis de los elementos mayores y elementos traza presentes en las muestras de roca para diferenciarlos de las del volcán Sumaco y Sierra Azul; obtener la edad correspondiente en la cual ocurrió el evento volcánico que produjo el lahar; el contenido y características del mineral de las rocas extraídas del lahar por medio de la realización de láminas delgadas en laboratorio para posteriormente analizarlas.

##### ▪ GRANULOMETRIA

Mediante el ensayo granulométrico se busca medir la cantidad de material que pasa por un determinado tamiz, con el objetivo de clasificar el tipo de matriz del lahar en base a su tamaño de partículas.

Este ensayo se realizó según la norma ASTM E-11 (Sociedad Americana para el Ensayo de Materiales). Antes de que pase por el tamiz debido a la cantidad de agua que contenía

la muestra del lahar, se le colocó en el horno a unos 100°C para que se sequen las muestras y de tal forma se realice el tamizado en seco.

Al realizar este ensayo de laboratorio los sedimentos pasan por tamices graduados según las normas ASTM E-11 los cuales se detallan en la **Tabla 1**

**Tabla 1** Tamaños y designación de tamices según la norma ASTM-E11 (Sociedad Americana para el ensayo de materiales)

Tamaños y designación de tamices		
Número o tamaño del tamiz	Apertura del tamiz	
	Estándar (mm.)	Alternativo (in.)
Serie finas		
No. 10	2,00 mm	0,0787
No. 16	1,18 mm	0,0469
No. 35	500 µm	0,0197
No. 230	63 µm	0,0025
No. 325	45 µm	0,0017

Con los datos obtenidos del análisis granulométrico, se clasificó al lahar de acuerdo con el porcentaje que presentaba de arcillas y limos que se encuentran en la siguiente **Tabla 2**. En la tabla se observa que la mayoría de las muestras del Lahar Tena se han clasificado como de tipo cohesivo, que son cuando contiene sedimentos del tamaño de arcillas entre el 3% - 5% o más, pero estos sedimentos no son parte de la actividad volcánica sino de lo que se fue erosionando durante el tránsito del Lahar Tena. También, se tiene algunas muestras clasificadas de tipo no cohesivo, que son cuando contiene sedimentos del tamaño de arcillas < 3% (Scott, K., Vallance, J., & Pringle, P. 1995)

**Tabla 2** Clasificación de las muestras de lahar de acuerdo con su contenido en arcillas de acuerdo con el trabajo de Msc. Patricia Mothes (Mothes, 2010)

1. Muestra del Lahar Tena en el balneario Guinea Chimbana - Río Pano (UTM 18M 184021.83 / 9888597.98, 508 msnm)				
Finos (< 0,063mm)				%
<b>Limos (&lt; 0,063 mm - 0,004 mm)</b>	%	<b>Arcillas (&lt;0,004 mm)</b>	%	14%
113,86 g	7%	97,97 g	6%	

Arenas (0,063 - 2 mm)	%	Gravas (> 2mm)	%	TOTAL
874,06 g	57%	453,2 g	29%	100%
<b>Total</b>	1539,09 g			
<b>TIPO DE LAHAR:</b> Cohesivo (3 - 5% de arcillas)				

2. Muestra del Lahar Tena en el barrio San Jorge - Río Pano (UTM 18M 185734 / 9888733, 500 msnm)				
Finos (< 0,063mm)				%
Limos (< 0,063 mm - 0,004 mm)	%	Arcillas (<0,004 mm)	%	8%
90,66 g	6%	31,95 g	2%	
Arenas (0,063 - 2 mm)	%	Gravas (> 2mm)	%	TOTAL
998,48 g	63%	454,22 g	29%	100%
<b>Total</b>	1575,31 g			
<b>TIPO DE LAHAR:</b> No cohesivo (<3% de arcillas)				

3. Muestra del Lahar Tena - Vía Archidona - Tena (UTM 18M 186824.84 / 9892675.97, 520 msnm)				
Finos (< 0,063mm)				%
Limos (< 0,063 mm - 0,004)	%	Arcillas (<0,004 mm)	%	7%
77,28 g	6%	20,82 g	1,5%	
Arenas (0,063 - 2 mm)	%	Gravas (> 2mm)	%	TOTAL
940,29 g	67%	363,21 g	26%	100%
<b>Total</b>	1401,6 g			
<b>TIPO DE LAHAR:</b> No cohesivo (<3% de arcillas)				

4. Muestra del Lahar Tena en el barrio San Luis - Río Misahualli (UTM 18M 187052.81 / 9891673.98, 494 msnm)				
Finos (< 0,063mm)				%
Limos (< 0,063 mm - 0,004)	%	Arcillas (<0,004 mm)	%	13%
103,8 g	7%	82,53 g	6%	
Arenas (0,063 - 2 mm)	%	Gravas (> 2mm)	%	TOTAL
761,27 g	51%	534,83 g	36%	100%
<b>Total</b>	1482,43 g			
<b>TIPO DE LAHAR:</b> Cohesivo (3 - 5% de arcillas)				

5. Muestra del Lahar Tena en ciudad del Tena lado norte - Río Tena (UTM 18M 186883.77 / 9890556.01, 519 msnm)				
Finos (< 0,063mm)				%
Limos (< 0,063 mm - 0,004 mm)	%	Arcillas (<0,004 mm)	%	8%
92,18 g	6%	31,46 g	2%	
Arenas (0,063 - 2 mm)	%	Gravas (> 2mm)	%	TOTAL
648,45 g	43%	743,54 g	49%	100%
<b>Total</b>	1515,63 g			

**TIPO DE LAHAR:** No cohesivo (<3% de arcillas)

6. Muestra del Lahar Tena abajo del balneario Peña Colorada - Río Tena (UTM 18M 184041.78 / 9890525.04, 514 msnm)				
Finos (< 0,063mm)				%
<b>Limos (&lt; 0,063 mm - 0,004 mm)</b>	%	<b>Arcillas (&lt;0,004 mm)</b>	%	8%
45,71 g	6%	19,72 g	3%	
<b>Arenas (0,063 - 2 mm)</b>	%	<b>Gravas (&gt; 2mm)</b>	%	<b>TOTAL</b>
402,24 g	52%	304,73 g	39%	100%
<b>Total</b>	772,4 g			

**TIPO DE LAHAR:** Cohesivo (3 - 5% de arcillas)

7. Muestra del Lahar Tena abajo del balneario Peña Colorada - Río Tena (UTM 18M 184041.78 / 9890525.04, 514 msnm)				
Finos (< 0,063mm)				%
<b>Limos (&lt; 0,063 mm - 0,004 mm)</b>	%	<b>Arcillas (&lt;0,004 mm)</b>	%	7%
28,42 g	3%	31,8 g	3%	
<b>Arenas (0,063 - 2 mm)</b>	%	<b>Gravas (&gt; 2mm)</b>	%	<b>TOTAL</b>
620,42 g	67%	239,22 g	26%	100%
<b>Total</b>	919,86 g			

**TIPO DE LAHAR:** Cohesivo (3 - 5% de arcillas)

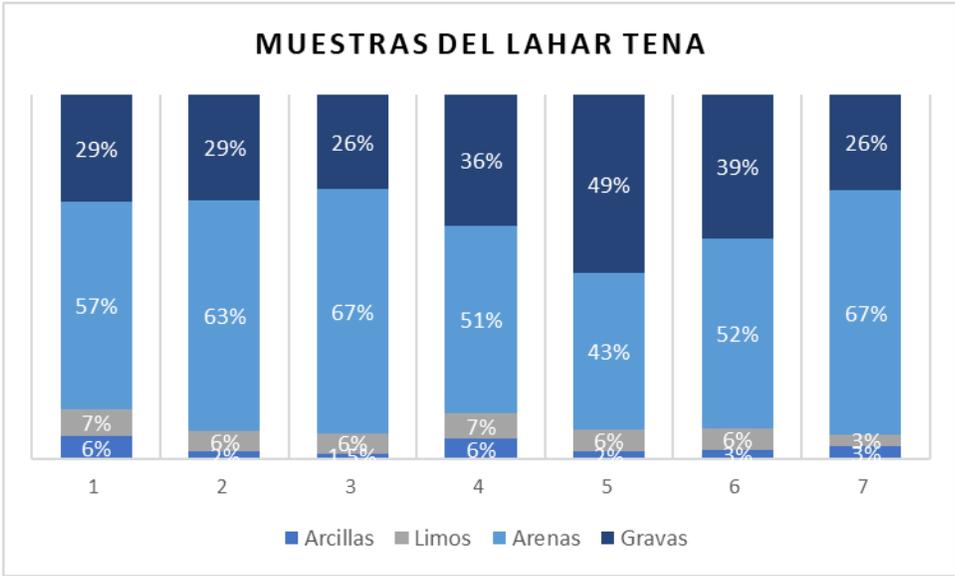


Fig. 3 Gráfico de barras que muestra los porcentajes de la granulometría realizada en las 7 muestras seleccionadas.

▪ **ANÁLISIS GEOQUIMICO**

Mediante los análisis geoquímicos se busca medir el contenido de elementos mayores y elementos traza que presenta una muestra; Existen varios métodos analíticos como: absorción de fotones luminosos (AAS), emisión de fotones luminosos (ICP), fluorescencia de rayos x (XRF), espectrometría de masas (MS), ablación láser (LAM – ICP – MS), analizador iónico (IM - SHRIMP), espectrometría de masas por acelerador (AMS), sonda nuclear y activación neutrónica (INAA).

**Fluorescencia de rayos X (XRF):** Esta técnica se basa en la excitación de una muestra por rayos X. Los rayos X primarios excitan rayos X secundarios (fluorescencia de rayos X) que tienen longitudes de onda características para el elemento presente en la muestra. La intensidad de los rayos X secundarios se utiliza para estimar la concentración del elemento, comparándola con la de un estándar de composición química conocida. En este caso, la materia analizada está en forma de polvo prensado para los elementos traza o como perla fundida con metaborato de litio para el análisis de los elementos mayores. Esta técnica está altamente automatizada y permite análisis de gran precisión en elementos mayores y numerosos elementos traza. Para realizar los análisis geoquímicos de las muestras del Lahar Tena se usó este método analítico debido a su precisión y versatilidad en la obtención de elementos mayores y elementos traza.

En este estudio se analizaron e interpretaron únicamente las 7 muestras del depósito de flujo volcánico, mientras que las otras muestras de roca de los volcanes Sumaco y Sierra Azul fueron proporcionadas por la Msc. Patricia Mothes. El resultado de los análisis geoquímicos de roca total para las muestras del Lahar Tena se muestra en el Anexo V.

#### ▪ **RADIOMETRÍA POR RADIOCARBONO**

La radiometría por radiocarbono es uno de los métodos más utilizados para comprender la edad de los materiales orgánicos y se usa ampliamente para reconstruir la edad de varios tipos de materiales que contienen carbono (Jull, 2013b). La preparación de muestras implica una cantidad sustancial de productos químicos de pretratamiento (Jull y Burr, 2014a). La aplicación de los isótopos de carbono se ilustra mediante estudios de casos seleccionados que muestran la interpretación de la datación por radiocarbono fraccionada y el valor agregado de los datos de  $\delta^{13}\text{C}$ . Para conocer la edad de ocurrencia del Lahar Tena se usó este método debido a la cantidad de material orgánico que presentaba el depósito de flujo volcánico encontrado. Se analizó 2 muestras: una del flujo lahárico Tena encontrado en el

depósito en las orillas del río Misahualli y la otra del lahar en el río Pano. Las edades salen esencialmente iguales y se presenta los resultados en la **(Tabla 3)**.

#### ▪ **LÁMINAS DELGADAS**

Se recolectaron algunas muestras de roca del depósito de flujo volcánico encontrado en los ríos Pano, Misahualli y en la vía Archidona – Tena.

La preparación de las muestras se realizó en el laboratorio de láminas delgadas de la Facultad de Ingeniería en Geología y Petróleos de la Escuela Politécnica Nacional con los siguientes pasos:

- a) Selección de la muestra de roca.
- b) Cortar la muestra con dimensiones de 25 × 70 mm.
- c) Ya cortada la muestra del tamaño indicado se procede a pegar una de las caras con epoxi sobre un portaobjetos.
- d) Se procede a pulir una de las caras con la máquina pulidora.
- e) Luego de eliminar las huellas del disco de la cara pulida, se sigue puliendo con la máquina desbastadora con las lijas de carburo de silicio de 400 grits, 600 grits, 1200 grits y 2500 grits. La cara pulida debe presentar un acabado brillante uniforme para evitar las burbujas.
- f) Después se pega la cara pulida con epoxi en una lámina petrográfica pulida.
- g) Una vez endurecida la muestra se procede a cortar la parte de la cara pulida con un espesor de aproximadamente de 1 mm
- h) Se rebaja la muestra hasta aproximadamente 30 micras de espesor en la máquina pulidora.
- i) Ya lijada la muestra hasta ese espesor, se rebaja a mano para brindarle un acabado final a la lámina delgada con los pulimentos de carburo de silicio de 400 grits, 800 grits y 1200 grits.
- j) Por último, ya alcanzado el espesor anhelado cubrir la lámina delgada con bálsamo de Canadá.

#### **2.4 Registro de información**

Toda la información del proyecto que fue recopilada en el campo es necesaria y significativa para el desarrollo del mismo.

La topografía de la zona de estudio fue examinada y analizada mediante los mapas topográficos publicados por el IGM como los de: Río Jondachi (1:25000), La Merced de Jondachi (1:25000), Río Misahualli (1:25000), Chontayacu (1:25000), Archidona (1:25000), Tena (1:25000), Puerto Napo (1:50000), Tena (1:50000), Puyo (1:50000); los puntos tomados por GPS de mano, marca Garmin, fueron almacenados en una hoja de cálculo, la información adicional fue recopilada en una libreta de campo, además se usaron equipos electrónicos como celular y cámara para la toma de fotografías del sector.

## **2.5 Procesamiento de datos**

Para el procesamiento de datos, las muestras tomadas en campo fueron llevadas al laboratorio de la Facultad de Geología y Petróleos para realizar análisis de granulometría y realización de láminas delgadas. También, muestras de roca fueron enviadas al GeoAnalytical Laboratory de la Universidad Estatal de Washington – Pullman, EE. UU para la realización de estudios geoquímicos; al Beta Analytic Inc. de Miami, Florida, EE. UU y al Radiocarbon Dating Service de North Creek Parkway North, EE. UU para estudios de radiometría por radiocarbono. Además, se usó el programa QGIS para el mapeo del lahar a lo largo de la ciudad de Tena en donde se encuentra ubicado el lahar y el programa R para la calibración de edades que fueron dadas en años de radiocarbono del material orgánico sacado de las muestras del Lahar Tena específicamente en los ríos Misahualli y Pano. Para la presentación de los datos geoquímicos se utilizó el software de acceso libre GCDkit. versión 6.0 que corre bajo el programa R, versión – 3.6.0.

## **2.6 Interpretación de resultados**

La interpretación de resultados se la realizó durante el desarrollo del proyecto de integración curricular particularmente las observaciones en el campo, mediciones, ensayos y análisis de muestras, con los resultados obtenidos se interpretará para obtener una idea más compleja acerca del origen y las características del depósito de flujo volcánico (lahar) observado.

Con los resultados de laboratorios de las muestras, se procedieron a realizar comparaciones respecto a los datos obtenidos de los volcanes Sumaco y Sierra Azul, toda esta información parte de trabajos previos realizados y también obtenidos de documentos que sirven de soporte bibliográfico.

Por último, para la realización de las secciones estratigráficas en los puntos en los que fue observado el lahar se utilizó el programa AutoCAD, en donde mediante la escala se logró una medición correcta de los espesores de las capas.

## CAPITULO III

### 3. RESULTADOS, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 3.1 Resultados

##### 3.1.1 DESCRIPCIÓN DE LOS SITIOS MUESTREADOS

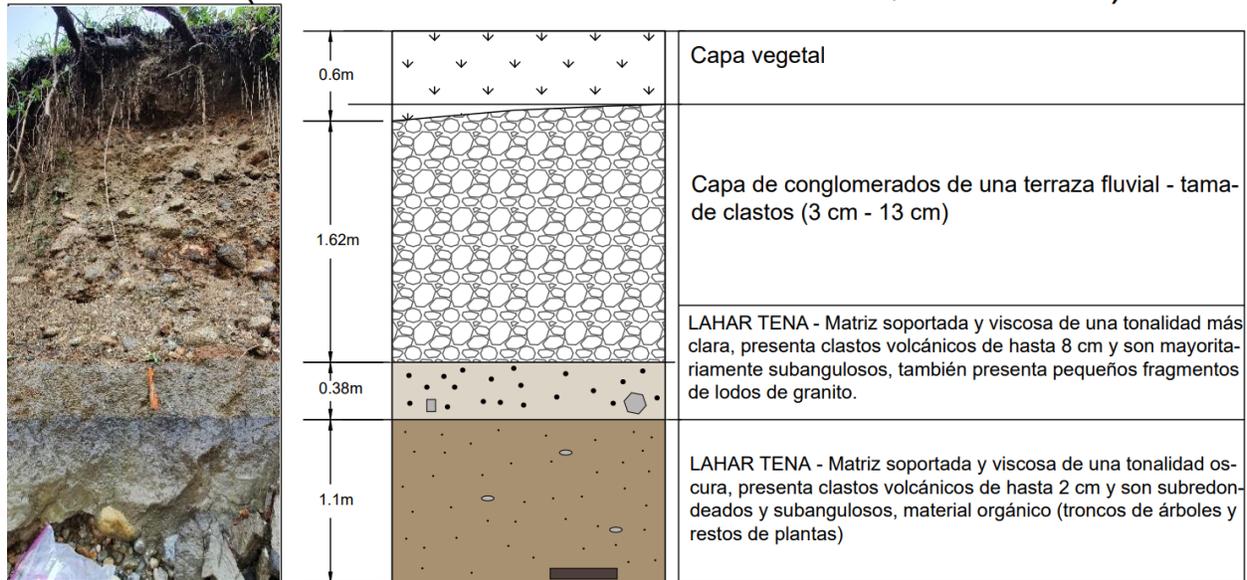
###### 3.1.1.1 Sección estratigráfica en el río Tena – abajo del balneario Peña Colorada

La primera sección estratigráfica se elaboró en las orillas del río Tena. Este sector se encuentra principalmente a una distancia de más 500 metros río abajo del balneario Peña Colorada. Sus coordenadas (UTM) son 18M 184041,78 / 9890525,04; 514 msnm.

En esta sección se identificó 2 depósitos de flujo volcánico y una capa de conglomerados de la terraza fluvial (**Fig. 4**)

La sección comienza con un depósito de flujo volcánico (Lahar Tena) de 1.10 m, el cual presenta una matriz soportada y viscosa, con presencia de clastos volcánicos que son mayoritariamente subredondeados y contiene una cantidad considerable de material orgánico que eran grandes troncos de árboles y restos de plantas (**Fig. 5**). La siguiente capa que sobreyace al primer depósito con un contacto concordante presenta un depósito de flujo volcánico (lahar) de 0.38 m, el cual presenta igualmente una matriz soportada de una tonalidad más clara y es viscosa, con presencia de menor cantidad de clastos volcánicos (andesitas, andesitas basálticas) que son subredondeados y subangulosos; a diferencia del otro depósito no presenta material orgánico y tiene mayor aporte de arenas y clastos graníticos. Por último, la siguiente capa que es conglomerada y es mayormente compuesta de cantos / clastos de granito debido a la actividad fluvial del río Tena. En esta zona se tomó muestras para la realización de la granulometría en laboratorio.

## Sección estratigráfica abajo del balneario Peña Colorada - Río Tena (UTM: 18S 184041.78/9890525.04; 514 msnm)



**Fig. 4** Sección estratigráfica en el río Tena, UTM: 18M 184041,78 / 9890525,04; 514 msnm.



**Fig. 5** Afloramiento del Lahar Tena en el río Tena, donde se evidenció el material orgánico (troncos de árboles y restos de plantas) y los líticos volcánicos descritos.

### 3.1.1.2 Sección estratigráfica en el río Tena – balneario Las Sogas

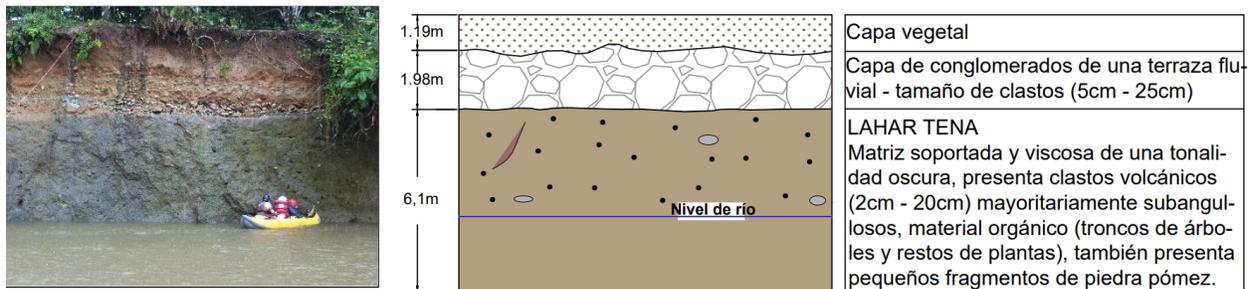
Esta sección estratigráfica se elaboró en las orillas del río Tena, este sector se encuentra principalmente en el balneario Las Sogas en la parte occidental de Tena. Sus coordenadas (UTM) son 18M 184841,85 / 9890498,94; 493 msnm.

En esta sección se identificó un sólo depósito de flujo volcánico y una capa sobreyacente de conglomerados de la terraza fluvial (**Fig. 6**)

La sección comienza con un gran depósito de flujo volcánico (Lahar Tena) de 6.10 m espesor, el cual presenta una matriz soportada y viscosa de una tonalidad oscura, con la presencia de clastos volcánicos (2 cm – 20 cm) mayoritariamente subangulosos, con pequeños fragmentos de

pedra pómez y contiene una cantidad considerable de material orgánico como troncos de árboles y restos de plantas. Por último, la siguiente capa superior presenta conglomerados depositados debido a la actividad fluvial del río Tena.

