

**ESCUELA POLITECNICA NACIONAL**

**FACULTAD DE INGENIERIA EN GEOLOGIA Y  
PETROLEOS**

**“LAS AVALANCHAS DE ESCOMBROS EN EL  
SECTOR DEL VOLCÁN TUNGURAHUA”**

**PROYECTO PREVIO A LA OBTENCION DEL TITULO  
DE INGENIERO GEOLOGO**

**JORGE EDUARDO BUSTILLOS AREQUIPA**

**[jbustillos@igepn.edu.ec](mailto:jbustillos@igepn.edu.ec)**

**DIRECTOR: DR. PABLO SAMANIEGO**

**[psamaniego@igepn.edu.ec](mailto:psamaniego@igepn.edu.ec)**

**QUITO, ABRIL 2008**

# INDICE

Índice General	<i>i</i>
Índice de Figuras	<i>iii</i>
Índice de Fotos	<i>v</i>
Índice de Mapas	<i>vii</i>
Índice de Tablas	<i>vii</i>
Anexos	<i>vii</i>
Resumen	<i>ix</i>

## CAPITULO 1

*Páginas*

<b>1. INTRODUCCION</b>	
<b>1.1 Antecedentes y Justificativos</b>	<b>1</b>
<b>1.1.1 El fenómeno del colapso sectorial en los volcanes</b>	<b>1</b>
<b>1.1.2 Los colapsos sectoriales y avalanchas de escombros en los volcanes del Ecuador.</b>	<b>4</b>
<b>1.2 Objetivos del Estudio</b>	<b>6</b>
<b>1.3 Metodología</b>	<b>7</b>
<b>1.4 Ubicación de la Zona de Estudio</b>	<b>8</b>
<b>1.5 Estudios Geológicos Anteriores</b>	<b>10</b>

## CAPITULO 2

<b>2. CONTEXTO GEOLÓGICO</b>	
<b>2.1 Contexto Geológico General</b>	<b>14</b>
<b>2.1.1. Marco Geodinámico del Ecuador</b>	<b>14</b>
<b>2.1.2. Historia Geológica del Ecuador</b>	<b>18</b>
<b>2.1.3. El Volcanismo en el Ecuador</b>	<b>21</b>
<b>2.2 Cuadro Geológico de los volcanes Huisla, El Altar y Tungurahua</b>	<b>26</b>
<b>2.2.1 Volcán Huisla</b>	<b>26</b>
	<b>26</b>

2.2.2	Volcán El Altar	29
2.2.3	Volcán Tungurahua	

### **CAPITULO 3**

3.	DESCRIPCION DE LAS AVALANCHAS DE ESCOMBROS EN EL SECTOR DEL VOLCÁN TUNGURAHUA	
3.1	Generalidades sobre los depósitos de las avalanchas de escombros	41
		41
3.1.1	Terminología	42
3.1.2	Facies	44
3.1.3	Morfología de los depósitos	45
3.1.4	Causas del colapso	47
3.2	Caracterización de las avalanchas de escombros estudiadas	47
3.2.1	Avalancha de escombros del volcán Huisla (DAD-Huisla)	54
3.2.2	Avalancha de escombros del volcán El Altar (DAD-Altar)	
3.2.3	Avalancha de escombros del volcán Tungurahua-30 ka AP (DAD-30 ka AP)	58
3.2.4	Avalancha de escombros del volcán Tungurahua-3 ka AP (DAD-3 ka AP)	68

### **CAPITULO 4**

4.	DESCRIPCION PETROGRAFICA Y GEOQUÍMICA DE LOS DEPÓSITOS ESTUDIADOS.	77
4.1.	Petrografía de los depósitos estudiados	77
		81
4.1.1.	Depósitos de la avalancha de escombros del volcán Huisla	
4.1.2.	Depósitos de la avalancha de escombros del volcán El Altar	84
4.1.3.	Los dos depósitos de avalancha de escombros del Tungurahua (30 ka y 3 ka AP)	88
4.2.	Caracterización Geoquímica	
		89
4.2.1.	Geoquímica de las avalanchas de escombros de los	

volcanes Huisla y El Altar	92
4.2.2. Geoquímica de las dos avalanchas de escombros del Tungurahua (30 ka y 3 ka AP)	