### Sección estratigráfica en el balneario Las Sogas - Río Tena (UTM: 18S 184841.85 / 9890498.94; 493 msnm)



**Fig. 6** Sección estratigráfica en el río Tena, UTM: 18M 184841,85 / 9890498,94; 493 msnm.

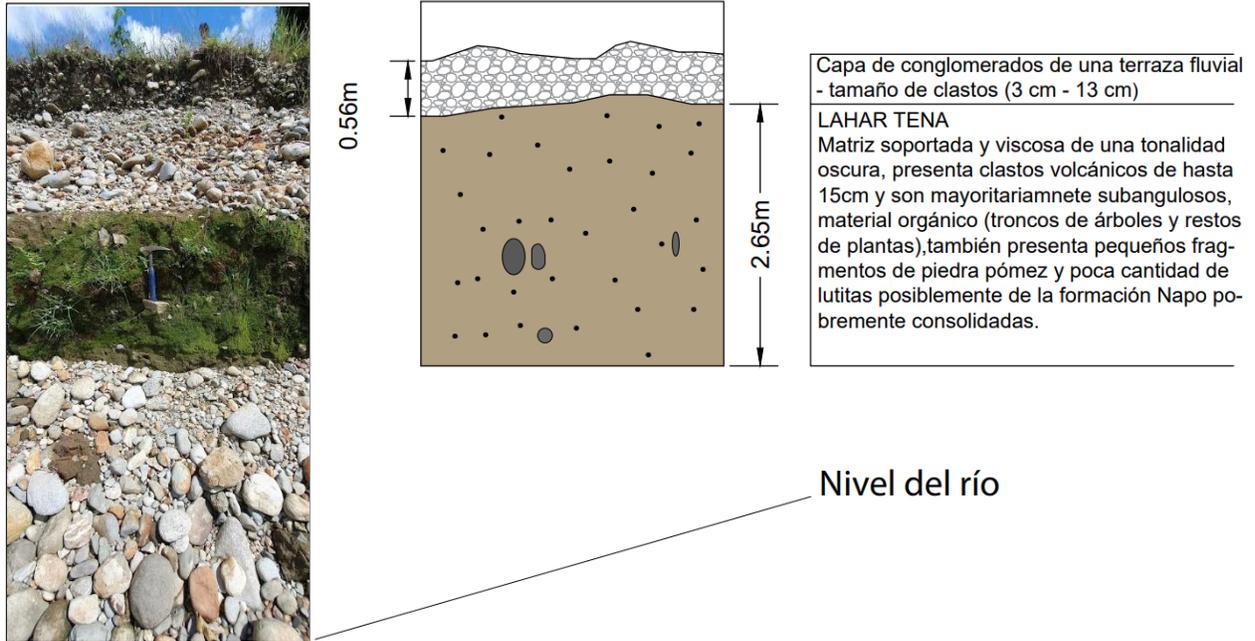
#### 3.1.1.3 Sección estratigráfica en el río Pano – balneario “Guinea Chimbana”

Esta sección se encuentra en el balneario de “Guinea Chimbana”. Sus coordenadas (UTM) son 18M 184021,83 / 9888597,98; 508 msnm a unos 6 km aguas arriba de Tena, cercana al recinto de Pano.

En esta sección se identificó un solo depósito de flujo volcánico de un espesor considerablemente alto (**Fig. 7**)

La sección presenta un depósito de flujo volcánico de un espesor de hasta 3m, el cual presenta una matriz soportada, viscosa con pequeños fragmentos de pómez y de lutitas consolidadas (Napo shale) y no consolidadas como arcillas, también presenta grandes clastos volcánicos como basaltos (vesiculares y olivínicos), bombas basálticas (**ANEXO III**), tefritas y andesitas basálticas mayoritariamente subangulosos; En este depósito había presencia de material orgánico como troncos de árboles y plantas (**Fig. 8**). En esta zona se tomó muestras para la realización de láminas delgadas y de análisis geoquímicos, además de muestra de material orgánico para realizar dataciones radiométricas.

## Sección estratigráfica en el balneario Guinea Chimbana - Río Pano (UTM: 18S 184021.83 / 9888597.98; 508 msnm)



**Fig. 7** Sección estratigráfica en el río Pano, UTM: 18M 184021,83 / 9888597,98; 508 msnm.



**Fig. 8** Afloramiento del Lahar Tena en el balneario Guinea Chimbana en vista 3D. Está expuesta una área y volumen importante, y donde se evidenció el material orgánico (troncos de árboles y restos de plantas) y los líticos volcánicos descritos.

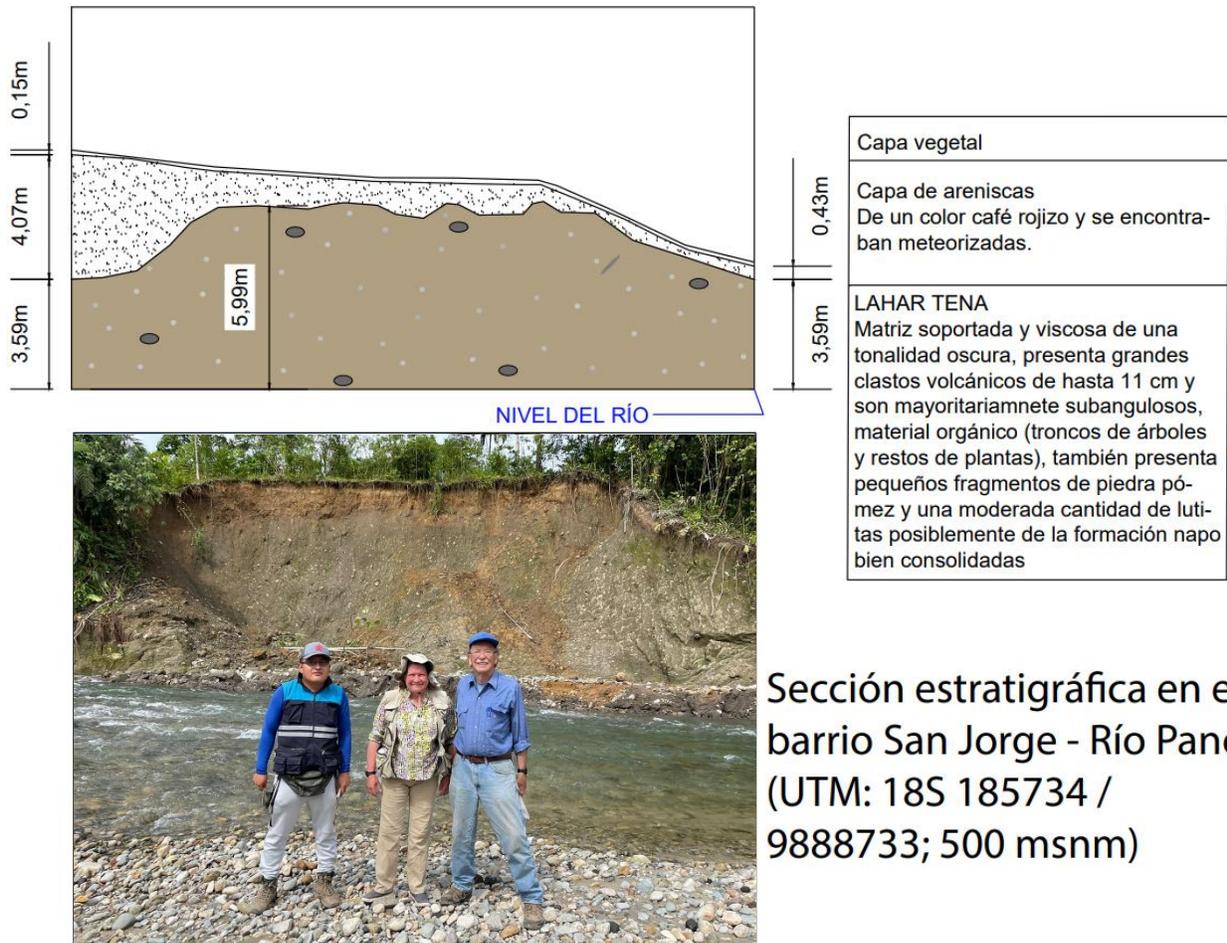
### 3.1.1.4 Sección estratigráfica en el río Pano – barrio San Jorge

Esta sección se encuentra presente en las orillas del río Pano localizado en el barrio San Jorge en las zonas periféricas SW de Tena. Sus coordenadas (UTM) son 18M 185734 / 9888733; 500 msnm.

En esta sección se identificó un solo depósito de flujo volcánico de un espesor de 8 metros y una capa de areniscas sobreyacentes que se encontraba meteorizada **(Fig. 9)**

La sección presenta un depósito de flujo volcánico (Lahar Tena) similar al del balneario “Guinea Chimbana” de un espesor de más de 8m, el cual presenta una matriz soportada, viscosa con pequeños pedazos de pómez, también presenta clastos volcánicos como basaltos (vesiculares y olivínicos), bombas basálticas **(ANEXO III)**, tefritas, andesitas basálticas mayoritariamente subangulosos y de lutitas consolidadas (Napo shale) y no consolidadas como arcillas; En este depósito había presencia de material orgánico como troncos de árboles y plantas **(Fig. 10)**. En esta zona se tomó muestras para la realización de análisis granulométricos para corroborar que presenta la misma cantidad en el porcentaje de finos como la muestra del balneario Guinea Chimbana.

La muestra de los fragmentos de piedra pómez encontrados en el Lahar Tena del barrio San Jorge fueron analizados con un estéreo – microscopio, en el cual se determinó varios minerales con diferentes características como: cuarzo (12%), plagioclasa (15%), óxidos de hierro (10%), feldespato potásico (1%), biotita (3%), anfíbol (1%) y micas como la muscovita (0,5%).



**Fig. 9** Sección estratigráfica en el río Pano, UTM: 18M 185734 / 9888733; 500 msnm.



**Fig. 10** Afloramiento del Lahar Tena en el barrio San Luis de gran área, espesor y volumen, donde se evidenció el material orgánico (grandes troncos de árboles y restos de plantas) y los líticos volcánicos descritos.

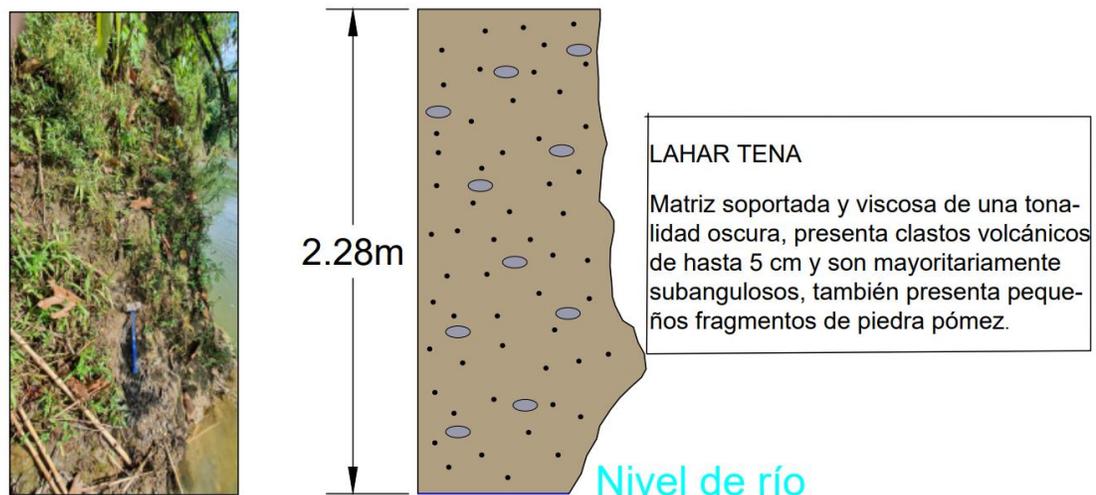
### 3.1.1.5 Sección estratigráfica en el río Misahualli – barrio San Luis

Esta sección se encuentra presente en el barrio “San Luis”. Sus coordenadas (UTM) son 18M 187052,81 / 9891673,98; 494 msnm.

En esta sección se identificó un solo depósito de flujo volcánico (**Fig. 11**)

La sección presenta un depósito de flujo volcánico (Lahar Tena) de un espesor de más de 2m, el cual presenta una matriz soportada y viscosa, también presenta clastos volcánicos mayoritariamente subangulosos y pequeños fragmentos de piedra pómez. En esta zona se tomó muestras para la realización de análisis granulométrico.

## Sección estratigráfica en el barrio San Luis - Río Misahualli (UTM: 18S 187052.81 / 9891673.98; 494 msnm)



*Fig. 11 Sección estratigráfica en el río Misahualli, UTM: 18M 187052,81 / 9891673,98; 494 msnm.*

### 3.1.1.6 Sección estratigráfica en la vía Archidona – Tena

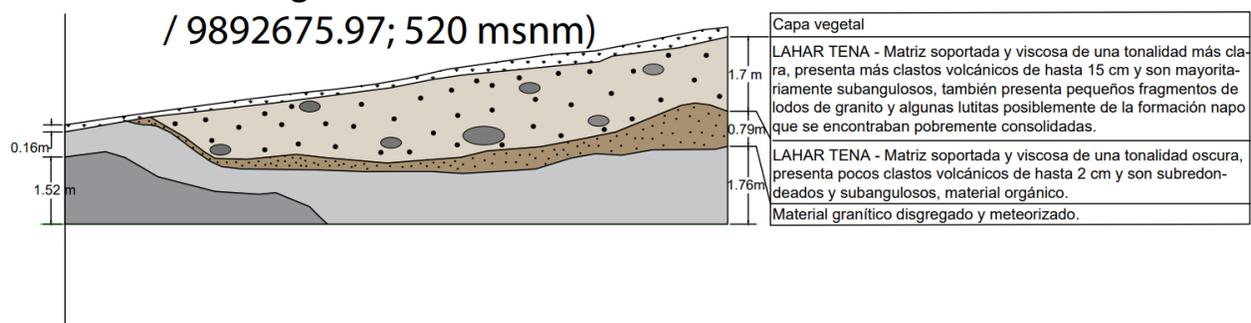
Esta sección se encuentra presente en la vía Archidona – Tena 1 km al norte de Tena. Sus coordenadas (UTM) son 18M 186824,84 / 9892675,97; 520 msnm.

En esta sección se identificó un material granítico disgregado y meteorizado, 2 depósitos de flujo volcánico y una capa vegetal (**Fig.12**)

La sección comienza con el material granítico disgregado de aproximadamente 1.76m que sería producto de la erosión de las rocas mayoritariamente graníticas depositadas en terrazas fluviales del río Misahualli. La siguiente capa presenta un depósito de flujo volcánico (Lahar Tena) de 0.79m, el cual presenta una matriz soportada, viscosa, también presenta menos clastos

volcánicos que son mayoritariamente subredondeados y contiene una cantidad considerable de material orgánico. La siguiente capa presenta un depósito de flujo volcánico (lahar) de 1.7m, el cual presenta una matriz soportada, viscosa, además presenta más clastos volcánicos que son subredondeados y subangulosos como bombas basálticas (**ANEXO III**); a diferencia del otro depósito no presenta material orgánico y también la matriz contiene pequeños fragmentos de lodos de granito similares a los encontrados en la segunda capa abajo del balneario Peña Colorada en el río Tena. En esta zona se tomó muestras para análisis granulométrico y se tomó una bomba volcánica para la realización de análisis geoquímico.

### Sección estratigráfica en la vía Archidona - Tena (UTM: 18S 186824.84 / 9892675.97; 520 msnm)



**Fig. 12** Sección estratigráfica en la vía Archidona – Tena, UTM: 18M 186824,84 / 9892675,97; 520 msnm.

#### 3.1.2 Radiometría por radiocarbono de los depósitos de flujos volcánicos (Lahar Tena)

En el presente lahar se realizó 2 dataciones  $^{14}\text{C}$  para determinar qué tan reciente fue la actividad volcánica que produjo este depósito de origen de flujo volcánico. La primera datación corresponde a una muestra de chonta que estaba presente en la matriz del lahar observado en el río Pano, el cual dió una edad de  $4336 \pm 28$  en años de radiocarbono. La segunda datación corresponde a una muestra de madera de unos 60 gramos que estaba presente en la matriz del lahar observado en el río Misahualli que fue analizado por la Msc. Patricia Mothes en el año 2016,

el cual dió una edad de  $4380 \pm 30$  en años de radiocarbono. Como se puede observar las edades son casi idénticas y confirman que los depósitos son probablemente del mismo origen.

Mediante las dataciones de radiocarbono realizadas en el presente trabajo se ha confirmado una actividad volcánica reciente que produjo este depósito de flujo volcánico, sin embargo, el volcán que produjo esta actividad es un tema que debería ser realizado en estudios futuros.

**Tabla 3** Muestra las edades obtenidas de la radiometría realizada en los ríos Pano y Misahualli.

Número de laboratorio	Nombre	UTM	Localización	Edad 14C (años BP)	Edad calibrada 94,8% (años BP)	Edad calibrada 94,8% (años BC)	Fuente:
D-AMS 047645	Rio Pano_No.1_04 June2022	18M 184021.83 / 9888597.98, 508 msnm	Balneario Guinea Chimbana (Río Pano)	4336+/- 28	4963 - 4848	3016 - 2897	Este estudio.
Número de laboratorio	Nombre	UTM	Localización	Edad 14C (años BP)	Edad calibrada 95% (años BP)	Edad calibrada 95% (años BC)	Fuente:
Beta - 427886	TENA3-2015	18M 187510 / 9892036, 500 msnm	Margen izquierdo del río Misahualli	4380+/- 30	4970 - 4845	3020 - 2895	Msc. Patricia Mothes (2016)

### 3.1.3 Caracterización petrográfica y geoquímica de las muestras tomadas del lahar y de los volcanes Sumaco y Sierra Azul

#### Caracterización petrográfica

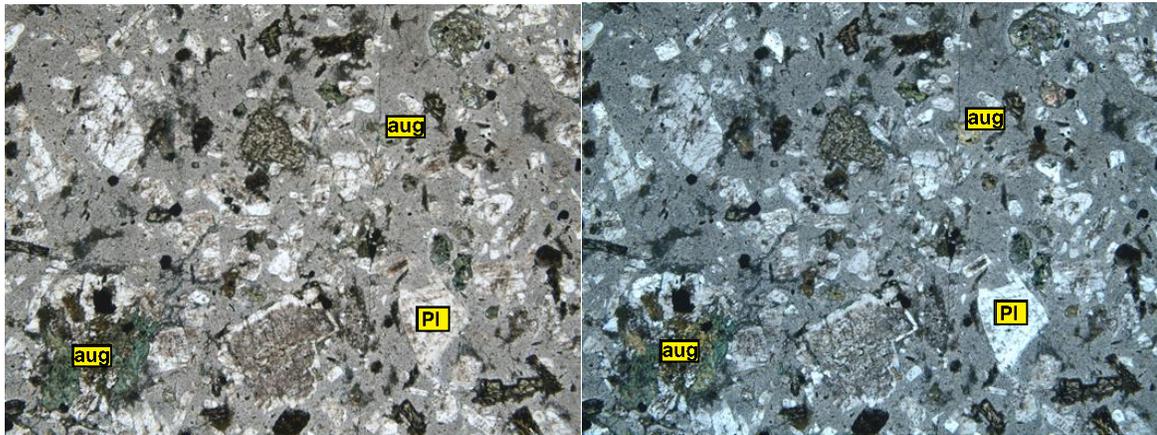
- SUM-Mis\_Ag21\_#1

Dentro de las muestras pertenecientes a la Msc. Patricia Mothes se tiene una bomba volcánica del Lahar Tena, la cual fue coleccionada en las coordenadas (UTM) 18S 178330 / 9894710, 513 m; a las orillas del río Misahualli.

Microscópicamente, la bomba es holocristalina con una textura porfírica. Los minerales en paragénesis son augita + plagioclasa + feldespato + olivino  $\pm$  cuarzo  $\pm$  clorita + minerales opacos. La matriz se compone de microlitos de plagioclasa, óxidos de hierro y vidrio volcánico.

Los cristales de augita presentan bordes de descomposición debido a la meteorización. Algunos cristales presentan inclusiones de óxidos de hierro y piroxenos. Los cristales de

plagioclasa y piroxenos son idiomorfos, los piroxenos se presentan como inclusiones en los cristales de plagioclasas y de clorita.

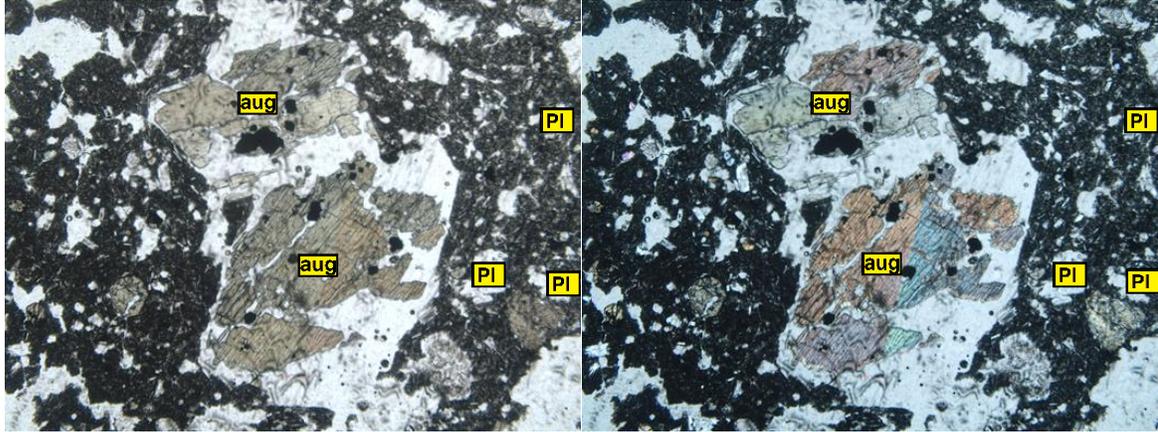


**Fig. 13** Lámina delgada de la muestra SUM-Mis\_Ag21\_#1, vista al microscopio (objetivo 2.5x). Se puede observar grandes cristales euhédricos de plagioclasa y cristales color verde de augita con bordes de descomposición (parte superior, LPP y XLP).

#### ▪ SUM-Pan\_Ag21\_#4

Dentro de las muestras pertenecientes a la Msc. Patricia Mothes se tiene una bomba volcánica del Lahar Tena, la cual fue coleccionada en las coordenadas (UTM) 18S 184114 / 9888621; a las orillas del río Pano.

Microscópicamente, la bomba es holocristalina con una textura porfírica. Los minerales en paragénesis son augita + plagioclasa + feldespato ± olivino + minerales opacos. La matriz se compone de microlitos de plagioclasa, óxidos de hierro y vidrio volcánico. Los cristales de augita presentan bordes de descomposición debido a la meteorización, mientras que los cristales de olivino presentan coronas de reacción que indican un desequilibrio entre el fundido y el mineral que se cristalizó. La augita presenta inclusiones de óxidos de hierro y de plagioclasas. Los cristales de plagioclasa son idiomorfos, además se presentan como inclusiones en los cristales de augita.



**Fig. 14** Lámina delgada de la muestra SUM-Pan\_Ag21\_#4, vista al microscopio (objetivo 2.5x). Se puede observar cristales euhédricos de plagioclasa y grandes cristales color verde pálido de augita con bordes de descomposición (parte superior, LPP y XLP).

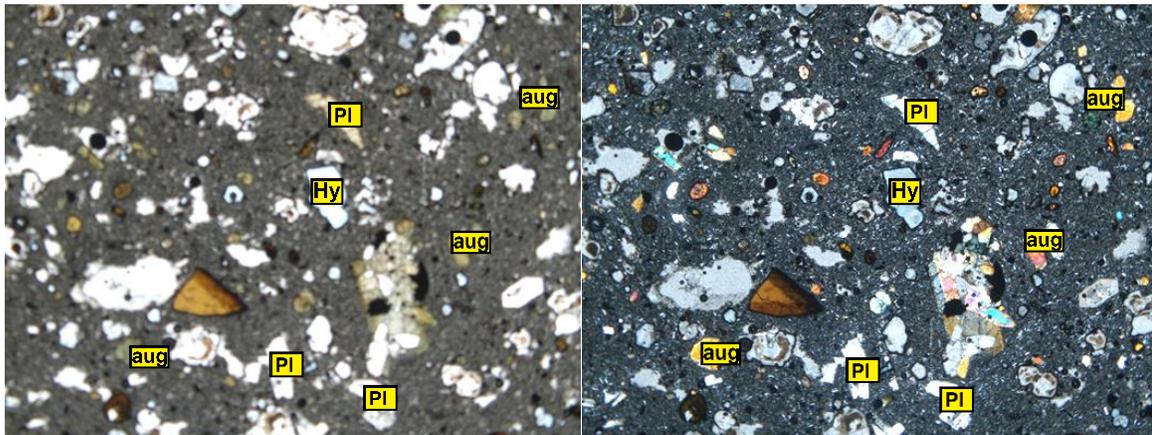
#### ▪ SUM-36

En esta muestra perteneciente al Ing. Josué Salgado es de un bloque enorme que está incluido en un flujo de escombros cuyo depósito es aproximadamente 70 metros por encima de la ciudad de Tena cerca de su bypass. Es de un depósito lahárico y más viejo que el Lahar Tena, y la muestra fue coleccionada en las coordenadas (UTM) 18S 189515 / 9888593, 570 m; al noreste de la ciudad del Tena, antes de empezar el descenso al Puerto Napo.

La roca macroscópicamente de acuerdo con (Salgado, 2019) presenta una textura porfírica con estructura vesicular. La roca es color gris con fenocristales de haüyna 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 bomba es holocristalina con una textura porfírica. Los minerales en paragénesis son augita + plagioclasa + feldespato + haüyna ± anfíbol + minerales opacos. La matriz se compone de microlitos de plagioclasa, piroxenos y vidrio volcánico. Los cristales de augita presentan bordes de reacción e impurezas de Ti lo que indica la presencia de titano – augita, los cristales de anfíbol presentan bordes de oxidación que indican una inestabilidad durante la cristalización del mineral, mientras que los cristales de haüyna son euhedrales a subhedrales, incoloros y en tonos azules, presentan texturas de reabsorción e inclusiones de minerales opacos y óxidos de hierro que les dan un aspecto oscuro. La forma euhedral – subhedral estarían asociados a un rápido crecimiento que envuelve al fundido debido al sobre enfriamiento, lo que fue clave para confirmar la existencia de una cámara magmática superficial bajo el Sumaco (Garrison et al., 2018). La augita presenta inclusiones de óxidos

de hierro y de plagioclasas. Los cristales de plagioclasa son idiomorfos, además se presentan como inclusiones en los cristales de augita.



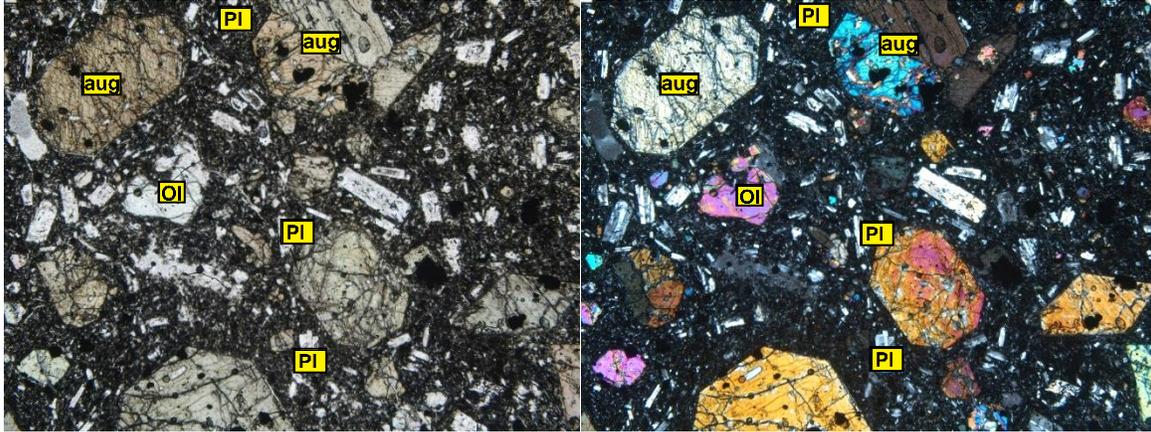
*Fig. 15 Lámina delgada de la muestra SUM-36, vista al microscopio (objetivo 2.5x). Se puede observar cristales euhédricos de plagioclasa, cristales color azul claro e isótopos de haüyna y cristales color verde de augita con bordes de reacción (parte superior, LPP y XLP).*

#### ▪ PANO\_1

En esta muestra se clasificó como un basalto del Lahar Tena, la cual fue coleccionada en las coordenadas (UTM) 18S 184021.83 / 9888597.98, 494 m; a las orillas del río Pano, de Guinea Chimbana.

La roca macroscópicamente presenta una textura hipocristalina con una estructura fanerítica. La roca es de color negro con fenocristales de olivino de un tamaño de < 2 mm. Se observa además fenocristales de piroxenos con tamaño de hasta 2 mm y fenocristales de plagioclasas con tamaños de < 1mm. Presenta un magnetismo moderado al pasar el imán. La roca se clasifica como un basalto.

Microscópicamente, el basalto es holocristalino con una textura porfirítica. Los minerales en paragénesis son augita + plagioclasa ± olivino + minerales opacos. La matriz se compone de microlitos de plagioclasa, óxidos de hierro y vidrio volcánico. Los cristales de augita presentan bordes de reacción lo que indica un desequilibrio del mineral contenido en un fundido e impurezas de Ti indicando la presencia de la Titano – Augita, mientras que los cristales de olivino presentan coronas de reacción y algunas zonaciones que indican un desequilibrio entre el fundido y el mineral que se cristalizó. La augita presenta inclusiones de óxidos de hierro y de plagioclasas. Los cristales de plagioclasa son idiomorfos, además se presentan como inclusiones en los cristales de augita.



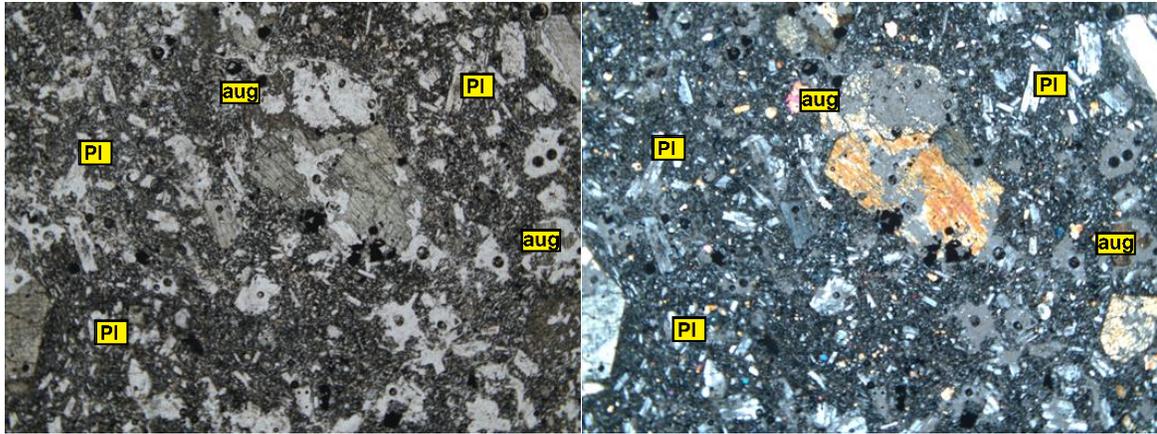
**Fig. 16** Lámina delgada de la muestra PANO\_1, vista al microscopio (objetivo 2.5x). Se puede observar grandes cristales euhédricos de plagioclasa y grandes cristales color verde pálido de augita con bordes de reacción (parte superior, LPP y XLP).

### ▪ PANO\_3

En esta muestra se clasificó como una tefrita del Lahar Tena, la cual fue coleccionada en las coordenadas (UTM) 18S 184021.83 / 9888597.98, 494 m; a las orillas del río Pano en el balneario Guinea Chimbana.

La roca macroscópicamente presenta una textura holocristalina con una estructura fanerítica. La roca es de color negro con fenocristales de haüyna de un tamaño de < 1 mm. Se observa además fenocristales de piroxenos y olivinos con tamaño de hasta 2 mm y fenocristales de plagioclasas con tamaños de < 1mm. Presenta un magnetismo moderado al pasar el imán. La roca se clasifica como una tefrita por la presencia de feldespatoides.

Microscópicamente, la tefrita es holocristalina con una textura porfirítica. Los minerales en paragénesis son augita + haüyna + plagioclasa ± olivino + minerales opacos. La matriz se compone de microlitos de plagioclasa, piroxenos y vidrio volcánico. Los cristales de augita presentan bordes de reacción lo que indica un desequilibrio del mineral contenido en un fundido e impurezas de Ti indicando la presencia de la Titano – Augita, mientras que los cristales de haüyna son euhedrales a subhedrales, incoloros y en tonos azules, presentan texturas de reabsorción e inclusiones de minerales opacos y óxidos de hierro que les dan un aspecto oscuro. La augita presenta inclusiones de óxidos de hierro y de plagioclasas. Los cristales de plagioclasa son idiomorfos, además se presentan como inclusiones en los cristales de augita.



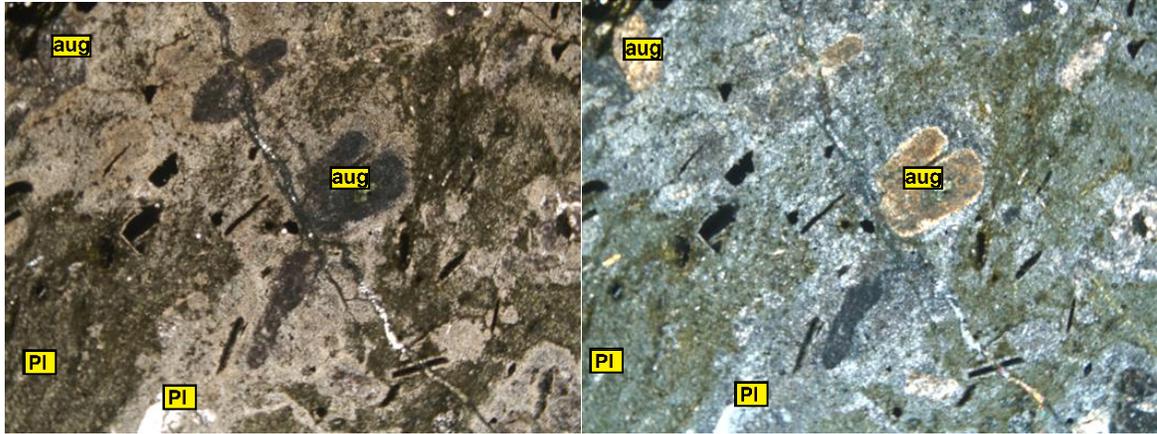
**Fig. 17** Lámina delgada de la muestra PANO\_3, vista al microscopio (objetivo 2.5x). Se puede observar cristales euhédricos de plagioclasa y cristales color verde de augita con bordes de reacción (parte superior, LPP y XLP).

#### ▪ V.ARCHIDONA-TENA

Esta muestra se clasificó como una bomba volcánica del Lahar Tena, la cual fue coleccionada en las coordenadas (UTM) 18S 186824.84 / 9892675.97, 520 m; en la vía que va desde la ciudad de Archidona hasta la ciudad del Tena.

La roca macroscópicamente presenta una textura holocristalina con una estructura porfídica. La roca es de color gris claro con fenocristales de plagioclasa de un tamaño de hasta 5 mm. Se observa además fenocristales de piroxenos con tamaño de hasta 1,5 mm.

Microscópicamente, la bomba volcánica es holocristalina con una textura porfirítica. Los minerales en paragénesis son augita + plagioclasa + minerales opacos. La matriz se compone de microlitos de plagioclasa, piroxenos y vidrio volcánico. Los cristales de augita presentan bordes de reacción lo que indica un desequilibrio del mineral contenido en un fundido e impurezas de Ti indicando la presencia de la Titano – Augita. La augita presenta inclusiones de óxidos de hierro y de plagioclasas. Los cristales de plagioclasa son idiomorfos, además se presentan como inclusiones en los cristales de augita.

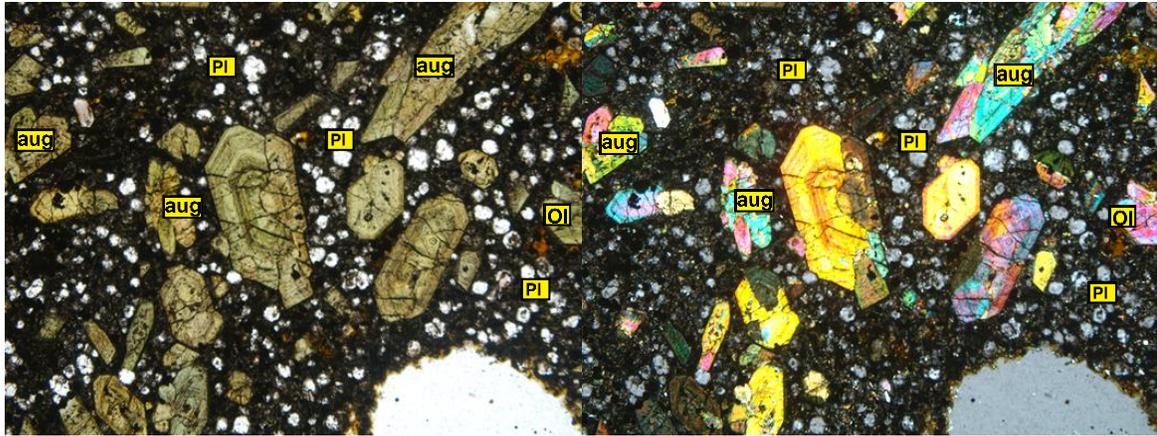


**Fig. 18** Lámina delgada de la muestra V. ARCHIDONA – TENA, vista al microscopio (objetivo 2.5x). Se puede observar cristales euhédricos de plagioclasa y cristales color verde de augita con bordes de reacción (parte superior, LPP y XLP).

▪ **SUM-Orit\_Oct21\_#10**

Dentro de las muestras pertenecientes a la Msc. Patricia Mothes se tiene una bomba volcánica del volcán Sumaco, la cual fue coleccionada en las coordenadas (UTM) 18S 206627 / 9918252, 1164 m; a las orillas de la quebrada Orituyacu.

Microscópicamente, la bomba es holocristalina con una textura porfirítica. Los minerales en paragénesis son augita + plagioclasa + feldespato ± olivino ± zircón + minerales opacos. La matriz se compone de microlitos de plagioclasa, piroxenos y vidrio volcánico. Los cristales de augita presentan bordes de descomposición debido a la meteorización, mientras que los cristales de olivino presentan coronas de reacción y algunas zonaciones que indican un desequilibrio entre el fundido y el mineral que se cristalizó. La augita presenta inclusiones de óxidos de hierro y de plagioclasas. Los cristales de plagioclasa y de zircón son idiomorfos, además las plagioclasas se presentan como inclusiones en los cristales de augita.



**Fig. 19** Lámina delgada de la muestra SUM-Orit\_Oct21\_#10, vista al microscopio (objetivo 2.5x). Se puede observar cristales euhédricos de plagioclasa y grandes cristales color verde oliva de augita con bordes de descomposición (parte superior, LPP y XLP).

▪ **SUM-PucAl-Oct21\_#11**

Dentro de las muestras pertenecientes a la Msc. Patricia Mothes se tiene una lava volcánica del volcán Sumaco, la cual fue coleccionada en las coordenadas (UTM) 18S 212121 / 9993272, 1756 m; a las orillas de la quebrada Pucuno.

Microscópicamente, la roca es holocristalina con una textura porfírica. Los minerales en paragénesis son augita + plagioclasa + feldespato + anfíbol ± olivino + minerales opacos. La matriz se compone de microlitos de plagioclasa, piroxenos y vidrio volcánico. Los cristales de augita presentan bordes de reacción e impurezas de Ti lo que indica la presencia de titanio – augita, mientras que los cristales de olivino presentan coronas de reacción que indican un desequilibrio entre el fundido y el mineral que se cristalizó. La augita presenta inclusiones de óxidos de hierro y de plagioclasas. Los cristales de plagioclasa son idiomorfos, además se presentan como inclusiones en los cristales de augita y anfíboles.



**Fig. 20** Lámina delgada de la muestra SUM-PucaI-Oct21\_#11, vista al microscopio (objetivo 2.5x). Se puede observar cristales euhédricos de plagioclasa y grandes cristales color verde pálido de augita con bordes de reacción (parte superior, LPP y XLP).

#### **Comentarios:**

- En base de lo presentado entre las rocas extraídas del Lahar Tena y del volcán Sumaco se observa que las muestras de ambas fuentes presentan una misma paragénesis mineral, además de la presencia de haüyna en ambas en las muestras de mano. Dado que aquí sólo hay una observación en lámina delgada que está en la muestra SUM-36. Por lo que para el caso de la petrografía de las muestras es difícil distinguirlos y se requerirían de otros estudios para diferenciarlos, exclusivamente de estudios geoquímicos.

#### **3.1.3.1 Caracterización Geoquímica**

Siete muestras (Moth-14-Ap22, Moth-15-Ap22, Tena\_Bypass, PAM-4-18, Mothes4\_Sept22, Mothes5\_Sept22, Mothes6\_Sept22) del lahar Tena fueron enviadas al GeoAnalytical Laboratory de la Universidad del Estatal, Pullman – Washington, EE. UU. y analizadas usando la técnica de fluorescencia de rayos X (XRF) para determinar los porcentajes de óxidos mayores y las concentraciones de elementos traza. Adicionalmente se dispone de dos muestras de 2 flujos de lava que vienen del Volcán Sierra Azul que fluyeron por el lado N – NW de este volcán, opuesto de las cabeceras del río Misahualli (Mothes et al., 2023). Con los datos geoquímicos del volcán Sumaco proporcionados por la Msc. Patricia Mothes, y las 17 muestras del volcán tomados del trabajo de Josué Salgado (Salgado, 2019), se tiene lo suficiente para realizar la comparación con las 9 muestras del Lahar Tena.

Para conocer y potencialmente diferenciar la clasificación de las rocas del Sumaco y del Lahar Tena, 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 usados en base a sus concentraciones obtenidas en partes por millón (ppm). Los datos geoquímicos se procesaron en el software de acceso libre GCDkit 6.0 en R 3.6.0. El software escrito en lenguaje R, permite analizar datos geoquímicos y establecer sus relaciones, además de poder representarlos gráficamente. Para la comparación se dividió en 2 grupos: El primer grupo conformado por muestras del Lahar Tena y el segundo grupo conformado por muestras del volcán Sumaco.