## CAPITULO 5

5. SISNTESIS COMPARATIVA DE LOS DIFERENTES TIPOS DE DEPOSITOS	95
5.1 Morfología, Facies y Cartografía	98
5.2. Petrografía	100
5.3 Geoquímica	

## CAPITULO 6

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	106
6.1 Conclusiones	109
6.2 Recomendaciones	111

## REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

## INDICE DE FIGURAS

<b>FIGURA 1.1:</b> Formación de la avalancha de escombros y blast asociado durante la erupción del Mount St. Helens ( <i>Leyrit, 2000</i> ).	1 4
<b>FIGURA 1.2:</b> Escarpe de avalancha del Mount St. Helens ( <i>Bernard, 20005</i> ).	9
<b>FIGURA 1.3:</b> Ubicación regional de la zona de estudio, en donde se indica los volcanes Huisla, El Altar y Tungurahua.	15
<b>FIGURA 2.1:</b> Esquema Geodinámico del margen del Pacifico Este a nivel de América Central y América del Sur ( <i>Gutscher et al., 1999</i> ). FZ= Zona de Fractura, GG= Golfo de Guayaquil, DGM= Dolores Guayaquil Megashear	16
<b>FIGURA 2.2:</b> Modelo Batimétrico de la Cordillera de Garnegie. A) Marco Geodinámico General; B) Rasgos Morfoestructurales de la Cordillera ( <i>Michaud et al., 2005</i> )	17
<b>FIGURA 2.3:</b> Angulo del Slab (25°- 35°) determinado mediante un análisis realizado sobre la distribución espacial de la sismicidad por debajo del Ecuador entre las latitudes 1°N y 2°S ( <i>Guiller et al., 2001</i> ).	17

<b>FIGURA 2.4:</b> Esquema estructural mostrando el contexto geológico general del Ecuador y corte esquemático a $\pm 0.5^\circ$ N. Las regiones fisiográficas del Ecuador son correspondientes a sus principales componentes geológicos ( <i>Modificado de Aspden et al., 1992</i> ).	<b>18</b>
<b>FIGURA 2.5:</b> Mapa de los volcanes Plio-Cuaternarios del Ecuador ( <i>Modificado de Eissen et al., 2005</i> ). El arco se extiende de forma continua desde los $2^\circ$ S hasta la frontera con Colombia ( $\sim 1^\circ$ N), y desde $\sim 79^\circ$ W hasta $\sim 77.5^\circ$ W. En el Ecuador el arco es de $\sim 350$ km de largo y de $\sim 140$ km de ancho como máximo (entre $0^\circ$ y $1^\circ$ de latitud)	<b>23</b>
<b>FIGURA 2.6:</b> División del arco volcánico ecuatoriano en tres alineamientos de volcanes de Oeste a Este: Frente volcánico, Arco principal y Tras arco, según el punto de vista geoquímico ( <i>Modificado de Monzier et al., 2003</i> )	<b>24</b>
<b>FIGURA 2.7:</b> Clasificación de las rocas volcánicas del arco magmático ecuatoriano utilizando el diagrama de clasificación de rocas según Gill, 1981. ( <i>Samaniego et al., 2004</i> )	<b>25</b>
<b>FIGURA 2.8:</b> Diagrama $K_2O\%$ versus $SiO_2\%$ de los cinco principales grupos litológicos reconocidos en El Altar. Resultados obtenidos sobre 69 muestras analizadas en Brest-Francia ( <i>Eissen et al., 2004</i> )	<b>28</b>
<b>FIGURA 2.9:</b> Principales productos volcánicos del Tungurahua I-II-III ( <i>Hall et al., 1999</i> )	<b>31</b>
<b>FIGURA 2.10:</b> Diagramas Harker que ilustra la distribución geoquímica de las rocas de los tres edificios volcánicos del Tungurahua ( <i>Hall et al., 1999</i> )	<b>37</b>
<b>FIGURA 2.11:</b> Columna estratigráfica esquemática de los productos del Tungurahua, no a escala, con datos preliminares de cronología. Los recuadros en rojo muestran los depósitos de las DAD's estudiadas en el presente proyecto de titulación. ( <i>Modificado de Le Pennec et al., 2006</i> )	<b>38</b>
<b>FIGURA 2.12</b> Columna estratigráfica en el sector de Cochabamba, en el cual se ilustra las 6 unidades del "blast" asociado al colapso sectorial del Tungurahua-II de 3 ka AP ( <i>Jaya, 2004</i> ).	<b>36</b>
<b>FIGURA 3.1</b> Sección esquemática para un depósito de avalancha de escombros: A) una sección longitudinal desde el anfiteatro hasta la parte distal, B) una sección transversal de la región media, C) una sección transversal de la región distal ( <i>Ui et al., 2000</i> )	<b>43</b>
<b>FIGURA 3.2</b> Diagrama de tipos de hummocks ( <i>Glicken, 1991</i> )	<b>44</b>
<b>FIGURA 3.3</b> Cortes esquemáticos en donde se ilustra la interpretación espacial de los depósitos de las DAD's del Tungurahua (Ubicación ver MAPA 3.5)	<b>60</b>
<b>FIGURA 3.4:</b> Columna estratigráfica esquemática de los productos del Tungurahua que sobreyacen a la DAD-30 ka AP. En el recuadro en rojo el depósito pliniano a $\sim 9700$ a AP ( <i>Modificado de Le Pennec et al., 2006</i> )	<b>66</b>
<b>FIGURA 3.5:</b> Columna estratigráfica en el sector de Cardompamba-Las Juntas, a	

la base el basamento metamórfico y la DAD-30 ka AP enchapado por depósitos de un lahar conteniendo bloques dacíticos con estructura radial ( <i>Modificado de Jaya, 2004</i> )	67
<b>FIGURA 3.6:</b> Cortes esquemáticos en donde se indica el método para el cálculo de volumen de material colapsado para la DAD-30 ka AP.	70
<b>FIGURA 4.1:</b> Clasificación de las rocas de la DAD-Huisla y DAD-Altar, utilizando el diagrama de clasificación de rocas volcánicas según <i>Peccerillo &amp; Taylor (1976)</i>	90
<b>FIGURA 4.2:</b> Diagramas Harker para elementos mayores y elementos en traza de las rocas de la DAD-Huisla y DAD-Altar.	91
<b>FIGURA 4.3:</b> Clasificación de las rocas de la DAD-30 ka AP y DAD-3 ka AP, utilizando el diagrama de clasificación de rocas volcánicas según <i>Peccerillo &amp; Taylor (1976)</i>	92
<b>FIGURA 4.4:</b> : Diagramas Harker y de Variación para elementos mayores y elementos en traza de las rocas de la DAD-30 ka AP y DAD-3 ka AP.	93
<b>FIGURA 5.1:</b> Diagramas según <i>Peccerillo &amp; Taylor (1976)</i> , harker y de Variación para elementos mayores y en traza para las rocas del Huisla, DAD-Huisla y Tungurahua I-II, éstas últimas representadas por sus campos de variación.	101
<b>FIGURA 5.2:</b> Diagramas según <i>Peccerillo &amp; Taylor (1976)</i> , harker y de Variación para elementos mayores y en traza para las rocas de El Altar, DAD-Altar y Tungurahua I-II, éstas últimas representadas por sus campos de variación.	102
<b>FIGURA 5.3:</b> Diagramas según <i>Peccerillo &amp; Taylor (1976)</i> , harker y de Variación para elementos mayores y en traza para las rocas de la DAD-30 ka AP, DAD-3 ka AP y Tungurahua I-II, éstas últimas representadas por sus campos de variación.	103