#### ▪ Diagramas Harker

Los niveles de  $\text{Al}_2\text{O}_3$  de las rocas del volcán Sumaco son altos a diferencia de las rocas del Lahar Tena, lo que indica que presenta rocas más alcalinas y que la cristalización de la haüyna está relacionada al porcentaje de aluminio. Existe una muestra del Lahar Tena que presenta un contenido alto de **Al** que indicaría que posiblemente la roca es la más joven de las 9 muestras analizadas (**Fig. 21**)

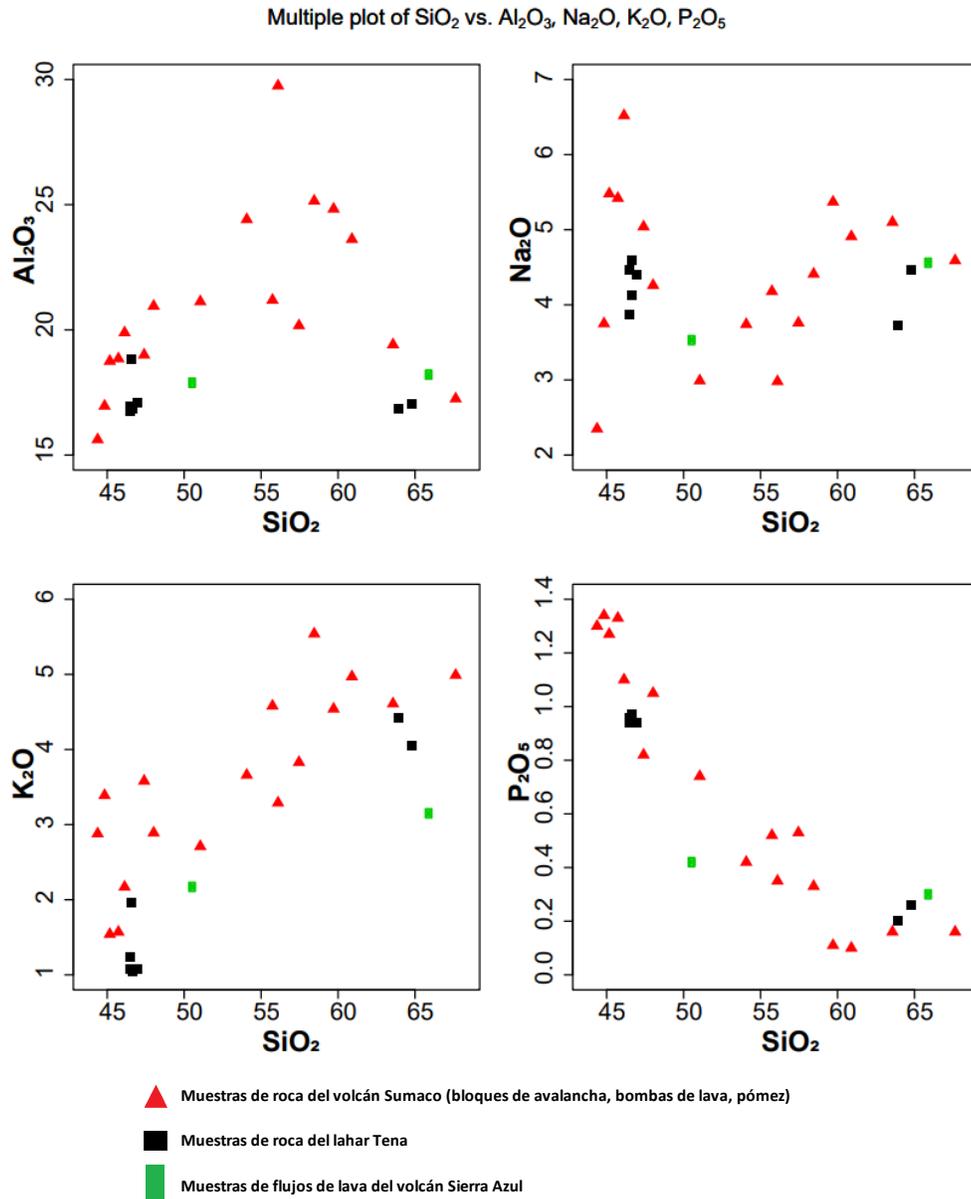
En contenido de  $\text{K}_2\text{O}$  las rocas del volcán Sumaco presentan un mayor contenido en comparación con las rocas del Lahar Tena. Esto se debería a la generación del magma del Sumaco, ya que, de acuerdo con (Rosenbaum, et al., 2018) esto se da por una asimilación crustal lo que produciría estas lavas básicas y ultra básicas caracterizadas por un alto contenido en **K** y **Na**, mientras que las rocas del lahar permitirían afirmar que pertenecen a un distinto magma de formación (**Fig. 21**)

El contenido en  $\text{Na}_2\text{O}$  es tanto mayor como menor en las rocas del volcán Sumaco comparado con las rocas del lahar. Al asociarse con la haüyna la presencia de sodio nos indica que en los menores valores es donde ha cristalizado el mineral haüyna. El **Na** también está presente en las plagioclasas, tienen una composición más sódica, y que pertenecen igualmente a las rocas del volcán Sumaco. Mientras que las plagioclasas con composición menos sódica pertenecen a las rocas del Lahar Tena (**Fig. 21**)

Los niveles de  $\text{P}_2\text{O}_5$  de las rocas del volcán Sumaco son más altos en relación con las otras rocas del Lahar Tena. La tendencia que presenta puede deberse a que hubo menos cristalización de minerales sedimentarios en las rocas del volcán Sumaco que en las rocas del Lahar Tena (**Fig. 21**)

En tanto a las dos muestras pertenecientes al volcán Sierra Azul, en la **Fig. 21**, se observa que una muestra, cuyo contenido de  $\text{SiO}_2$  está alrededor del 51% está siempre más ligada

al grupo de 8 muestras del Lahar Tena. Mientras la otra muestra, cuyo contenido de  $\text{SiO}_2$  es ~65%, está ligada con una muestra outlier del Lahar Tena.

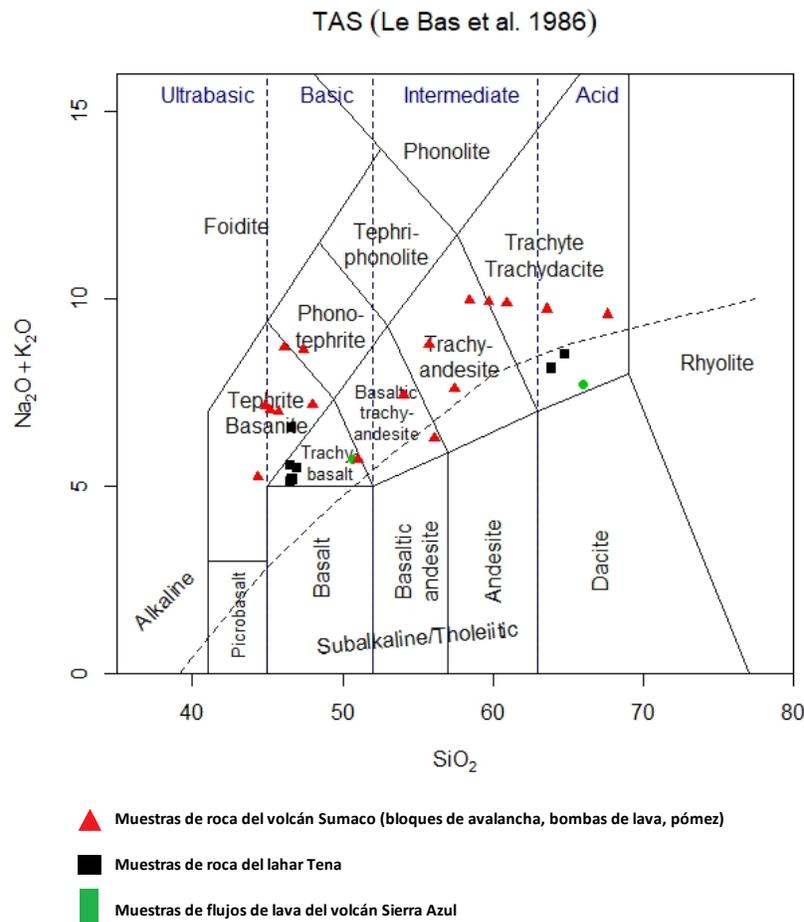


**Fig. 21** Diagrama de elementos mayores ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{P}_2\text{O}_5$ ) con respecto al  $\text{SiO}_2$ .

### ▪ Óxidos mayores

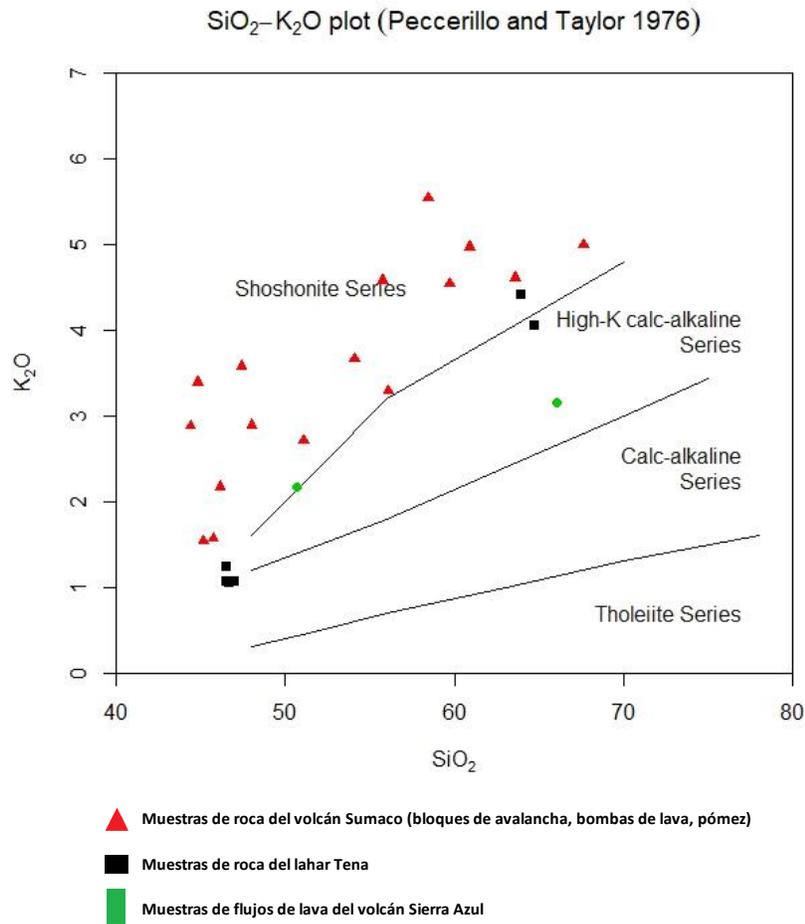
Según el diagrama de clasificación química de rocas volcánicas Le Bass et al., (1986) (**Fig. 22**), las rocas pertenecientes al primer grupo que son las del Lahar Tena se encuentran distribuidas en un rango desde traquibasaltos, tefribasanitas hasta traquita traquidacitas. El segundo grupo que son las muestras del volcán Sumaco se encuentra conformado por tefribasanitas, fonotefritas, traquibasaltos, traquiandesitas basálticas, traquiandesitas y

traquita traquidacitas consideradas como las rocas más diferenciadas. Todas las rocas del Sumaco pertenecen al campo alcalino del diagrama Total Alkali Sílica (TAS) (Salgado, et al., 2018).



**Fig. 22** Diagrama total de Alkali Silica (TAS) (Le Bass et al., 1986) que muestra el grupo de las rocas del Lahar Tena, del volcán Sumaco y volcán Sierra Azul.

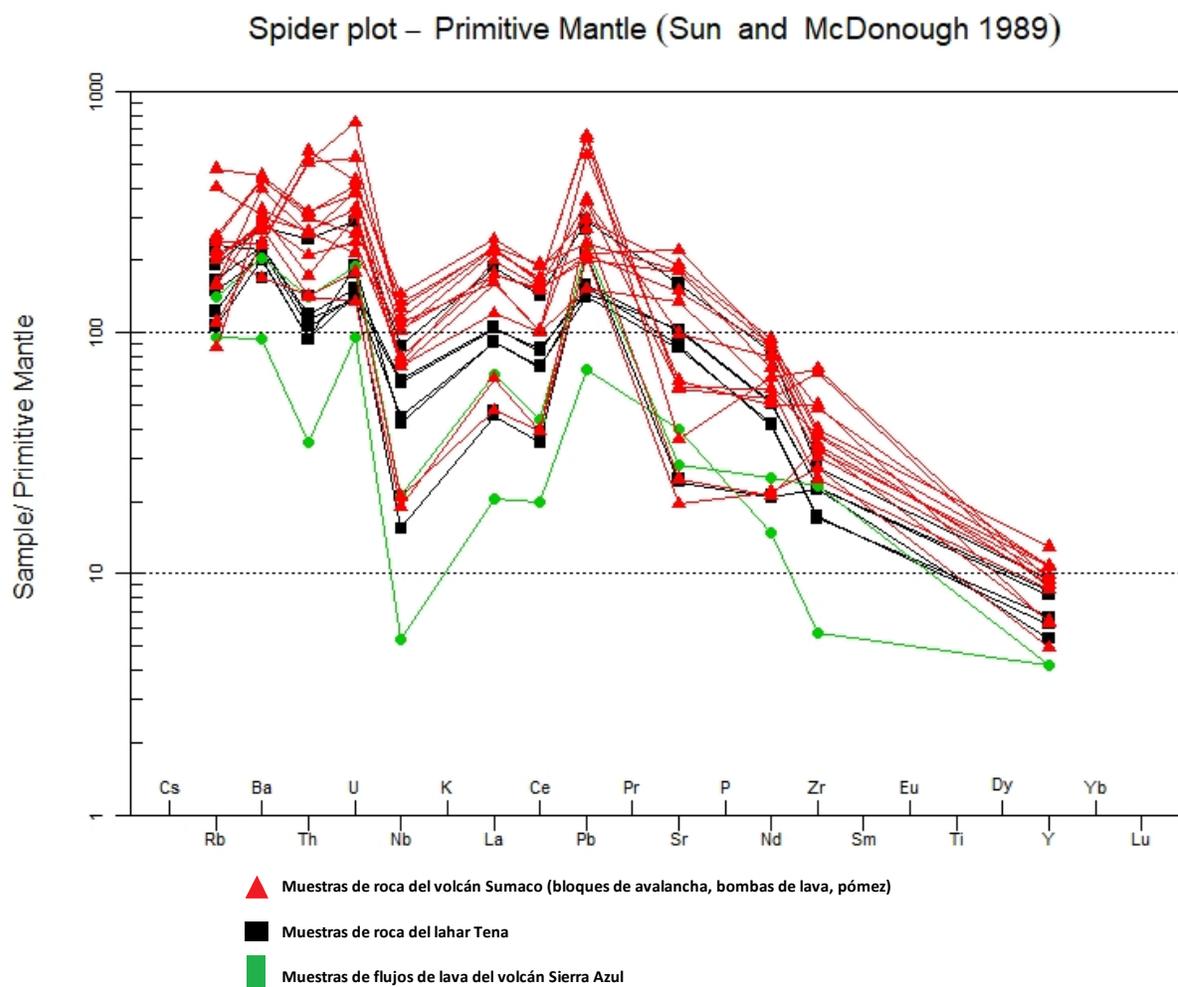
En la clasificación de Peccerillo y Taylor (1976) todas las muestras del volcán Sumaco pertenecen a la serie shoshonita (**Fig. 23**), como se observa en la figura esta serie se caracteriza por ser rica en potasio, con un comportamiento variable del Fe y un grado variable de saturación en sílice (Escobar et al., 2012). Además, representa las últimas manifestaciones volcánicas de la zona de subducción ecuatoriana cuando la placa es continental. En la **Fig. 23**, se diferencia la serie shoshonítica de las muestras del volcán Sumaco contra la serie calco-alcalina con alto K a la que pertenecen mayormente las muestras del Lahar Tena.



**Fig. 23** Diagrama SiO<sub>2</sub> – K<sub>2</sub>O (Peccerillo and Taylor 1976). Se indica las rocas del Sumaco que pertenecen a la serie shoshonítica comparadas con las rocas del Lahar Tena y el volcán Sierra Azul.

### ▪ Elementos Traza

Primero, se plotó los elementos traza en un diagrama spider normalizado. Este gráfico representa al manto primitivo de Sun y McDonough (1989) (**Fig. 24**), mostrando una anomalía negativa en Nb, así indicando la subducción del manto astenosférico debajo de la placa sudamericana. Además, se puede apreciar una anomalía en Sr lo que indicaría la cristalización de las plagioclasas encontradas en las muestras. Como comparación se puede ver un incremento en elementos incompatibles (Ba, Th, U y Pb) en las muestras del volcán Sumaco a diferencia de las muestras de rocas del lahar, lo que indica que hay una baja fusión parcial en el manto astenosférico metasomatizado (Barragán, et al., 1998)



**Fig. 24** Diagrama Spider de los elementos traza tanto para las rocas de las muestras del volcán Sumaco como para las rocas del Lahar Tena y Sierra Azul normalizados a la composición del manto primitivo (Sun & McDonough, 1989).

A continuación, se presenta el análisis de los elementos traza realizado a partir de los diagramas Harker (**Fig. 25**)

Los contenidos de **Cr** son superiores en las rocas del Lahar Tena que en las rocas del volcán Sumaco lo que podría indicar este comportamiento sería que en las rocas del volcán Sumaco existe más cristalización de piroxenos por lo que el Cr disminuye a medida que cristaliza este mineral.

En general, las muestras del Lahar Tena presentan valores más altos en **Ni** que las muestras del volcán Sumaco. Esta diferencia se debería a la cristalización del olivino en dónde el **Ni** tiene afinidad con este mineral por lo que tiende a disminuir en su cantidad en las muestras de roca del volcán Sumaco.

El diagrama del elemento **Rb** presenta valores altos en las muestras de roca del volcán Sumaco respecto a las muestras de roca del Lahar Tena. El **Rb** al ser un elemento incompatible y ligero explicaría sus altos valores en las rocas del volcán Sumaco ya que este volcán presenta un bajo grado de fusión parcial en el manto astenosférico metasomatizado permitiendo este enriquecimiento en elementos incompatibles.

El diagrama Harker del **Sr**, muestra igualmente altos valores en las muestras de roca del volcán Sumaco respecto a las muestras de roca del Lahar Tena. El **Sr** también al ser un elemento incompatible y ligero explicaría este enriquecimiento debido a la petrogénesis del volcán Sumaco ya explicado anteriormente. 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 (Garrison et al., 2018). El 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°C).

El **Zr** presenta altas concentraciones en las muestras de roca del volcán Sumaco respecto a las muestras de roca del Lahar Tena. Las altas concentraciones de este elemento con respecto a las rocas volcánicas encontradas en el lahar implican un enriquecimiento en la fuente del volcán Sumaco.

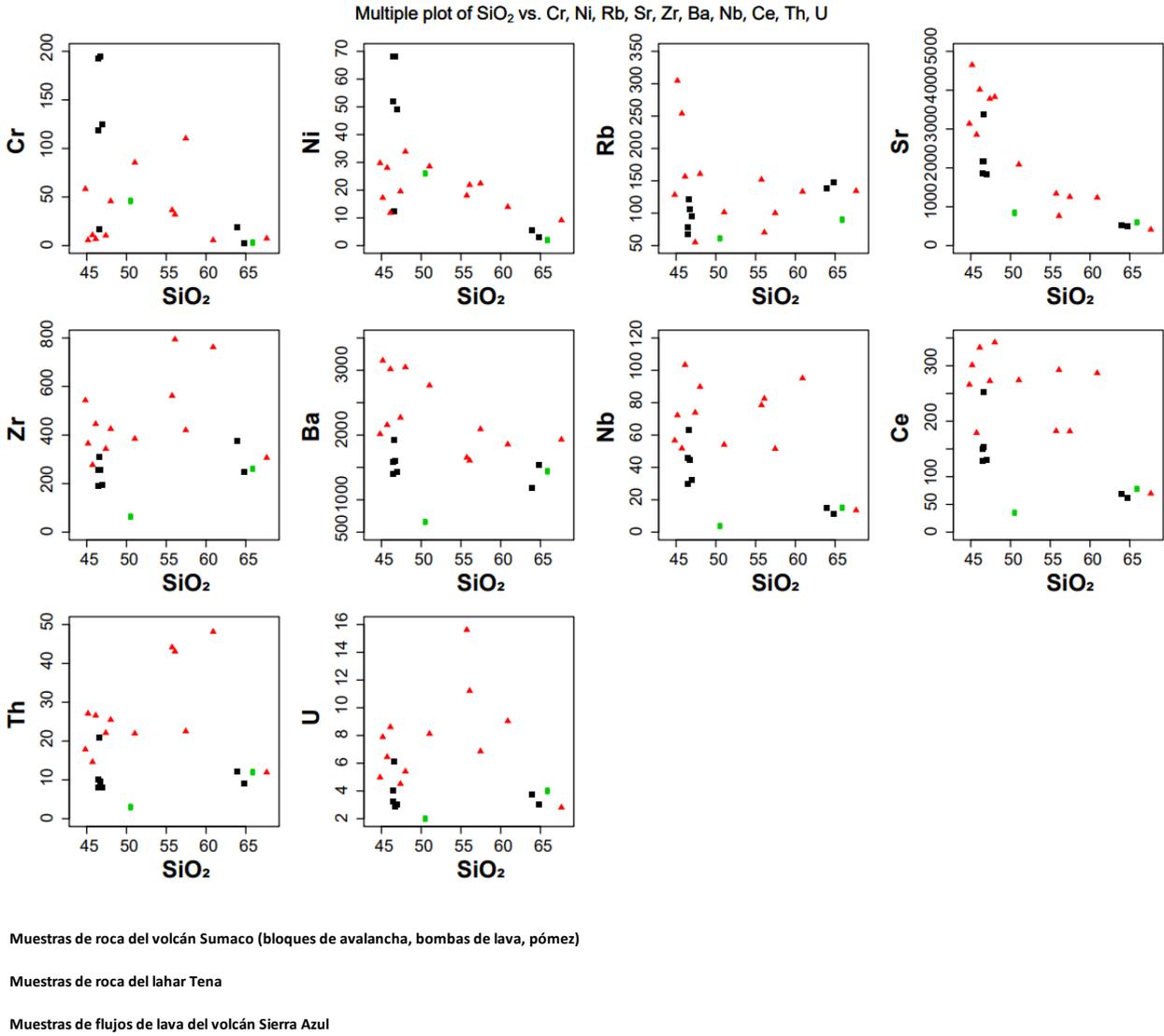
El contenido de **Ba** es alto en casi todas las muestras de roca del volcán Sumaco respecto a las muestras de roca del Lahar Tena. Estas altas concentraciones se deberían igualmente a la petrogénesis existente en el magma del volcán Sumaco permitiendo estas altas concentraciones en estos elementos como el **Ba**.

Las muestras de roca del volcán Sumaco presenta altos valores en **Nb** respecto a las muestras de roca del Lahar Tena. Estas altas concentraciones también se deberían a la petrogénesis del volcán Sumaco y el **Nb** al ser un elemento incompatible y ligero explicaría esta diferencia en ambas muestras de roca.