## INDICE DE FOTOS

<b>FOTO 2.1:</b> Caldera de avalancha del volcán El Altar en forma de herradura abierta hacia el Occidente, debido al colapso de la parte superior del cono somital ( <i>Foto: Ing. Patricio Ramón</i> ).	27
<b>FOTO 2.2:</b> Vista del volcán Tungurahua desde el OVT (Observatorio del Volcán Tungurahua) ( <i>Foto: Jorge Bustillos</i> ).	29
<b>FOTO 3.1:</b> Planicie formada por los depósitos de la avalancha de escombros del volcán Huisla, en la cual se asienta los poblados como Huambaló y San Pedro de Pelileo. El trazo de color amarillo representa la superficie en mención.	50
<b>FOTO 3.2:</b> Estructuras en forma de lajas presente en los megabloques de los depósitos de la DAD-Huisla.	50
<b>FOTO 3.3:</b> “Facies de bloques” distribuidos en una matriz de tamaño arena media a gruesa de color gris claro sobreyacidos por 1,50 m de Cangahua.	51
<b>FOTO 3.4:</b> “Facies de mezcla/matriz” con bloques de 5 cm de diámetro,	52

ocasionalmente la presencia de bloques de hasta 30 cm de diámetro, distribuidos en una matriz tipo areno-limosa de color gris claro rosáceo.	54
<b>FOTO 3.5:</b> Depósitos de la DAD-Huisla sobreyacidos por una capa de Cangahua A) Afloramiento # 51 y B) Afloramiento # 73	56
<b>FOTO 3.6:</b> “Facies de bloques” distribuidos en una matriz de tamaño de arena gruesa de color gris rosácea. Sector Pungal-Grande.	57
<b>FOTO 3.7:</b> Terraza formada por la DAD-Altar, en la cual se asienta caseríos como Río Blanco y El Recreo al SW del volcán Tungurahua.	57
<b>FOTO 3.8:</b> A) Vista panorámica que muestra la terraza formada por los depósitos de las DAD-Altar y DAD-30 ka AP del Tungurahua. B) y C) Afloramiento # 29 en el cual se muestra el contacto entre las DAD’s y separados por una capa tipo milonita. Sector Pungal-El Quinche.	57
<b>FOTO 3.9:</b> Terraza de 80 m de altura formada por los depósitos de la DAD-30 ka AP, en la cual se asienta el poblado de Penipe hacia el SW del volcán Tungurahua.	61
<b>FOTO 3.10:</b> Colina formada por los depósitos de la DAD-30 ka AP en el sector de las quebradas de Achupashal y La Pirámide.	61
<b>FOTO 3.11:</b> Loma Montirón formada por una colina alargada dejada por la DAD-30 ka AP. Su eje tiene un rumbo NE-SW.	62
<b>FOTO 3.12:</b> Estructura en “lajas” y con “deformación” presente en algunos megabloques de la DAD-30 ka AP, comúnmente observados hacia el SW del volcán, a lo largo del valle del río Chambo en su ribera Oriental.	63
<b>FOTO 3.13:</b> “Jigsaw cracks” debido a la cataclasis producida durante el transporte de la DAD-30 ka AP.	63
<b>FOTO 3.14:</b> “Facies de bloques” distribuidos en una matriz de tamaño arena de color gris-rojiza. Nótese además que el depósito se encuentra sobreyacido por 1,50 m de Cangahua.	64
<b>FOTO 3.15:</b> “Facies de matriz/mezcla” con bloques de 5 cm de diámetro, ocasionalmente la presencia de bloques de hasta 30 cm, distribuidos en una matriz tipo arcillo-arenosa de color gris claro.	65
<b>FOTO 3.16:</b> Sector de Cardompamba, puente La s Juntas, en donde se observa la terraza formada por la DAD-30 ka AP a la base, sobreyacida por depósitos de oleadas piroclásticas y un flujo de lava del Tungurahua. Nótese los depósitos de un lahar enchapado en la DAD-30 ka AP	66
<b>FOTO 3.17</b> Terraza formada por la DAD-3 ka AP en la cual se asienta el poblado de Chacaucu. La línea en rojo muestra el contacto entre los depósitos de la DAD-30 ka AP y DAD- 3 ka AP del Tungurahua.	71
<b>FOTO 3.18:</b> “Facies de bloques” en los depósitos de la DAD-3 ka AP. Estructuras de cataclasis tipo “jigsaw fit”, presente en un bloque de ~ 2m de diámetro.	72

<b>FOTO 3.19:</b> Depósitos de la avalancha de escombros del Tungurahua de 3 ka AP, facies depositacional de bloques.	<b>72</b>
<b>FOTO 3.20:</b> “Facies de mezcla/matriz”, ocasionalmente la presencia de clastos de hasta tamaño métrico distribuidos en una matriz de tipo arcillo-arenosa de color gris claro.	
<b>FOT 3.21:</b> Secuencia piroclástica sobreyaciendo a los depósitos de la DAD-3 ka AP, los cuales forman la terraza de Chacauco ( <i>Modificado de Le Pennec et al., 2006</i> )	<b>73</b>
<b>FOTO 3.22:</b> Secuencia de depósitos piroclásticos que corresponden al “blast volcánico” que se encuentra intercalado con los depósitos de avalancha de escombros del Tungurahua.	<b>74</b>
<b>FOTO 4.1:</b> Horblendas subhedrales de hasta 0.8 mm de tamaño presente en las rocas de los depósitos de la DAD-Huisla en un 10% vol., las cuales presentan anillos (oxidación) de color negro.	<b>79</b>
<b>FOTO 4.2:</b> Piroxenos de hasta 0.4 mm de tamaño, los cuales presentan una macla tipo “espiguilla” o “espada” (TG-JB-60 B, Afloramiento #61)	<b>80</b>
<b>FOTO 4.3:</b> Andesita con horblenda (5% vol.), cuya distribución de la matriz representa una textura “hyalopilítica pilotaxítica”.	<b>81</b>
<b>FOTO 4.4:</b> Andesitas típicas presentes en los depósitos de la DAD-Altar. Izquierda) Muestra TG-JB-72 B; Derecha) Muestra TG-JB-73	<b>81</b>
<b>FOTO 4.5:</b> Horblenda de hábito pseudo-hexagonal que presenta un ligero anillo de oxidación, algunos microcristales totalmente oxidados (TG-JB-72 A, Afloramiento # 77, UTM: 772286 / 9824457. Ubicación ver mapa 4.1)	<b>83</b>
<b>FOTO 4.6:</b> A) Fenocristales de horblenda y plagioclasa, distribuidos en una matriz microcristalina con textura “pilotaxítica” (TG-JB-72 A, Afloramiento #77, UTM: 772286/9824457, Ubicación MAPA 4.1). B)Andesita afanítica con cristales pequeños de plagioclasa que presenta una textura “vitrofírica” (TG-JB-73, Afloramiento # 78, UTM: 772008/9824235, Ubicación ver MAPA 4.1)	<b>83</b>
<b>FOTO 4.7:</b> Plagioclasas euhedrales presentes en las rocas presentes en la DAD-3 ka AP, que evidencian A) Núcleos de reacción y B) Coronas de reacción (TG-JB-74, Afloramiento # 79, UTM: 778644/9842451)	<b>85</b>
<b>FOTO 4.8:</b> A) Pequeños cúmulos formados por cristales de 0.1 mm entrecrecidos de clinopiroxenos, ortopiroxenos y opacos, presentes en las rocas de las DAD’s del Tungurahua (TG-JB-77 A, Afloramiento # 82) B) Con nícoles, piroxeno de forma euhedral con macla tipo “espiguilla” o “espada” (TG-JB-34 A, Afloramiento # 35, UTM: 777884/9836780, Ubicación ver MAPA 4.1).	<b>85</b>
<b>FOTO 4.9:</b> Horblendas subhedrales con anillos de oxidación de color negro, también completamente oxidados. Nótese además el re-emplazamiento de matriz dentro de la horblenda de mayor tamaño (TG-JB-23, Afloramiento # 18, UTM: 773340/9828900)	<b>87</b>
<b>FOTO 4.10:</b> A) Olivino de forma euhedral presente como mineral accesorio en las rocas de la DAD-3 ka AP. B) y C) El fenocristal de olivino sin nícoles y con	<b>87</b>



nícoles respectivamente (TG-JB-77 A,B, Afloramiento # 82, UTM: 778986/9843532. Ubicación ver MAPA 4.1)