Los valores más altos en **Ce** los poseen las muestras más diferenciadas por lo que explicaría esa diferencia que existe entre las rocas del volcán Sumaco y del Lahar Tena.

Tanto el **Th** como el **U** muestran altas concentraciones en las muestras de roca del volcán Sumaco respecto a las muestras de roca del Lahar Tena. Estas concentraciones altas se deberían a que el volcán Sumaco esta enriquecido en los HFSE (High field strength elements)

debido a la poca deshidratación en la contribución del fluido. Las muestras con mayor cantidad de SiO<sub>2</sub> presentan una mayor cantidad de estos elementos, es decir las muestras más diferenciadas.

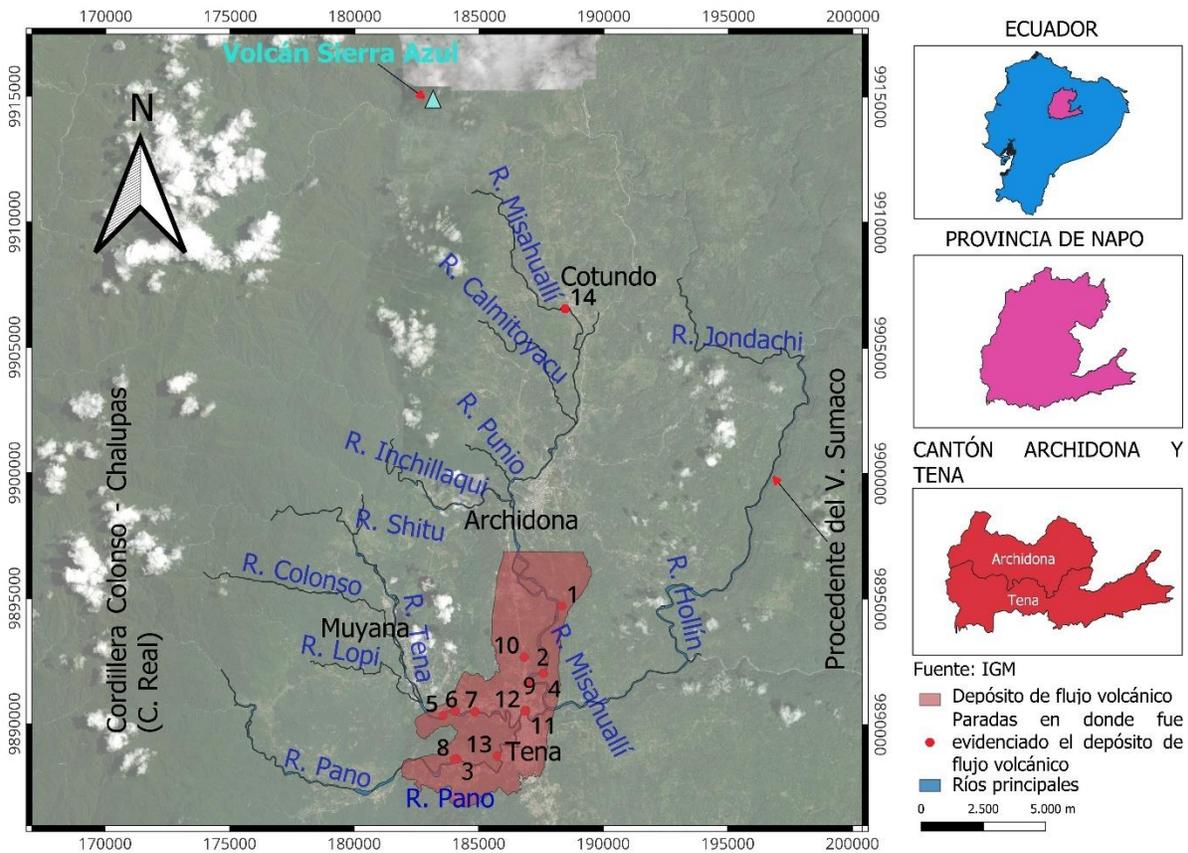


*Fig. 25 Diagrama de elementos traza (Cr, Ni, Rb, Sr, Zr, Ba, Nb, Ce, Th, U) con respecto al SiO<sub>2</sub>.*

### 3.1.4 Mapeo de la zona de ocurrencia del lahar

Mediante los puntos tomados en las zonas donde fue evidenciado el Lahar Tena, las curvas de nivel obtenidas del DEM de Tena y con las secciones estratigráficas elaboradas se procedió a realizar por medio del programa QGis, un mapa que despliegue el tránsito del Lahar Tena. Iniciando desde el río Misahualli a lo largo de toda la ciudad de Tena y terminando de depositarse en los ríos Tena y Pano. La razón por la cual se depositó mayormente en las orillas de estos ríos

sería porque se encuentran en la zona más baja de toda la ciudad de Tena por lo que el lahar al ser bastante espeso y potente pudo tranquilamente ir contra corriente de los 2 ríos. Además, bajo la perspectiva de pobladores de la ciudad de Tena que mencionan que cuando crece el nivel del río Misahualli disminuye el caudal de los ríos Tena y Pano, se corroboraría que pudo depositarse el Lahar Tena a más de 6 km tanto del río Tena como del río Pano. Entonces el Lahar Tena mapeado presenta un espesor de  $\pm 3$  m, un área de 36,94 km<sup>2</sup> y un volumen mínimo de  $\sim 0,11081$  km<sup>3</sup>.



**Fig. 26** Mapeo del Lahar Tena, donde se muestran los puntos donde fue evidenciado el depósito del lahar.

## 3.2 CONCLUSIONES

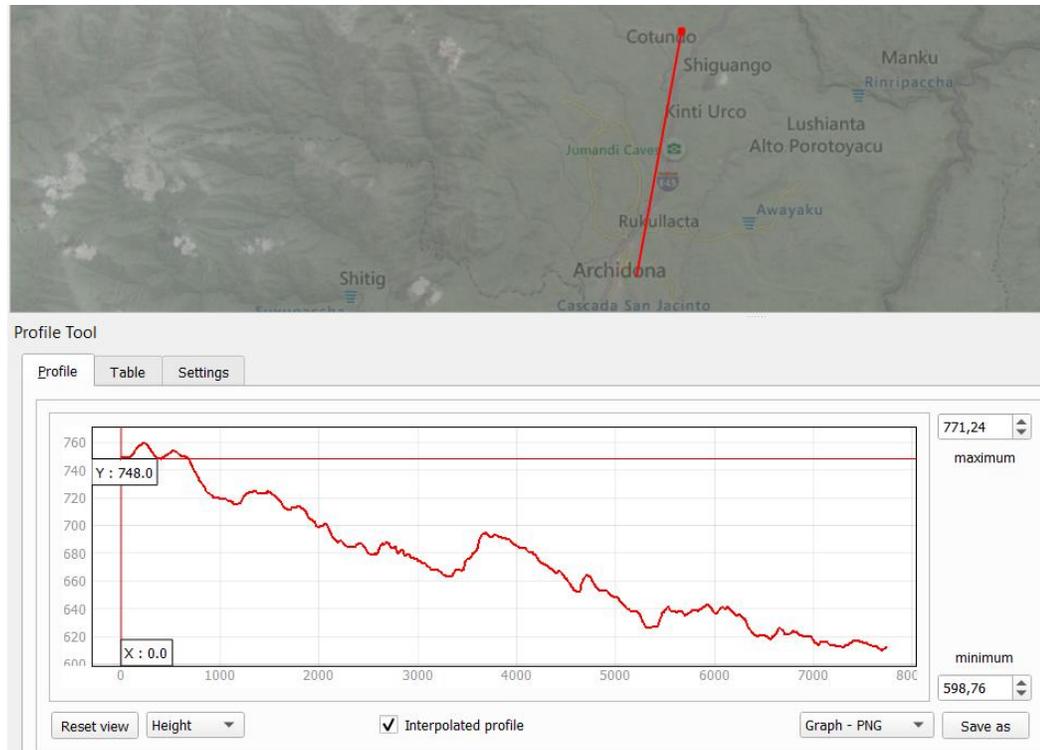
- El depósito asignado como “Lahar Tena” clasificado de tipo “cohesivo” de acuerdo con los estudios realizados de granulometría, fue originado debido a una importante actividad volcánica ocurrida hace unos 4900 años B.P, posiblemente del volcán Sierra Azul ubicado en la cordillera oriental en la provincia de Napo. El lahar descendió desde el río Misahualli, terminó de depositarse en la ciudad de Tena y en las orillas de los ríos Tena y Pano.
- En tanto de las evidencias de actividad eruptiva asociada con el Lahar Tena, se tiene partículas de pómez de hasta 2 cm entremezclada en la matriz. Esta pómez tiene cristales de cuarzo, plagioclasa, feldespato potásico, óxidos de hierro, biotita, anfíbol y micas; los clastos entremezclados en el Lahar Tena son subangulosos. Igualmente hay bombas basálticas con textura corteza de pan que se presume son juveniles y poco redondeadas (**ANEXO III**). La presencia de esta pómez y las bombas sugieren que hay un volcán que tuvo una erupción y también que el calor asociadas a la actividad logró calcinar algunos de los troncos de árboles incorporados en la matriz del Lahar Tena.
- Los volcanoclásticos de la erupción fluyeron en las cabeceras del río Misahualli aguas arriba de Cotundo, bajo el efecto de la gravedad. Fueron arrastrados por aguas de las lluvias, probablemente se formó represas temporales, y que luego estas rompieron y los flujos bajaron aguas abajo.
- Luego de analizar las muestras de material orgánico mediante la radiometría por radiocarbono tanto del río Misahualli como del río Pano se concluye que las edades de ocurrencia de los depósitos de flujo volcánico son similares por lo que confirmaría que son parte de una misma actividad volcánica ocurrida hace unos 4900 años BP. El Lahar Tena cuyo espesor es de  $\pm 3\text{m}$ , tiene un área mínima de  $36,94 \text{ km}^2$  y un volumen de  $0,11081 \text{ km}^3$ , cifras importantes en tanto del impacto que probablemente se produjo en la zona. Hoy en día la mayoría de los depósitos del Lahar Tena son erosionados de los cauces de los ríos ya involucrados.
- El Lahar Tena pese a tener las mismas características petrográficas que las muestras del volcán Sumaco, presenta otras diferencias importantes como en su geoquímica y posiblemente en su edad ya que es producto de una actividad volcánica joven, además

de que la zona y en los ríos en los que se encuentra el lahar son muy lejanos con respecto a la ubicación del volcán Sumaco, cuyas trayectorias de flujos de este volcán debería haber bajado por el río Hollín para unirse en el río Misahualli, 15 km aguas debajo de Tena, antes de que se desemboque en el río Napo.

- El río Inquillaqui pese a ser un afluente del río Misahualli en la parte occidental de la ciudad de Archidona, no presentaba evidencias de que el lahar pudo haber bajado por este río debido a que no presentaba líticos volcánicos considerables, sino mayormente material granítico y sedimentario que no tienen similitud al material encontrado en la matriz del Lahar Tena.
- Como se indicó en los análisis geoquímicos, hay mucha diferencia entre las muestras de roca del Lahar Tena y del volcán Sumaco respecto a algunos elementos mayores característicos como (K, Al, Na, P). Esto corroboraría que el lahar es producto de un volcán con una diferente cámara magmática respecto a la del Sumaco y que está situado más cerca de la zona donde fue evidenciado el Lahar Tena. Además, se observa que hay 2 categorías de muestras. Una que es más rica en  $\text{SiO}_2$  y otra más básica.
- La presencia del mineral Haüyna en el Lahar Tena, indicaría que no solo el volcán Sumaco contiene cantidades significativas de este mineral en el Ecuador, ya que existe otro volcán con características similares al volcán Sumaco, pero con una diferente fusión parcial del manto astenosférico metasomatizado debido a la diferencia en los elementos traza ligeros indicado en el análisis geoquímico de las muestras del Lahar Tena y del volcán Sumaco.
- En el análisis por medio de láminas delgadas en la muestra de roca que se encontraba cerca del bypass de Tena se determinó que presentaba una paragénesis mineral similar a la muestra de roca del Lahar Tena sacada del balneario Guinea Chimbana. Se presentaban: cantidades similares de los minerales augita, plagioclasa y haüyna, microlitos de plagioclasa, piroxenos y vidrio volcánico y también una misma textura y microestructura mineral, por lo que se podría decir que esta muestra posiblemente pertenece a una actividad eruptiva del volcán Sierra Azul.
- La actividad eruptiva del volcán Sierra Azul posiblemente ocurrió antes de la actividad volcánica que produjo las muestras del Lahar Tena. Además, debido a la distancia vertical

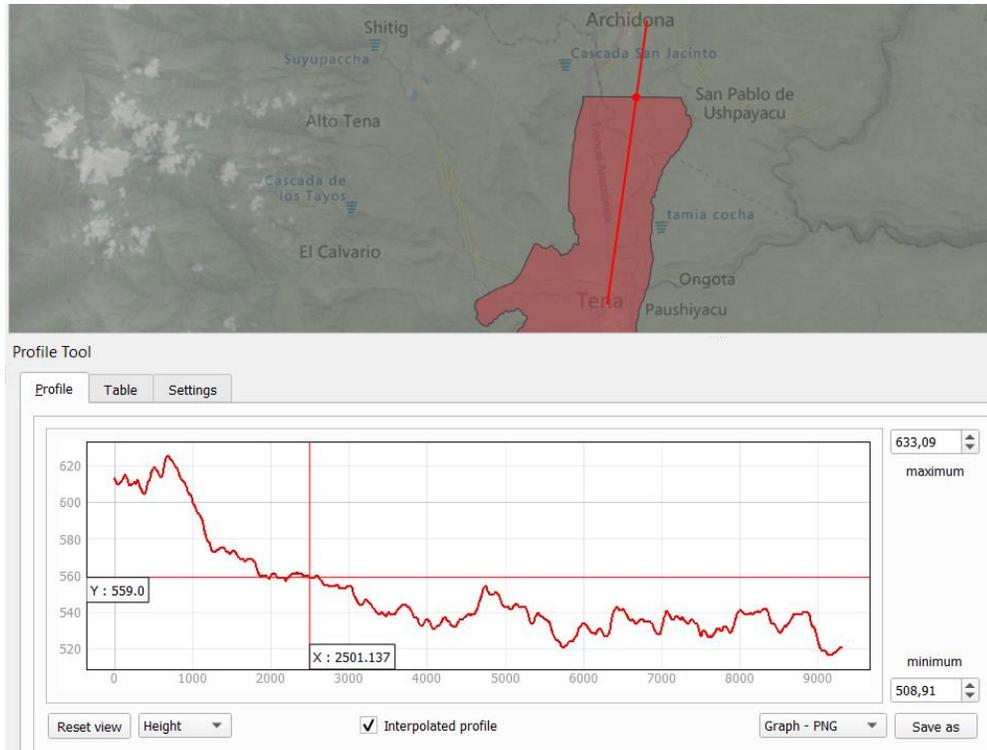
(50 metros más arriba del Lahar Tena actual en el centro de Tena) en la que fue encontrada la muestra SUM – 36 daría a conocer que la actividad volcánica fue mucho más fuerte que la que produjo al Lahar Tena.

- En los análisis granulométricos, se observó que en algunas muestras obtenidas en las orillas de los ríos Misahualli, Pano y Tena presentaban una importante cantidad de arcillas (> 3%) lo que indicaba que el lahar era de tipo cohesivo. Sin embargo, este porcentaje de arcillas no serían parte de la litología del volcán Sierra Azul sino más bien de la Fm. Napo Shale, la cual presenta una gran cantidad de arcillas debido a su ambiente de depositación.
- Se presume que con una erupción del Volcán Sierra Azul (flanco oriental), primero se llenó las cabeceras superiores del río Misahualli, luego tuvo un retrabajamiento de los componentes volcánicos por lluvias, represamiento de ríos y quizás recibió un empuje por un terremoto local, facilitando el tránsito de la masa por toda la trayectoria hasta Tena. En el tránsito, el material volcánico erosionó el lecho de los cauces, incorporando la arcilla de la formación Napo y otras rocas exógenas.
- En los depósitos laháricos de los ríos Pano, Tena y Misahualli se pudo observar que en algunas zonas el depósito del lahar presentaba más contenido en material arcilloso y limoso, esta diferencia podría deberse a la actividad erosiva de cada río. Por un lado, tenemos al río Misahualli que presenta una alta erosión lateral por lo que no se encontró lutitas ni una cantidad significativa de arcillas en la matriz. El río Tena igualmente presenta erosión lateral por lo que no presentaba lutitas ni grandes porcentajes de arcillas. Por último, el río Pano presenta una baja erosión lateral y se pudo encontrar lutitas bien consolidadas en el barrio San Jorge y lutitas poco consolidadas en el balneario Guinea Chimbana que podría explicar la diferencia del 2% de arcillas en los puntos del río Pano.
- Se cree que el Lahar Tena bajó por el río Misahualli desde su fuente volcánica en la Cordillera Real, posiblemente por el flanco este del Volcán Sierra Azul (Mothes et al., en preparación\_2023). No se depositó entre la zona de Cotundo – Archidona por el gradiente empinante como se observa en **(Fig. 27)**



**Fig. 27** Perfil longitudinal Cotundo – Archidona (aproxidamente a 8 km de distancia)

En la **Fig. 28** de 8 km de distancia, con una pendiente de  $< 2\%$ , se empieza a observar al Lahar Tena debido a la poca pendiente presente en esta zona.



**Fig. 28** Perfil longitudinal Archidona – Tena (más de 9 km de distancia)

### 3.3 RECOMENDACIONES

- Se sugiere que se mejoren e instalen equipos y los instrumentos necesarios en las universidades del Ecuador para la realización de análisis geoquímicos y de radiometría por radiocarbono debido a que presenta demoras al momento de enviar las muestras a otras universidades de otros países para la realización de estos estudios y en algunos casos existe peligro por pérdida de las muestras enviadas a estos países.
- Se aconseja realizar modelamientos para el tránsito de lahares como el programa Lahar Z que es muy útil para modelar el comportamiento de los depósitos de flujo volcánico como los lahares, flujo de escombros, avalanchas, etc. Para este caso se requeriría la ubicación exacta del volcán Sierra Azul y los puntos en donde fue evidenciado el Lahar Tena.
- Se recomienda que se realice un estudio exhaustivo para determinar la existencia de volcanismo en la cordillera oriental de la provincia de Napo, lugar donde nacen tanto el

río Misahualli como los afluentes del río Tena y al mismo tiempo dejar instalando los instrumentos geológicos necesarios que midan la posible actividad volcánica que tengan estos volcanes aún no estudiados.

- El método de fluorescencia de rayos x (XRF) es uno de los métodos geoquímicos más eficaces en la obtención de elementos mayores y de elementos traza de muestras de rocas, por lo que se sugiere que se use este método en la realización de análisis geoquímicos, pero si se desea obtener elementos más ligeros como el Be y Li o elementos relacionados a sedimentos como REE, los mejores métodos para usar serían la absorción de fotones luminosos (AAS) o el ICP – MS.
- Se aconseja que se realicen varias charlas y talleres en escuelas, municipios, casas parroquiales, etc., en las ciudades de Tena y Archidona respecto a los depósitos de flujos volcánicos encontrados que aún no tienen un origen volcánico conocido, ya que es muy importante que la mayoría de la comunidad que viven ahí tengan una idea general acerca de las amenazas o peligros que pueden presentarse en la zona aparte de las inundaciones que también afecta a la ciudad de Tena.

## CAPITULO IV

### 4. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Blaauw, M. (2010). Radiocarbon calibration. Recuperado 6 de diciembre de 2022, de Clam website: <https://chrono.qub.ac.uk/blaauw/clam.html>
- ELE INTERNATIONAL. (2017). Recuperado 6 de diciembre de 2022, de Gradación - Tamices website: <https://schiller.com.ec/pdf/suelos/29%20Tamices.pdf>
- Jull, A. (2013). Radiocarbon calibration. Recuperado 6 de diciembre de 2022, de ScienceDirect website: <https://www.sciencedirect.com/topics/earth-and-planetary-sciences/radiocarbon-dating>
- Morata, D. (2005). Métodos analíticos en Geoquímica. Concepto de calidad, precisión y standard. Métodos analíticos para roca total (XRF, ICP, AAS, ICP – MS, INAA, ETC.). Métodos analíticos puntuales (Microsonda electrónica, microsonda iónica, LAM – ICP – MS). Recuperado 6 de diciembre de 2022, de U-Cursos website: [https://www.u-cursos.cl/ingenieria/2005/2/GL45C/1/material\\_docente/bajar?id\\_material=72547](https://www.u-cursos.cl/ingenieria/2005/2/GL45C/1/material_docente/bajar?id_material=72547)

- Mothes, Patricia & Hall, Minard L. & Andrade, Daniel & Samaniego, Patricio & Pierson, Thomas & Ruiz, Gorki & Yepes, Hugo. (2004). Character, stratigraphy, and magnitude of historical lahars of Cotopaxi volcano (Ecuador). *Acta Vulcanológica*. 16. 85-108.
- Mothes, P. (2010). *It's all in the matrix: infrequent occurrence of cohesive lahars at Cotopaxi Volcano, Ecuador*. Presentado en el Instituto Geofísico.
- Mothes, P., Hall, M. & Janda, R. The enormous Chillos Valley Lahar: an ash-flow-generated debris flow from Cotopaxi Volcano, Ecuador. *Bull Volcanol* 59, 233–244 (1998). <https://doi.org/10.1007/s004450050188>
- Mothes, P., & Marrero, J. M. (2015). *SEMINARIO SOBRE LAHARES*. Presentado en Instituto Geofísico.
- Ordoñez, J., Samaniego, P., Mothes, P., & Schilling, S. (2012). LOS LAHARES EN EL VOLCÁN COTOPAXI: Delimitación de las zonas amenazadas por desbordamientos e inundaciones de lahares. *Instituto Geofísico - EPN, Ecuador*.
- Río Misahualli. (2022). Recuperado 6 de diciembre de 2022, de GADM Archidona website: <https://archidona.gob.ec/turismo/%c2%bfque-hacer/turismo-de-aventura/item/rio-chuyayaku-2.html>
- Rosenbaum, Gideon & Sandiford, Mike & Caulfield, John & Garrison, Jennifer. (2018). A trapdoor mechanism for slab tearing and melt generation in the northern Andes. *Geology*. 47. 10.1130/G45429.1.
- Salgado, J. (2019). ESTUDIO DE LOS DEPÓSITOS VOLCÁNICOS DESDE EL PLEISTOCENO SUPERIOR DEL VOLCÁN SUMACO, PROVINCIAS DE NAPO Y ORELLANA. *Escuela Politécnica Nacional*.
- Scott, K., Vallance, J., & Pringle, P. (1995). Sedimentology, Behavior, and Hazards of Debris Flows at Mount Rainier, Washington. *U.S. GEOLOGICAL SURVEY PROFESSIONAL PAPER 1547*.
- Thomas C. Pierson, Richard J. Janda, Jean-Claude Thouret, Carlos A. Borrero, Perturbation and melting of snow and ice by the 13 November 1985 eruption of Nevado del Ruiz, Colombia, and consequent mobilization, flow and deposition of lahars, *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, Volume 41, Issues 1–4, 1990, Pages 17-66, ISSN 0377-0273, [https://doi.org/10.1016/0377-0273\(90\)90082-Q](https://doi.org/10.1016/0377-0273(90)90082-Q).
- Vallance, J. W. (2005). *Volcanic debris flow*. *Berlin Heidelberg*.
- Vallance, J. W. (2000). *LAHARS*. *McGill University*.

## CAPITULO V

### 5. ANEXOS

#### ANEXO I

#### UBICACIÓN DE LAS PARADAS EN DONDE SE REALIZÓ EL TRABAJO SISTEMÁTICO EN LOS AFLUENTES DE LOS RÍOS PANO, TENA Y MISAHUALLI.

Viaje del 02 - 04 de Junio del 2022		UTM			Presencia del lahar Tena
		x	y	h	
1	1 Parada - rio Jondachi	188250	9913810		No
2	Balneario Copoa - rio Misahualli	187542,8	9900158,01	580m	No
3	Balneario Pena Colorada - rio Tena	183570,84	9890349,01	522m	No
4	Afloramiento del lahar Tena - rio Tena	184041,78	9890525,04	514m	Si
5	Balneario Las Sogas (lahar) - rio Tena	184841,85	9890498,94	493m	Si
6	Balneario Guinea Chimbana (lahar) - rio Pano	184021,83	9888597,98	494m	Si
7	Parada monumento Jumandy - rio Misahualli	187683,76	9892858,94	494m	Si
8	Barrio San Luis (lahar) - rio Misahualli	187052,81	9891673,98	494m	Si
9	Via Archidona - Tena (lahar)	186824,84	9892675,97	520m	Si
10	Ciudad del tena - lado norte (lahar) - rio Tena	186883,77	9890556,01	519m	Si
11	Lahar - rio Tena	186857,84	9890525,01	512m	Si
Viaje del 20 - 22 de Noviembre del 2022					
12	Rio Urcusuqui	187682	9920924	1177m	No
13	Parada del rio Pano - rio Pano	176241	9890439	755m	No
14	Balneario Puka urco - rio Pano	176944	9888526	643m	No
15	Puente del rio Pano - rio Pano	180808	9887400	545m	No
16	Guinea Chimbana - rio Pano	184032	9888580	515m	Si
17	Barrio Ongota - rio Misahualli	190068	9890995	500m	No
18	Sitio Muyuna - rio Lopi	182498	9891073	518m	No
19	Barrio San Jorge (lahar) - rio Pano	185734	9888733	500m	Si
20	Barrio La Libertad - rio Inquillaqui	182903	9899177	659m	No
21	S de Archidona - rio Misahualli	186289	9899488	560m	No
22	Barrio Calmitoyacu - rio Misahualli	189906	9904552	680m	No
23	Balneario de Cotundo - rio Misahualli	188456	9906552	535m	Talvez

#### UBICACIÓN DE LAS PARADAS EN DONDE SE ENCONTRÓ EVIDENCIAS DEL DEPÓSITO DE FLUJO VOLCÁNICO (LAHAR TENA).

		UTM		
		x	y	h
1	Lahar - rio Misahualli	188330	9894710	513m
2	Lahar - rio Misahualli	187590	9892032	506m
3	W de Tena (lahar) - rio Pano	184114	9888621	513m
4	Rio Misahualli - N de Tena (lahar)	187590	9892032	507m
5	Balneario Pena Colorada	183570,84	9890349,01	522m
6	Afloramiento del lahar Tena - rio Tena	184041,78	9890525,04	514m
7	Balneario Las Sogas (lahar) - rio Tena	184841,85	9890498,94	493m
8	Balneario Guinea Chimbana (lahar) - rio Pano	184021,83	9888597,98	508m
9	Barrio San Luis (lahar) - rio Misahualli	187052,81	9891673,98	494m
10	Via Archidona - Tena (lahar)	186824,84	9892675,97	520m
11	Ciudad del tena - lado norte (lahar) - rio Tena	186883,77	9890556,01	519m
12	Lahar - rio Tena	186857,84	9890525,01	512m
13	Barrio San Jorge (lahar) - rio Pano	185734	9888733	500m
14	Balneario de Cotundo - rio Misahualli	188456	9906552	535m

## ANEXO II

### INFORME DE ANÁLISIS DE DATOS DE RADIOCARBONO



Report: 2534-047645

8 July 2022

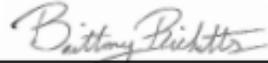
Customer: 2534  
 Patricia Mothes  
 Instituto Geofisico  
 Escuela Politecnica Nacional  
 Calle Andalucia y Ladron de Guevara  
 E-11  
 Quito  
 Ecuador

Samples submitted for radiocarbon dating on 21 June 2022 have been processed and measured by AMS. The following results were obtained:

DirectAMS code	Submitter ID	Sample type	Fraction of modern		Radiocarbon age	
			pMC	1 $\sigma$ error	BP	1 $\sigma$ error
D-AMS 047645	Rio Pano_No.1_ 04 June2022	organic (wood)	58.29	0.20	4336	28

Results are presented in units of percent modern carbon (pMC) and the uncalibrated radiocarbon age before present (BP). The results relate only to the sample material submitted and the portion analyzed. All results have been corrected for isotopic fractionation with an unreported  $\delta^{13}\text{C}$  value measured on the prepared carbon by the accelerator. The pMC reported requires no further correction for fractionation.

  
 Alyssa M Tate, MS  
 Director of Laboratory Operations  
 Data Analyst

  
 Brittany Ricketts, MA  
 Director of Archaeological Services  
 Quality Review

  
 Jonathan Helle  
 Director of AMS Services  
 Quality Review



Consistent Accuracy . . .  
... Delivered On-time

Beta Analytic Inc.  
4985 SW 74 Court  
Miami, Florida 33155 USA  
Tel: 305 667 5167  
Fax: 305 663 0964  
Beta@radiocarbon.com  
www.radiocarbon.com

Darden Hood  
President

Ronald Hatfield  
Christopher Patrick  
Deputy Directors

February 2, 2016

Ms. Patricia Mothes  
Escuela Politecnica Nacional  
Instituto Geofisico  
Casilla 1701-2759  
Quito, Ecuador

RE: Radiocarbon Dating Result For Sample TENA3-2015

Dear Ms. Mothes:

Enclosed is the radiocarbon dating result for one sample recently sent to us. As usual, specifics of the analysis are listed on the report with the result and calibration data is provided where applicable. The Conventional Radiocarbon Age has been corrected for total fractionation effects and where applicable, calibration was performed using 2013 calibration databases (cited on the graph pages).

The web directory containing the table of results and PDF download also contains pictures, a cvs spreadsheet download option and a quality assurance report containing expected vs. measured values for 3-5 working standards analyzed simultaneously with your samples.

The reported result is accredited to ISO/IEC 17025:2005 Testing Accreditation PJLA #59423 standards and all pretreatments and chemistry were performed here in our laboratories and counted in our own accelerators here in Miami. Since Beta is not a teaching laboratory, only graduates trained to strict protocols of the ISO/IEC 17025:2005 Testing Accreditation PJLA #59423 program participated in the analysis.

As always Conventional Radiocarbon Ages and sigmas are rounded to the nearest 10 years per the conventions of the 1977 International Radiocarbon Conference. When counting statistics produce sigmas lower than +/- 30 years, a conservative +/- 30 BP is cited for the result. The reported d13C was measured separately in an IRMS (isotope ratio mass spectrometer). It is NOT the AMS d13C which would include fractionation effects from natural, chemistry and AMS induced sources.

The cost of the analysis was charged to the VISA card provided. Thank you. As always, if you have any questions or would like to discuss the results, don't hesitate to contact me.

Sincerely,

A handwritten signature in black ink that reads "Darden Hood". Below the signature, the text "Digital signature on file" is printed in a small font.



**BETA ANALYTIC INC.**

DR. M.A. TAMERS and MR. D.G. HOOD

4985 S.W. 74 COURT  
MIAMI, FLORIDA, USA 33155  
PH: 305-667-5167 FAX:305-663-0964  
beta@radiocarbon.com

## REPORT OF RADIOCARBON DATING ANALYSES

Ms. Patricia Mothes

Report Date: 2/2/2016

Escuela Politecnica Nacional

Material Received: 12/30/2015

Sample Data	Measured Radiocarbon Age	d13C	Conventional Radiocarbon Age(*)
Beta - 427886 SAMPLE : TENA3-2015 ANALYSIS : RadiometricPLUS-Standard delivery MATERIAL/PRETREATMENT : (wood): acid/alkali/acid 2 SIGMA CALIBRATION : Cal BC 3020 to 2895 (Cal BP 4970 to 4845)	4400 +/- 30 BP	-26.5 o/oo	4380 +/- 30 BP

Dates are reported as RCYBP (radiocarbon years before present, "present" = AD 1950). By international convention, the modern reference standard was 95% the <sup>14</sup>C activity of the National Institute of Standards and Technology (NIST) Oxalic Acid (SRM 4990C) and calculated using the Libby <sup>14</sup>C half-life (5568 years). Quoted errors represent 1 relative standard deviation statistics (68% probability) counting errors based on the combined measurements of the sample, background, and modern reference standards. Measured <sup>13</sup>C/<sup>12</sup>C ratios (delta 13C) were calculated relative to the PDB-1 standard.

The Conventional Radiocarbon Age represents the Measured Radiocarbon Age corrected for isotopic fractionation, calculated using the delta 13C. On rare occasion where the Conventional Radiocarbon Age was calculated using an assumed delta 13C, the ratio and the Conventional Radiocarbon Age will be followed by "\*\*". The Conventional Radiocarbon Age is not calendar calibrated. When available, the Calendar Calibrated result is calculated from the Conventional Radiocarbon Age and is listed as the "Two Sigma Calibrated Result" for each sample.

# CALIBRATION OF RADIOCARBON AGE TO CALENDAR YEARS

(Variables: C13/C12 = -26.5 o/oo : lab. mult = 1)

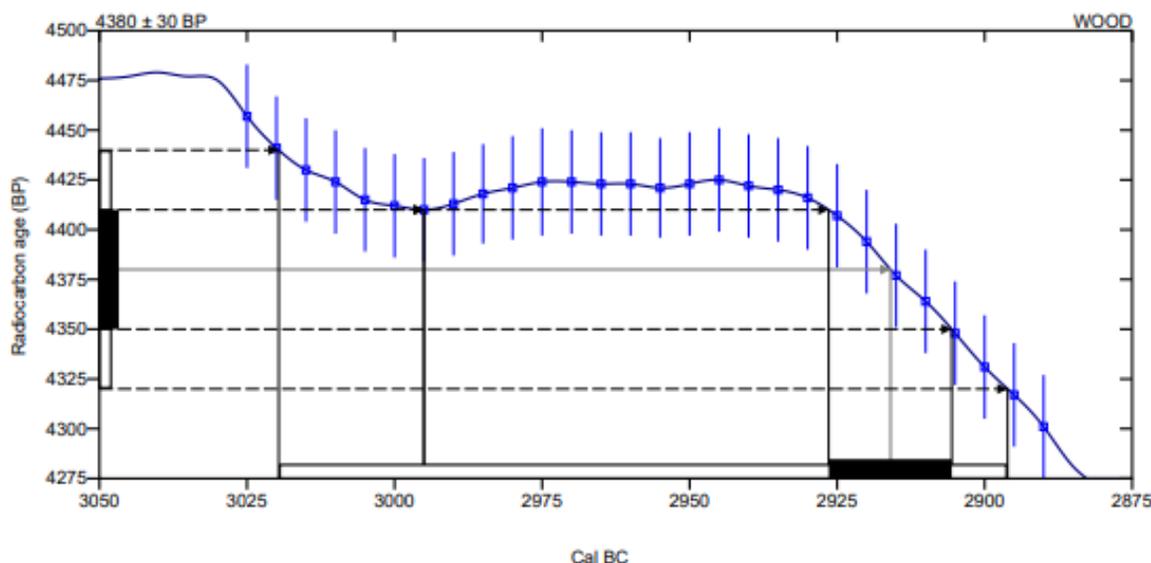
Laboratory number    **Beta-427886 : TENA3-2015**

Conventional radiocarbon age    **4380 ± 30 BP**

Calibrated Result (95% Probability)    **Cal BC 3020 to 2895 (Cal BP 4970 to 4845)**

Intercept of radiocarbon age with calibration curve    **Cal BC 2915 (Cal BP 4865)**

Calibrated Result (68% Probability)    **Cal BC 2925 to 2905 (Cal BP 4875 to 4855)**



Database used  
SHCAL13

## References

### Mathematics used for calibration scenario

A Simplified Approach to Calibrating C14 Dates, Talma, A. S., Vogel, J. C., 1993, Radiocarbon 35(2):317-322

### References to SHCAL13 database

Hogg AG, Hua Q, Blackwell PG, Niu M, Buck CE, Guilderson TP, Heaton TJ, Palmer JG, Reimer PJ, Reimer RW, Turney CSM, Zimmerman SRH. 2013. SHCal13 Southern Hemisphere calibration, 0–50,000 years cal BP. Radiocarbon 55(4):1889–1903.

## Beta Analytic Radiocarbon Dating Laboratory

4985 S.W. 74th Court, Miami, Florida 33155 • Tel: (305)667-5167 • Fax: (305)663-0964 • Email: beta@radiocarbon.com



Radiocarbon Dating

Consistent Accuracy  
Delivered On-Time

Beta Analytic Inc.  
4985 SW 74 Court  
Miami, Florida 33155 USA  
Tel: 305-667-5167  
Fax: 305-663-0964  
info@betalabservices.com  
www.betalabservices.com

Mr. Darden Hood  
President

Mr. Ronald Hatfield  
Mr. Christopher Patrick  
Deputy Directors

The Radiocarbon Laboratory Accredited to ISO/IEC 17025:2005 Testing Accreditation PJLA #59423

### Quality Assurance Report

This report provides the results of reference materials used to validate radiocarbon analyses prior to reporting. Known value reference materials were analyzed quasi-simultaneously with the unknowns. Results are reported as expected values vs measured values. Reported values are calculated relative to NIST SRM-4990B and corrected for isotopic fractionation. Results are reported using the direct analytical measure percent modern carbon (pMC) with one relative standard deviation.

Report Date: February 02, 2016  
Submitter : Ms. Patricia Mothes

#### QA MEASUREMENTS

Reference 1	Expected Value: 96.7 +/- 0.5 pMC Measured Value: 96.6 +/- 0.4 pMC Agreement: Accepted
Reference 2	Expected Value: 129.4 +/- 0.1 pMC Measured Value: 129.6 +/- 0.3 pMC Agreement: Accepted
Reference 3	Expected Value: 2.3 +/- 0.2 pMC Measured Value: 2.3 +/- 0.1 pMC Agreement: Accepted

COMMENT: All measurements passed acceptance tests.

Validation:

Date: February 02, 2016

### ANEXO III

#### BOMBAS VOLCÁNICAS ENCONTRADAS EN LAS PARADAS GUINEA CHIMBANA, BARRIO SAN JORGE, VÍA ARCHIDONA – TENA Y EN LAS ORILLAS DEL RÍO MISAHUALLI.



*Fig. 29 Bomba volcánica encontrada en el río Pano en el balneario Guinea Chimbana.*



*Fig. 30 Bomba volcánica encontrada en la matriz del Lahar Tena en la vía Archidona – Tena.*



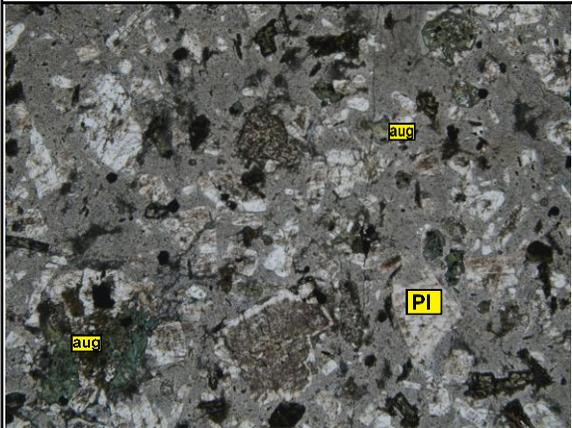
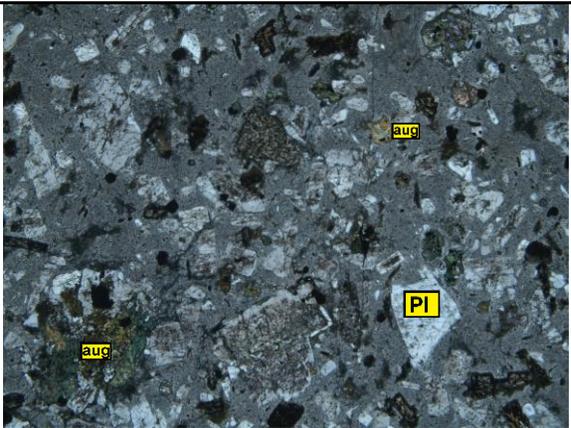
**Fig. 31** Bomba volcánica encontrada en la matriz del Lahar Tena en el barrio San Jorge en el río Pano.

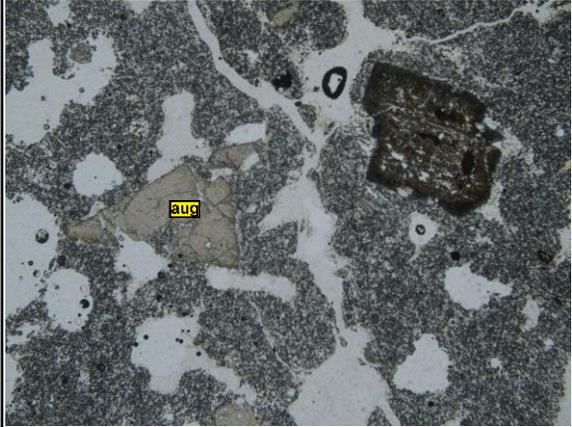
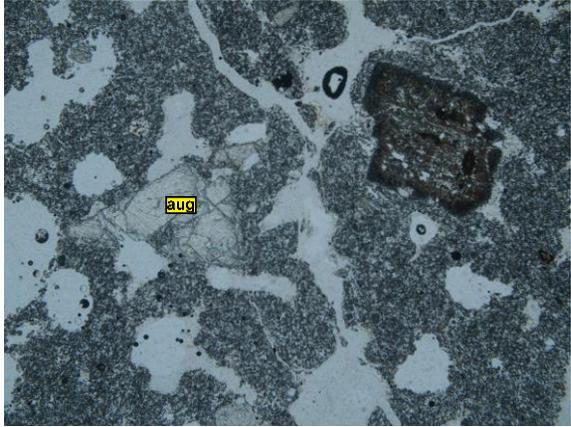


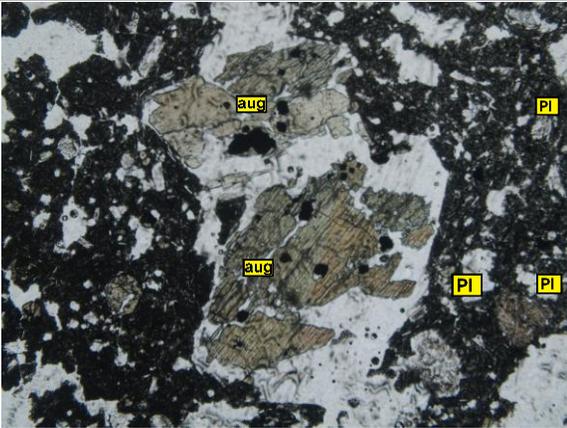
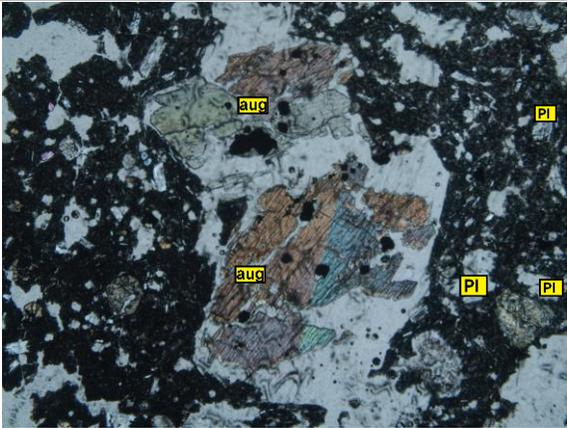
*Fig. 32 Bomba volcánica con textura corteza de pan encontrada en la matriz del Lahar Tena en las orillas del río Misahualli.*