**FOTO 4.11:** Andesita de 2 piroxenos y anfibio como mineral accesorio en las DAD's del Tungurahua. A) Andesita con textura "porfirítica seriada"; B) Andesita con textura "traquítica" **88**

## INDICE DE MAPAS

**48**

**MAPA 3.1:** Mapa de distribución actual de los depósitos de la DAD-Huisla y las principales estructuras tectónicas presentes en la zona que rodea al volcán Huisla. **55**

**MAPA 3.2:** Mapa de distribución actual de los depósitos de la DAD-Altar en los sectores de Pungal-Grande y Pungal-El Quinche. **59**

**MAPA 3.3:** Mapa de distribución actual de los depósitos de la DAD-30 ka AP y las principales estructuras tectónicas presentes en la zona que rodea al volcán Tungurahua. **69**

**MAPA 3.4:** Mapa de distribución actual de los depósitos de la DAD-3 ka AP y las principales estructuras tectónicas presentes en la zona que rodea al volcán Tungurahua. **75**

**MAP 3.5:** Modelo numérico del terreno del volcán Tungurahua donde se muestra la distribución actual de los depósitos de la DAD-30 ka y de la DAD-3 ka AP. **78**

**MAPA 4.1:** Mapa de ubicación de las rocas involucradas en las avalanchas de escombros aquí estudiadas. Todas con la nomenclatura TG-JB.

## ÍNDICE DE TABLAS

**31**

**TABLA 2.1:** Composición promedio y análisis individuales de las rocas de los edificios volcánicos del Tungurahua (*Hall et al., 1999*) **99**

**TABLA 5.1:** Tabla que resume las características principales del análisis de las secciones delgadas bajo el microscopio. Únicamente las rocas involucradas en los depósitos de las DAD's del Tungurahua y la DAD-Huisla.

## ÍNDICE DE ANEXOS

	<b>126</b>
<b>ANEXO 1:</b> Nomenclatura utilizada en la identificación de las muestras	
<b>ANEXO 2:</b> Afloramiento de los depósitos de avalancha de avalancha de escombros y ubicación de las muestras analizadas petrográfica y geoquímicamente.	<b>129</b> <b>136</b>
<b>ANEXO 3:</b> Mapas de ubicación de las muestras de las avalanchas de escombros estudiadas	<b>141</b>
<b>ANEXO 4:</b> Resumen de las principales características petrográficas de las muestras estudiadas	<b>146</b>
<b>ANEXO 5:</b> Análisis químicos de las rocas de las avalanchas de escombros estudiadas (TG-JB) y otras rocas incorporadas.	

## RESUMEN

El volcán Tungurahua (5023 msnm), uno de los más activos del Ecuador, ha sufrido durante su evolución geológica por lo menos dos colapsos sectoriales, ocurrido a hace 30 ka y 3 ka AP. Estos eventos han generado sendas avalanchas de escombros, cuyos depósitos han rellenado en parte los valles de los ríos Patate y Chambo. El presente trabajo detalla la distribución cartográfica de dichos depósitos, así como la descripción petrográfica y geoquímica son los de dichos depósitos.

Los depósitos de las avalanchas de escombros del Tungurahua (DAD-30 ka AP y DAD-3 ka), se dirigieron hacia el Occidente –Suroccidente del volcán a lo largo del valle del río Chambo, dejando una morfología de terrazas y colinas alargadas paralelas al flujo. La morfología de cada depósito es fácilmente distinguible en el campo : la DAD-30 ka se caracteriza por terrazas de 400 m sobre el fondo del valle, así como la formación de colinas alargadas (ridges). Esta avalancha avanzó en parte por el valle del río Patate, hacia el Norte del volcán, pero sobretodo hacia el SW, en el valle del río Chambo. Estos depósitos cubrieron un área de 63 km<sup>2</sup>. Por el contrario, la DAD-3 ka se caracteriza por formar terrazas más pequeñas, de hasta 200 m sobre el nivel del valle y cubrió un área de 23 km<sup>2</sup>. En base a una estimación de los espesores promedio y considerando un 20% de factor de dilatación, se determinó que los volúmenes del material depositado corresponden a 10 km<sup>3</sup> (DAD-30 ka) y 2,8 km<sup>3</sup> (DAD-3 ka). En base a la morfología de la última caldera de avalancha, se pudo determinar que el volumen de material colapsado durante el evento de 3 ka es de ~ 3,1 km<sup>3</sup>.