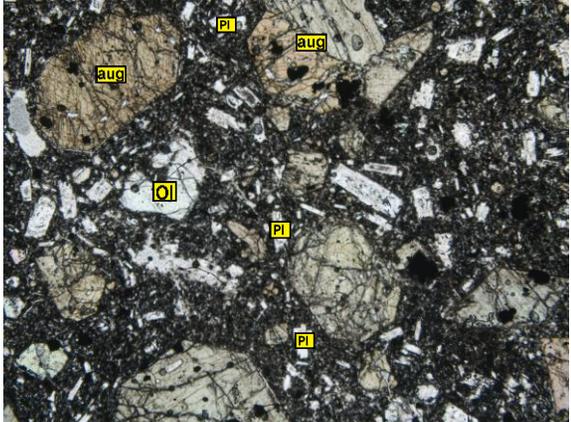
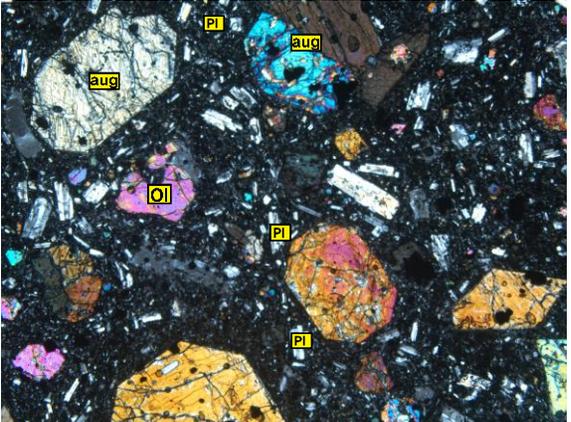
#### **ANEXO IV**

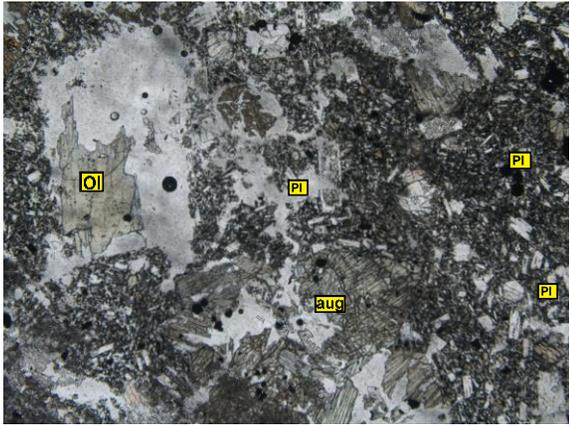
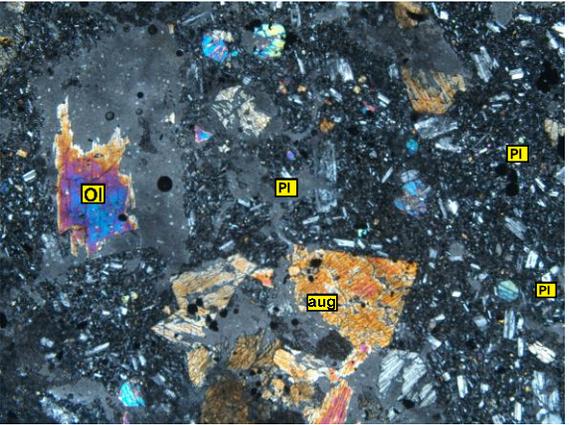
### **DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA DE LAS MUESTRAS DE LÍTICOS VOLCÁNICOS ENCONTRADOS EN EL LAHAR TENA**

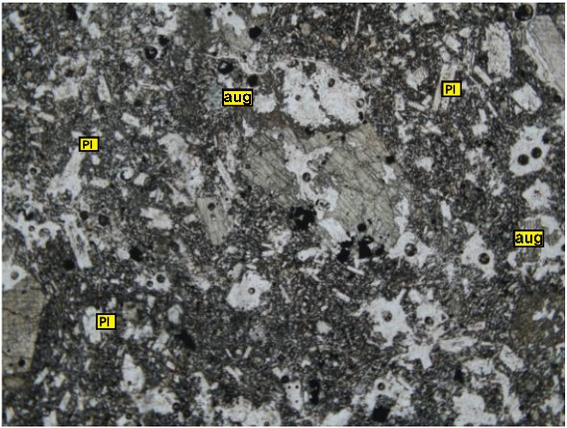
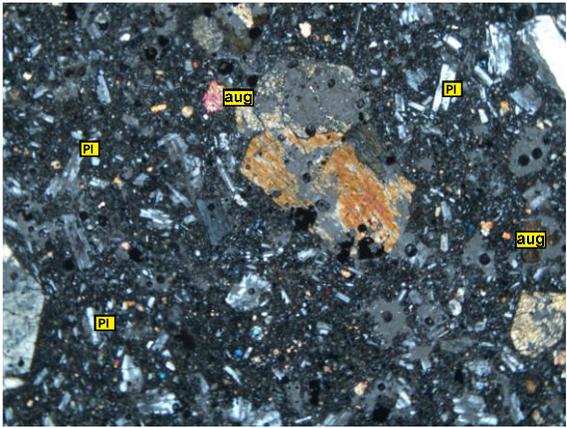
<b>Número de lámina delgada:</b>	SUM-Mis_Ag21_#1	<b>Localización:</b>	178330/9894710_513m (UTM)
<b>1. Composición Mineralógica:</b>			
<b>Aumento:</b>	2,5x (8mm)		
<b>Mineral (% vol.)</b>	<b>Propiedades</b>	<b>Otras observaciones</b>	
Plagioclasa (10%)	Fenocristales incoloros euhedrales y subhedrales, presentan maclas polisintéticas.	Algunas presentan inclusiones de óxidos de hierro y piroxenos	
Cuarzo (5%)	Fenocristales incoloros anhedrales.		
Feldespato (6%)	Fenocristales incoloros euhedrales y mayormente subhedrales, presentan maclas polisintéticas.	Algunos presentan inclusiones de óxidos de hierro y bordes de descomposición	
Augita (4%)	Fenocristales subhedrales y anhedrales, colores de interferencia de 2do - 3er orden, extinción oblicua, presenta maclas simples	Algunos presentan bordes de descomposición	
Olivino (3%)	Fenocristales anhedrales, colores de interferencia de 3er orden		
Clorita (1,5%)	Fenocristales subhedrales, pleocroísmo de verde a pardo	Presentaba inclusiones de piroxenos	
<b>2. Minerales accesorios</b>	Minerales opacos (2%), anhedrales y alterados		
<b>3. Agregados cristalinos</b>	Presentes en un 5%, formados principalmente de óxidos de Fe		
<b>4. Texturas y microestructuras</b>	Textura porfirítica, estructura desordenada maciza		
<b>5. Matriz</b>	Gris oscuro, contiene microlitos de plagioclasa, óxidos de hierro y vidrio		
<b>6. Fotografías</b>	<b>LPP</b>		<b>XLP</b>
			
<b>7. Nombre de la muestra</b>	Bomba - tipo Sumaco in lahar del río Misahualli		

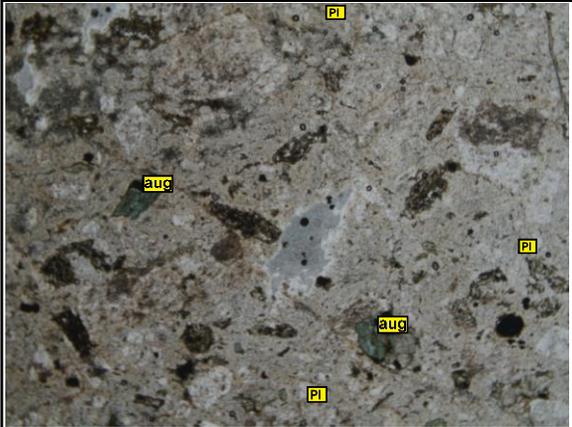
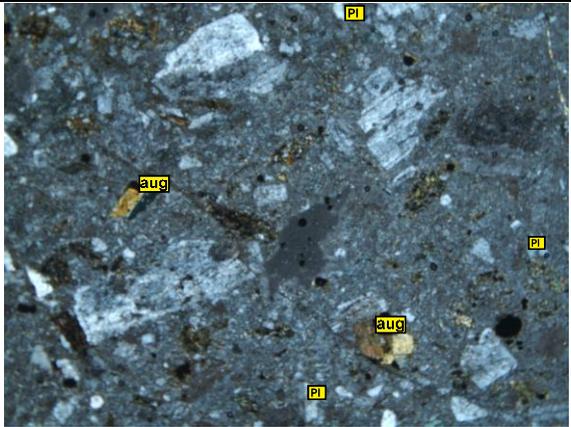
<b>Número de lámina delgada:</b>	SUM-Mis_Ag21_#2	<b>Localización:</b>	018759/9892032_507m (UTM)
<b>1. Composición Mineralógica:</b>			
<b>Aumento:</b>	2,5x (8mm)		
<b>Mineral (% vol.)</b>	<b>Propiedades</b>	<b>Otras observaciones</b>	
Plagioclasa (9%)	Fenocristales incoloros euhedrales y subhedrales, presentan maclas polisintéticas.	Algunas presentan inclusiones de óxidos de hierro	
Augita (7%)	Fenocristales subhedrales y anhedrales, colores de interferencia de 2do - 3er orden, extinción oblicua, presenta maclas simples	Algunos presentan bordes de descomposición e inclusiones de plagioclasas, impurezas de Ti	
<b>2. Minerales accesorios</b>	Minerales opacos (2,5%), anhedrales y alterados		
<b>3. Agregados cristalinos</b>	Presentes en un 3% formados principalmente de px y plagioclasas		
<b>4. Texturas y microestructuras</b>	Textura porfirítica, estructura pilotaxítica y vesicular		
<b>5. Matriz</b>	Pardo a verde oscuro, matriz microlítica, contiene microlitos de plagioclasa, óxidos de hierro y vidrio		
<b>6. Fotografías</b>	<b>LPP</b>		<b>XLP</b>
			
<b>7. Nombre de la muestra</b>	Bomba_tipo Sumaco in lahar del río Misahualli		

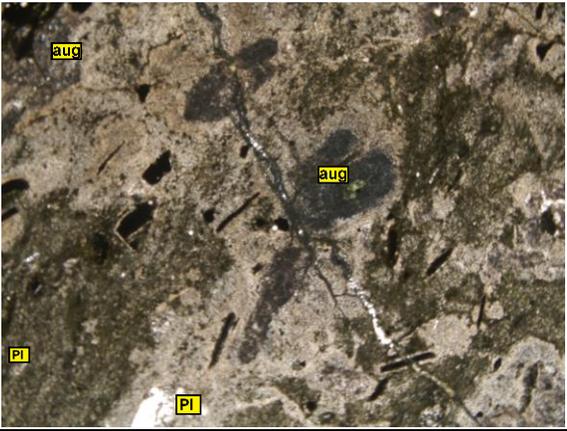
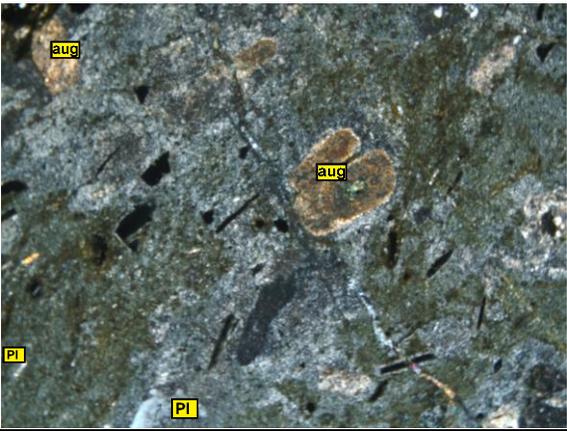
<b>Número de lámina delgada:</b>	SUM-Pan_Ag21_#4	<b>Localización:</b>	184114/9888621 (UTM)
<b>1. Composición Mineralógica:</b>			
<b>Aumento:</b>	2,5x (8mm)		
<b>Mineral (% vol.)</b>	<b>Propiedades</b>	<b>Otras observaciones</b>	
Plagioclasa (8%)	Fenocristales incoloros euhedrales y subhedrales, presentan maclas polisintéticas.		
Augita (6%)	Fenocristales subhedrales y anhedrales, colores de interferencia de 2do - 3er orden, extinción oblicua, presenta maclas simples y clivaje	Algunos presentan bordes de descomposición e inclusiones de óxidos de hierro y plagioclasas	
Olivino (2%)	Fenocristales anhedrales, colores de interferencia de 3er orden	Algunos presentan coronas de reacción	
<b>2. Minerales accesorios</b>	Minerales opacos (1,5%), subhedrales anhedrales y alterados		
<b>3. Agregados cristalinos</b>	Presentes en un 4% formados principalmente de px, olivinos y plagioclasas		
<b>4. Texturas y microestructuras</b>	Textura porfirítica, estructura pilotaxítica y vesicular		
<b>5. Matriz</b>	Gris oscuro a negro, matriz microlítica, contiene microlitos de plagioclasa, óxidos de hierro y vidrio		
<b>6. Fotografías</b>	<b>LPP</b>	<b>XLP</b>	
			
<b>7. Nombre de la muestra</b>	Bomba / Clasto en lahar del río Pano		

<b>Número de lámina delgada:</b>	PANO_1	<b>Localización:</b>	184021,83 / 9888597,98_494 m (UTM)
<b>1. Composición Mineralógica:</b>			
<b>Aumento:</b>	2,5x (8mm)		
<b>Mineral (% vol.)</b>	<b>Propiedades</b>	<b>Otras observaciones</b>	
Plagioclasa (10%)	Fenocristales incoloros euhedrales y subhedrales, presentan maclas polisintéticas.		
Augita (7%)	Fenocristales subhedrales y anhedrales, colores de interferencia de 2do - 3er orden, extinción oblicua, presenta maclas simples	Algunos presentan bordes de reacción e inclusiones de óxidos de hierro y plagioclasas, impurezas de Ti	
Olivino (3,5%)	Fenocristales anhedrales, colores de interferencia de 3er orden	Algunos presentan coronas de reacción y zonaciones	
<b>2. Minerales accesorios</b>	Minerales opacos (1,5%), subhedrales anhedrales y alterados		
<b>3. Agregados cristalinos</b>	Presentes en un 4% formados principalmente de px, olivinos y plagioclasas		
<b>4. Texturas y microestructuras</b>	Textura porfirítica, estructura desordenada maciza		
<b>5. Matriz</b>	Gris oscuro, matriz microlítica, contiene microlitos de plagioclasa, óxidos de hierro y vidrio		
<b>6. Fotografías</b>	<b>LPP</b>	<b>XLP</b>	
			
<b>7. Nombre de la muestra</b>	Basalto del lahar del río Pano		

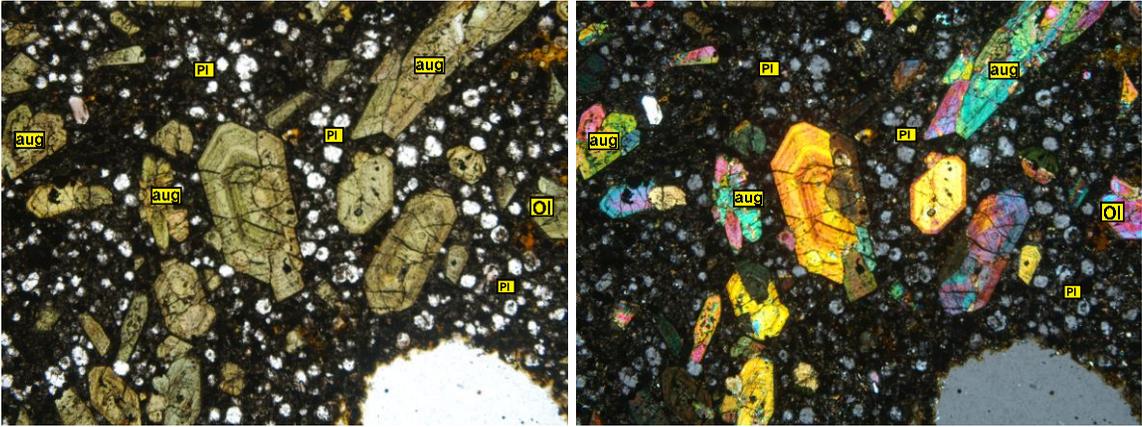
<b>Número de lámina delgada:</b>	PANO_2	<b>Localización:</b>	184021,83 / 9888597,98_494 m (UTM)
<b>1. Composición Mineralógica:</b>			
<b>Aumento:</b>	2,5x (8mm)		
<b>Mineral (% vol.)</b>	<b>Propiedades</b>	<b>Otras observaciones</b>	
Plagioclasa (8,5%)	Fenocristales incoloros euhedrales y subhedrales, presentan maclas polisintéticas y de carlsbad.		
Augita (6%)	Fenocristales subhedrales y anhedrales, colores de interferencia de 2do - 3er orden, extinción oblicua, presenta maclas simples	Algunos presentan bordes de reacción e inclusiones de óxidos de hierro y plagioclasas	
Olivino (2%)	Fenocristales anhedrales, colores de interferencia de 3er orden	Algunos presentan coronas de reacción y zonaciones	
<b>2. Minerales accesorios</b>	Minerales opacos (2%), subhedrales anhedrales y alterados		
<b>3. Agregados cristalinos</b>	Presentes en un 3% formados principalmente de px, olivinos y plagioclasas		
<b>4. Texturas y microestructuras</b>	Textura porfirítica, estructura pilotaxítica y vesicular		
<b>5. Matriz</b>	Gris verdoso, matriz microlítica, contiene microlitos de plagioclasa, óxidos de hierro y vidrio		
<b>6. Fotografías</b>	<b>LPP</b>		<b>XLP</b>
			
<b>7. Nombre de la muestra</b>	Basalto vesicular del lahar del río Pano		

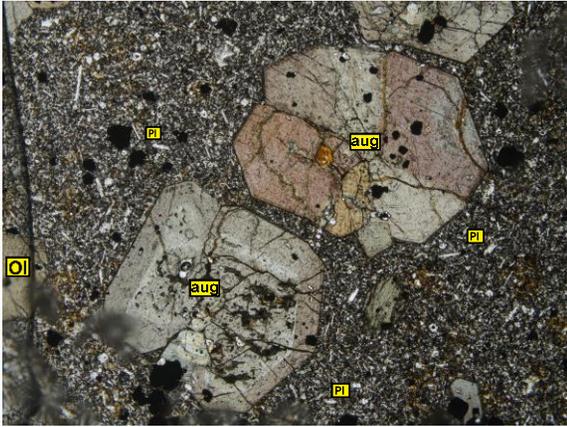
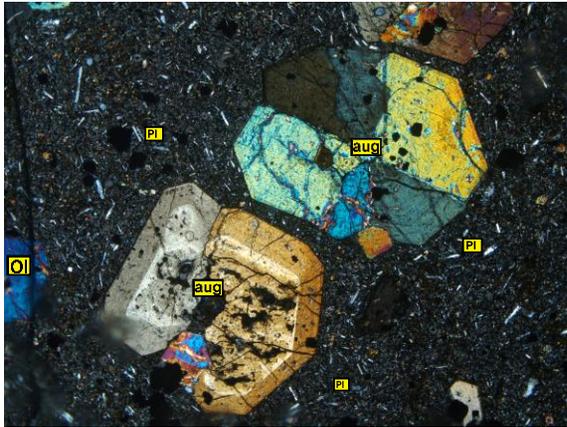
<b>Número de lámina delgada:</b>	PANO_3	<b>Localización:</b>	184021,83 / 9888597,98_494 m (UTM)
<b>1. Composición Mineralógica:</b>			
<b>Aumento:</b>	2,5x (8mm)		
<b>Mineral (% vol.)</b>	<b>Propiedades</b>	<b>Otras observaciones</b>	
Plagioclasa (8,5%)	Fenocristales incoloros euhedrales y subhedrales, presentan maclas polisintéticas y de carlsbad.		
Augita (5,5%)	Fenocristales subhedrales y anhedrales, colores de interferencia de 2do - 3er orden, extinción oblicua, presenta maclas simples	Algunos presentan bordes de reacción e inclusiones de óxidos de hierro y plagioclasas, impurezas de Ti	
Olivino (4%)	Fenocristales anhedrales, colores de interferencia de 3er orden		
Hauyina (3%)	Fenocristales de color azul claro subhedrales y euhedrales, isótropo	Algunos presentan texturas de reabsorción y inclusiones de óxidos y minerales opacos	
<b>2. Minerales accesorios</b>	Minerales opacos (2%), subhedrales anhedrales y alterados		
<b>3. Agregados cristalinos</b>	Presentes en un 4% formados principalmente de px, olivinos y plagioclasas		
<b>4. Texturas y microestructuras</b>	Textura porfírica, estructura traquítica y vesicular		
<b>5. Matriz</b>	Gris pardoso, matriz microlítica, contiene microlitos de plagioclasa, piroxenos y vidrio		
<b>6. Fotografías</b>	<b>LPP</b>		<b>XLP</b>
			
<b>7. Nombre de la muestra</b>	Tefrita del lahar del río Pano		

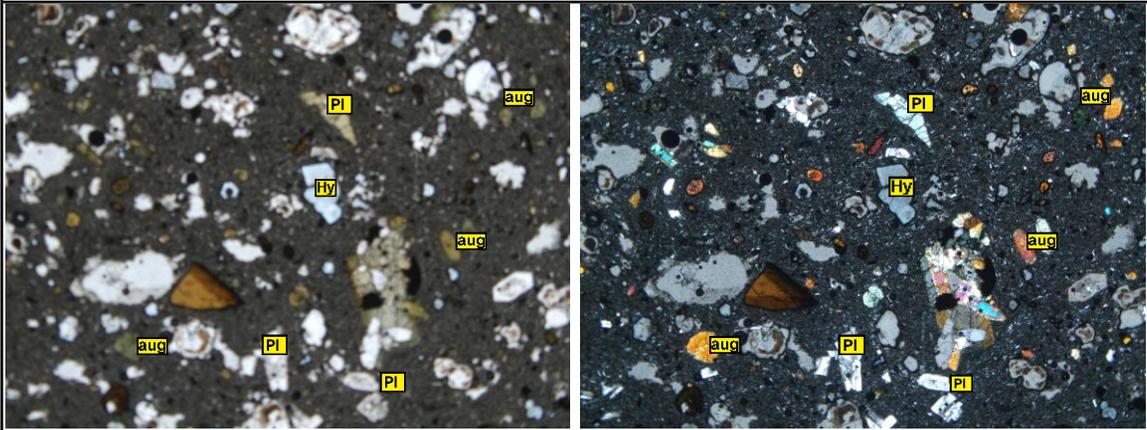
<b>Número de lámina delgada:</b>	PANO_4	<b>Localización:</b>	184021,83 / 9888597,98_494 m (UTM)
<b>1. Composición Mineralógica:</b>			
<b>Aumento:</b>	2,5x (8mm)		
<b>Mineral (% vol.)</b>	<b>Propiedades</b>	<b>Otras observaciones</b>	
Plagioclasa (8%)	Fenocristales incoloros euhedrales y subhedrales, presentan maclas polisintéticas.		
Augita (5%)	Fenocristales subhedrales y anhedrales, colores de interferencia de 2do - 3er orden, extinción oblicua, presenta maclas simples	Algunos presentan bordes de reacción e inclusiones de óxidos de hierro y plagioclasas, impurezas de Ti	
Hauyña (1,5%)	Fenocristales de color azul claro subhedrales y euhedrales, isótropo	Algunos presentan texturas de reabsorción y inclusiones de óxidos y minerales opacos	
<b>2. Minerales accesorios</b>	Minerales opacos (3%), subhedrales anhedrales y alterados		
<b>3. Agregados cristalinos</b>	Presentes en un 5% formados principalmente de px, óxidos de hierro y plagioclasas		
<b>4. Texturas y microestructuras</b>	Textura porfirítica, estructura desordenada maciza		
<b>5. Matriz</b>	Café claro, matriz microlítica, contiene microlitos de plagioclasa, piroxenos y vidrio		
<b>6. Fotografías</b>	<b>LPP</b>	<b>XLP</b>	
			
<b>7. Nombre de la muestra</b>	Andesita porfirítica del lahar del río Pano		

<b>Número de lámina delgada:</b>	V.ARCHIDONA-TENA	<b>Localización:</b>	186824,84 / 9892675,97_520 m (UTM)
<b>1. Composición Mineralógica:</b>			
<b>Aumento:</b>	2,5x (8mm)		
<b>Mineral (% vol.)</b>	<b>Propiedades</b>	<b>Otras observaciones</b>	
Plagioclasa (12%)	Fenocristales incoloros euhedrales y subhedrales, presentan maclas polisintéticas.		
Augita (6%)	Fenocristales subhedrales y anhedrales, colores de interferencia de 2do - 3er orden, extinción oblicua, presenta maclas simples	Algunos presentan bordes de reacción e inclusiones de óxidos de hierro y plagioclasas, impurezas de Ti	
<b>2. Minerales accesorios</b>			
Minerales opacos (4%), subhedrales anhedrales y alterados			
<b>3. Agregados cristalinos</b>			
Presentes en un 3,5% formados principalmente de px, óxidos de hierro y plagioclasas			
<b>4. Texturas y microestructuras</b>			
Textura porfírica, estructura desordenada maciza			
<b>5. Matriz</b>			
Café claro a oscuro, matriz microlítica, contiene microlitos de plagioclasa, piroxenos y vidrio			
<b>6. Fotografías</b>	<b>LPP</b>		<b>XLP</b>
			
<b>7. Nombre de la muestra</b>	Bomba de lahar de la Vía Archidona - Tena		

## DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA DE LAS MUESTRAS DE LÍTICOS VOLCÁNICOS DEL VOLCÁN SUMACO

<b>Número de lámina delgada:</b>	SUM-Orit_Oct21_#10	<b>Localización:</b>	0206627/9918252_1164m (UTM)
<b>1. Composición Mineralógica:</b>			
<b>Aumento:</b>	<b>2,5x (8mm)</b>		
<b>Mineral (% vol.)</b>	<b>Propiedades</b>	<b>Otras observaciones</b>	
Plagioclasa (8%)	Fenocristales incoloros euhedrales y subhedrales, presentan maclas polisintéticas.		
Augita (6,5%)	Fenocristales subhedrales y anhedrales, colores de interferencia de 2do - 3er orden, extinción oblicua, presenta maclas simples	Algunos presentan bordes de descomposición e inclusiones de óxidos de hierro y plagioclasas	
Olivino (1,5%)	Fenocristales anhedrales, colores de interferencia de 3er orden	Algunos presentan coronas de reacción y zonaciones	
Zircón (0,5%)	Fenocristales euhedrales, colores de interferencia de 3er orden	Presentan zonación	
<b>2. Minerales accesorios</b>	Minerales opacos (2%), subhedrales anhedrales y alterados		
<b>3. Agregados cristalinos</b>	Presentes en un 3% formados principalmente de px, olivinos y plagioclasas		
<b>4. Texturas y microestructuras</b>	Textura porfírica, estructura desordenada maciza		
<b>5. Matriz</b>	Pardo a naranja, contiene microlitos de plagioclasa, piroxenos y vidrio		
<b>6. Fotografías</b>	<b>LPP</b>	<b>XLP</b>	
			
<b>7. Nombre de la muestra</b>	Bomba en PF encontrada en la quebrada Orituyacu		

<b>Número de lámina delgada:</b>	SUM-PucAl-Oct21_#11	<b>Localización:</b>	0212121/993272_1756m (UTM)
<b>1. Composición Mineralógica:</b>			
<b>Aumento:</b>	2,5x (8mm)		
<b>Mineral (% vol.)</b>	<b>Propiedades</b>	<b>Otras observaciones</b>	
Plagioclasa (10%)	Fenocristales incoloros euhedrales y subhedrales, presentan maclas polisintéticas.		
Augita (9%)	Fenocristales subhedrales y anhedrales, colores de interferencia de 2do - 3er orden, extinción oblicua, presenta maclas simples	Algunos presentan bordes de reacción e inclusiones de óxidos de hierro y plagioclasas, impurezas de Ti	
Anfíbol (3%)	Fenocristales subhedrales, colores de interferencia de 2do orden, pleocroísmo de color café claro	Algunos presentan inclusiones de plagioclasas	
Olivino (2,5%)	Fenocristales anhedrales, colores de interferencia de 3er orden	Algunos presentan coronas de reacción	
<b>2. Minerales accesorios</b>	Minerales opacos (2,5%), subhedrales anhedrales y alterados		
<b>3. Agregados cristalinos</b>	Presentes en un 4% formados principalmente de px, olivinos y plagioclasas		
<b>4. Texturas y microestructuras</b>	Textura porfírica, estructura traquítica		
<b>5. Matriz</b>	Pardo, matriz microlítica, contiene microlitos de plagioclasa, piroxenos y vidrio		
<b>6. Fotografías</b>	<b>LPP</b>		<b>XLP</b>
			
<b>7. Nombre de la muestra</b>	Lava encontrada en la quebrada Pucuno		

<b>Número de lámina delgada:</b>	SUM-36	<b>Localización:</b>	189515 / 9888593_570 m (UTM)
<b>1. Composición Mineralógica:</b>			
<b>Aumento:</b>	2,5x (8mm)		
<b>Mineral (% vol.)</b>	<b>Propiedades</b>	<b>Otras observaciones</b>	
Plagioclasa (8%)	Fenocristales incoloros euhedrales y subhedrales, presentan maclas polisintéticas y de carlsbad.		
Augita (5%)	Fenocristales subhedrales y anhedrales, colores de interferencia de 2do - 3er orden, extinción oblicua, presenta maclas simples	Algunos presentan bordes de reacción e inclusiones de óxidos de hierro y plagioclasas, impurezas de Ti	
Anfíbol (4%)	Fenocristales subhedrales, colores de interferencia de 2do orden, pleocroísmo de color café claro	Algunos presentan borde de oxidación e inclusiones de piroxenos	
Hauyña (4%)	Fenocristales de color azul claro subhedrales y euhedrales, isótropo	Algunos presentan texturas de reabsorción y inclusiones de óxidos y minerales opacos	
<b>2. Minerales accesorios</b>	Minerales opacos (2%), subhedrales anhedrales y alterados		
<b>3. Agregados cristalinos</b>	Presentes en un 4% formados principalmente de px, olivinos y plagioclasas		
<b>4. Texturas y microestructuras</b>	Textura porfírica, estructura traquítica y vesicular		
<b>5. Matriz</b>	Gris, matriz microlítica, contiene microlitos de plagioclasa, piroxenos y vidrio		
<b>6. Fotografías</b>	<b>LPP</b>	<b>XLP</b>	
			
<b>7. Nombre de la muestra</b>	Roca de flujo de lava cerca del bypass de Tena - Puerto Napo		

## ANEXO V

### ANÁLISIS GEOQUÍMICOS DE LAS ROCAS DEL DEPÓSITO DE FLUJO VOLCÁNICO – LAHAR TENA & VOLCÁN SIERRA AZUL (ELEMENTOS MAYORES)

Muestras extraídas del lahar Tena - Elementos mayores														
Tipo de Roca	Sample	UTM Location	SiO2	TiO2	Al2O3	FeO*	MnO	MgO	CaO	Na2O	K2O	P2O5	Total	
Pieza de bomba	Moth-14-Ap22	MOT 2486-14	018759/9892032, 507m Lahar Misahualli, N. of Tena	46,49	1,53	16,96	10,47	0,20	6,66	11,64	3,87	1,24	0,94	100,00
Bomba de lahar	Moth-15-Ap22	MOT 2486-15	184114/9888621, 513m, Stop 5, Río Pano, W of Tena	46,67	1,53	16,87	10,40	0,20	6,69	11,55	4,12	1,05	0,94	100,00
Bomba de lahar	Tena_Bypass	187578/9887319, 580m, al S de la ciudad Tena	46,60	1,33	18,84	9,81	0,29	3,90	11,71	4,60	1,96	0,97	100,00	
Andesita	HAL	PAM-4-18	018759/9892032, 506m, Tena Area, Misahualli River	63,92	0,58	16,85	4,66	0,11	1,54	3,99	3,72	4,42	0,20	100,00
Andesita	Mothes4_Sept22	MOT 2550-4	186824/9892675, 520m, N. Tena, Archidone-Tena Hwy.	64,76	0,62	17,05	4,20	0,09	1,30	3,19	4,47	4,05	0,26	100,00
Basalto vesicular	Mothes5_Sept22	MOT 2550-5	184021/9888597, 508m, Guinea Chimbana 1, Río Pano	46,50	1,51	16,75	10,46	0,20	6,61	11,47	4,47	1,07	0,96	100,00
Basalto olivínico	Mothes6_Sept22	MOT 2550-6	184021/9888597, 508m, Guinea Chimbana 2, Río Pano	46,96	1,52	17,11	10,09	0,20	6,39	11,31	4,40	1,07	0,94	100,00
Green-Grey ppx-andesites (flujo de lava)	HAL-135- Sierra Azul Lava-- Base of Waterfall	173069/9921368		50,64	1,06	17,89	10,54	0,20	5,73	7,82	3,53	2,17	0,42	100,00
Grey Porph-plag-biot-hbd (flujo de lava)	HAL-136-- Sierra Azul Lava-- up 10 m from base	173069/9921368		66,01	0,43	18,21	4,22	0,07	0,43	2,62	4,56	3,15	0,30	100,00

### ANÁLISIS GEOQUÍMICOS DE LAS ROCAS DEL VOLCÁN SUMACO (ELEMENTOS MAYORES)

Muestras de rocas extraídas del volcán sumaco - Elementos mayores														
Tipo de Roca	Date	Sample	UTM Location	SiO2	TiO2	Al2O3	FeO*	MnO	MgO	CaO	Na2O	K2O	P2O5	Total
Roca de avalancha	PAM12_19-6	MOT2208-5	206146/9920188, Río Guamani	47,40	1,38	19,00	8,82	0,23	3,83	9,89	5,04	3,58	0,82	100,00
Bloque de avalancha	Moth-12-Ap22	MOT 2486-12	197293/9921075, Pachacutik Cancha cut	67,64	0,47	17,25	3,16	0,02	1,26	0,47	4,59	4,99	0,16	100,00
Brecha de avalancha	Moth-16-Ap22	MOT 2486-16	242164/9933537, 450m, Road to Payamino	55,74	0,89	21,19	6,23	0,17	2,37	4,12	4,18	4,58	0,52	100,00
Bomba	PAM12_19-7	MOT2208-6	211733/9928824, Sendero volcán Sumaco	48,02	1,27	20,95	9,46	0,26	3,54	8,31	4,26	2,89	1,05	100,00
Lava	Moth-10-Ap22	MOT 2486-10	0212121/993272, 1756m; Pucuno Alto, Vol.Sumaco, South flank	44,83	1,66	16,96	10,87	0,21	5,48	11,51	3,75	3,39	1,34	100,00
Rastro de lava	Moth-11-Ap22	MOT 2486-11	211585/9927850, 1537m, Sendero Comunitario, Pacto Sumaco	46,13	1,42	19,89	9,61	0,26	3,41	9,49	6,52	2,17	1,10	100,00
Pómez en depósito de	PAM12_19-8	MOT2208-7	206146/9920188, Río Guamani	60,90	0,38	23,62	2,89	0,15	0,43	1,67	4,91	4,97	0,10	100,00
Pómez	PAM12_19-9	MOT2208-8	211733/9928824, Sendero volcán Sumaco	56,10	0,80	29,75	4,45	0,14	0,71	1,44	2,98	3,29	0,35	100,00
Pómez	JP-1-PK	0192244/9921077, Pachacutik		63,57	0,39	19,41	3,42	0,28	0,69	2,36	5,10	4,61	0,16	100,00
Pómez de capa 1	JP-4-RS	211699/9928825, Río Sapo		59,71	0,56	24,83	1,93	0,04	0,58	2,32	5,37	4,54	0,11	100,00
Bomba	PM-1-OT	211699/9928825, Q. Oritoyacu		44,38	1,41	15,62	10,59	0,35	7,64	13,49	2,35	2,88	1,30	100,00
Pómez cerca del río	JP-6-RS	211699/9928825, Río Sapo		54,07	1,10	24,41	6,57	0,18	2,40	3,46	3,74	3,66	0,42	100,00
Formación Pucuno	JP-7-PA	0212121/993272, Pucuno Alto		58,45	0,68	25,15	3,12	0,20	0,43	1,69	4,41	5,54	0,33	100,00
Basalto alcalino	HAL	SUMJS03	229143-9926997, Río Chacayacu --Avila Viejo, Old Aval. Dept.	45,73	1,60	18,85	10,24	0,21	4,38	10,68	5,42	1,57	1,33	100,00
Basalto alcalino	HAL	SUMJS09	239238-9931650, 497m, Mina Río Suno, Avalancha Dept.	45,17	1,27	18,75	10,08	0,28	4,07	12,08	5,48	1,54	1,27	100,00
Pomez / basalto	HAL	SUMJS16	246150-9924246, Mina Río Suno, left margin, Below Loreto	51,05	1,51	21,13	9,97	0,20	3,31	6,40	2,99	2,71	0,74	100,00
Pomez / basalto	HAL	SUMJS26	239248-9931636, 516m; Mina Río Suno, KaroTambo area.	57,46	1,04	20,17	7,40	0,15	2,36	3,29	3,76	3,83	0,53	100,00

### ANÁLISIS GEOQUÍMICOS DE LAS ROCAS DEL DEPÓSITO DE FLUJO VOLCÁNICO – LAHAR TENA & VOLCÁN SIERRA AZUL (ELEMENTOS TRAZA)

Muestras extraídas del lahar Tena - Elementos traza																							
Tipo de Roca	Sample	UTM Location	SiO2	Ni	Cr	Sc	V	Ba	Rb	Sr	Zr	Y	Nb	Ga	Cu	Zn	Pb	La	Ce	Th	Nd	U	
Pieza de bomba	Moth-14-Ap22	MOT 2486-14	018759/9892032, 507m Lahar Misahualli, N. of Tena	46,49	68,31	192,93	35,28	404,69	1581,68	77,93	2169,13	256,47	37,00	45,70	27,69	99,54	124,14	11,17	72,77	149,15	10,12	68,95	3,21
Bomba de lahar	Moth-15-Ap22	MOT 2486-15	184114/9888621, 513m, Stop 5, Río Pano, W of Tena	46,67	68,12	195,21	35,19	401,81	1597,92	105,93	2172,25	257,38	38,37	44,44	26,82	114,22	127,64	10,39	71,63	152,95	9,69	70,33	2,90
Bomba de lahar	Tena_Bypass	187578/9887319, 580m, al S de la ciudad Tena	46,60	12	17	11	271	1920	122	3373	309	43	63,1	23	70	135	21	128	253	21	113	6	
Andesita	HAL	PAM-4-18	018759/9892032, 506m, Tena Area, Misahualli River	63,92	5,5	19,0	123,7	1178,8	139,2	520,7	374,1	28,8	14,9	23,5	62,0	106,9	19,1	32,7	69,2	12,1	28,6	3,7	
Andesita	Mothes4_Sept22	MOT 2550-4	186824/9892675, 520m, N. Tena, Archidone-Tena Hwy.	64,76	3	2	10	48	1535	147	508	250	24,5	11	18	10	52	15	31	62	9	28	3
Basalto vesicular	Mothes5_Sept22	MOT 2550-5	184021/9888597, 508m, Guinea Chimbana 1, Río Pano	46,50	52	119	21	274	1404	68	1873	190	30,1	30	22	85	103	11	63	128	8	56	4
Basalto olivínico	Mothes6_Sept22	MOT 2550-6	184021/9888597, 508m, Guinea Chimbana 2, Río Pano	46,96	49	125	21	272	1430	95	1825	195	28,1	32	20	89	103	10	63	130	8	57	3
Green-Grey ppx-andesites (flujo de lava)	Sierra Azul Lava-- Base of	173069/9921368		50,64	26	46	28	273	657	61	843	64	19	3,8	20	140	88	5	14	35	3	20	2
Grey Porph-plag-biot-hbd (flujo de lava)	Sierra Azul Lava-- up 10 m	173069/9921368		66,01	2	3	3	28	1440	90	598	261	19	15,1	20	3	81	16	46	78	12	34	4

## ANÁLISIS GEOQUÍMICOS DE LAS ROCAS DEL VOLCÁN SUMACO (ELEMENTOS TRAZA)

Muestras de rocas extraídas del volcán sumaco - Elementos traza																							
Tipo de Roca	Date	Sample	UTM Location	SiO2	Ni	Cr	Sc	V	Ba	Rb	Sr	Zr	Y	Nb	Ga	Cu	Zn	Pb	La	Ce	Th	Nd	U
Roca de avalancha	PAM12_19-6	MOT2208-5	206146/9920188, Río Guamani	47,40	19,55	10,33	22,38	353,78	2269,81	55,02	3779,06	343,36	42,79	73,84	26,37	94,87	139,65	14,35	119,67	272,53	22,10	96,94	4,51
Bloque de avalancha	Moth-12-Ap22	MOT 2486-12	197293/9921075, Pachacutik Cancha cut	67,64	9,11	7,29	8,36	74,67	1930,04	134,39	411,08	306,55	22,39	13,51	24,46	4,33	20,35	14,85	44,39	69,61	11,94	29,55	2,81
Brecha de avalancha	Moth-16-Ap22	MOT 2486-16	242164/9933537, 450m, Road to Payamino	55,74	18,03	36,49	11,84	171,49	1652,35	151,91	1339,58	561,69	28,24	78,49	34,00	39,82	129,47	38,91	112,03	182,25	44,14	68,45	15,61
Bomba	PAM12_19-7	MOT2208-6	211733/9928824, Sendero volcán Sumaco	48,02	33,87	45,72	11,09	347,92	3047,59	160,76	3826,34	425,19	49,20	89,81	31,44	74,16	164,63	16,64	156,40	341,97	25,47	120,90	5,41
Lava	Moth-10-Ap22	MOT 2486-10	02121212/993272, 1756m, Pucuno Alto, Vol. Sumaco, South flank	44,83	29,73	58,33	29,72	445,88	2014,81	128,37	3136,67	543,16	48,85	56,65	28,02	167,77	133,74	14,90	120,27	265,88	17,84	118,03	4,98
Rastro de lava	Moth-11-Ap22	MOT 2486-11	211585/9927850, 1537m, Sendero Comunitario, Pacto Sumaco	46,13	11,80	6,75	10,11	390,08	3017,57	156,65	4015,12	445,67	58,67	103,37	31,16	125,67	173,63	21,08	168,52	332,70	26,59	128,38	8,61
Pómez en depósito	PAM12_19-8	MOT2208-7	206146/9920188, Río Guamani	60,90	13,93	5,54	1,15	54,99	1866,00	133,33	1234,96	762,19	39,06	95,09	37,53	12,17	138,06	46,71	153,19	286,64	48,15	72,11	9,04
Pómez	PAM12_19-9	MOT2208-8	211733/9928824, Sendero volcán Sumaco	56,10	21,85	32,01	11,03	148,44	1606,93	70,26	763,43	794,10	43,20	82,51	43,20	30,58	112,58	45,22	154,28	292,35	43,06	88,14	11,22
Basalto alcalino	HAL	SUMJS03	229143-9926997, Río Chacayacu -Avila Viejo, Old Aval. Dept.	45,73	28,0	10,8	17,7	437,3	2155,0	253,9	2854,5	276,7	39,2	51,7	26,9	177,5	132,8	10,8	82,6	178,9	14,6	79,2	6,4
Basalto alcalino	HAL	SUMJS09	239238-9931650, 497m, Mina Río Suno, Avalancha Dept.	45,17	17,2	5,6	13,6	429,0	3150,8	304,7	4649,0	364,9	49,0	72,2	28,0	122,5	161,3	15,2	150,1	301,0	27,1	121,2	7,9
Pomez / basalto	HAL	SUMJS16	246150-9924246, Mina Río Suno, left margin, Below Loreto	51,05	28,5	85,5	22,9	356,9	2766,0	101,4	2086,2	384,9	44,9	54,0	30,7	58,8	167,1	25,4	137,3	273,9	22,0	107,9	8,1
Pomez / basalto	HAL	SUMJS26	239248-9931636, 516m, Mina Río Suno, KaroTambo area.	57,46	22,4	110,3	18,2	241,3	2090,6	100,2	1254,1	420,2	40,8	51,5	28,4	37,2	122,6	24,9	110,4	181,9	22,5	79,0	6,9