La petrografía de las rocas de la DAD-30 ka AP y DAD-3 ka AP se caracteriza por presentar una asociación mineral similar, caracterizada por la ocurrencia de plagioclasa + clinopiroxeno + ortopiroxeno + opacos; a los cuales se debe incluir la hornblenda para la DAD-30 ka y el olivino para la DAD-3 ka. Geoquímicamente estas rocas constituyen una serie calco-alcalina de medio-K, cuyo contenido en sílice varía entre andesitas básicas y dacitas. Conjuntamente, las rocas de ambos depósitos de avalancha muestran una fuerte afinidad con las rocas del Tungurahua II.

Por otro lado, a lo largo de los valles de los ríos Patate y Chambo también fueron identificados otros depósitos de avalancha de escombros, los cuales pertenecen al volcán Huisla, situado al Nor-Occidente del Tungurahua y al volcán El Altar ubicado hacia el Sur. Las rocas de la DAD-Huisla constituyen andesitas y dacitas de medio K, caracterizadas por su abundante contenido de hornblenda (≥ 10 % vol), lo cual las diferencia de las rocas del Tungurahua. Las rocas de la DAD-Altar son dacitas de medio-alto K, que se caracterizan por presentar dos tipos petrográficos: una muy porfirítica, con cristales de plagioclasa y hornblenda; y otra muy afanítica, roca en vidrio de color oscuro.

Los resultados de este estudio han permitido discriminar los depósitos de las avalanchas de escombros del Tungurahua, y de asociarlos al Tungurahua II. Por otro lado, se ha identificado por primera vez, los depósitos de avalancha de escombros de los volcanes Huisla y Altar. En base a este estudio, una evaluación de las áreas y volúmenes de los depósitos del Tungurahua pudo ser posible.

## ABSTRACT

The Tungurahua volcano (5023 msnm), one of the most active of Ecuador, was affected by two sectorial collapses at 30 ky BP and 3 ky BP. These events have generated important debris avalanches, whose deposits have partly filled up Patate and Chambo rivers valleys. The present work deals with cartography of these deposits, as well as its petrography and geochemistry.

The Tungurahua debris avalanche deposits (DAD-30 ky BP and DAD-3 ky BP) flowed towards the W-W of the volcano throughout the Chambo River valley, leaving a morphology of terraces and hills extending parallel to the flow direction. The morphology of each deposit is easily distinguishable in the field: the DAD-30 ka is characterized by terraces of 400 m from the valley bottom, as well as ridges. This avalanche advanced partly through the valley of the Patate River, to the North of the volcano, but mostly extended towards the SW, in the valley of the Chambo River. These deposits covered an area of 63 km<sup>2</sup>. On the contrary, the DAD-3 ka is characterized by smaller terraces, with up to 200 m relief from valley bottom and covering an area of 23 km<sup>2</sup>. On the basis of estimated average thickness and considering a 20% expansion factor, the volumes of deposited material correspond to 10 km<sup>3</sup> (DAD-30 ky) and 2.8 km<sup>3</sup> (DAD-3 ky). On the basis of the morphology of the last avalanche caldera, it was possible to determine that the volume of collapsed material during the 3 ka BP event is of ~ 3.1 km<sup>3</sup>.

The petrography of the DAD-30 ka AP and DAD-3 ka AP is characterized by a similar mineral association, characterized by the occurrence of plagioclase + clinopyroxene + orthopyroxene + Fe-Ti oxides; hornblende and olivine as accessories minerals respectively. Geochemically these rocks constitute a medium-K calc-alkaline series, whose silica content varies from basic andesites to dacites. Globally, the rocks of both avalanche deposits show a strong affinity with rocks of Tungurahua II edifice.

In the Patate and Chambo rivers valleys, other debris avalanche deposits were identified. These deposits belong to Huisla volcano, located to the Northwest of the Tungurahua and the El Altar volcano located towards the South of the Tungurahua volcano. The rocks of DAD-Huisla are medium-K andesites and dacites, characterized by a high content of hornblende (10 % vol). The rocks of DAD-Altar are medium and high-K dacites, which are characterized by two petrography types: a very porphyritic one, with crystals of plagioclase and hornblende; and other very aphanitic, glass rock of dark color.

The results of this study have allowed identification of the Tungurahua debris avalanches deposits and their association with Tungurahua II edifice. Also the debris avalanche deposits of Huisla and El Altar volcanoes have been identified for the first time. On the basis of this study, an evaluation of the areas and volumes of the deposits of the Tungurahua was made.

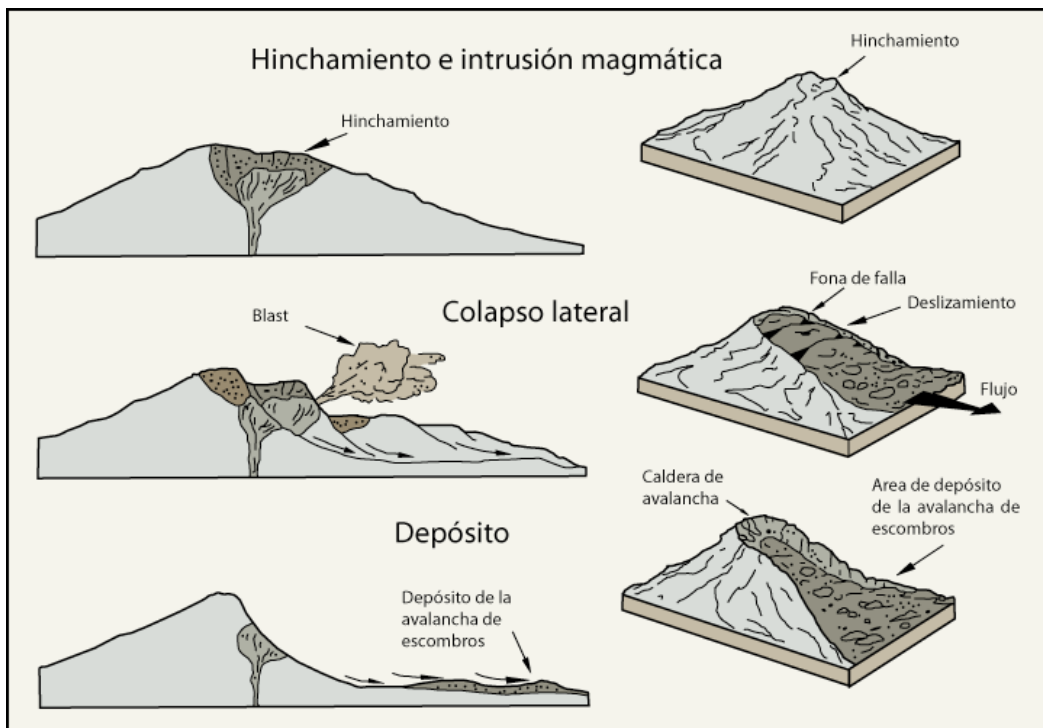
# CAPITULO 1

## INTRODUCCION

### 1.1 ANTECEDENTES y JUSTIFICATIVOS

#### 1.1.1 El fenómeno de colapso sectorial en los volcanes

Desde la ocurrencia del colapso registrado en 1888 durante la erupción del Bandai en Japón, del volcán Bezimianny (Rusia, 1956) y del Mount St. Helens (USA, 1980), la inestabilidad estructural de los edificios volcánicos se considera como un fenómeno presente en la evolución de los volcanes alrededor del mundo (FIGURA 1.1). El gran alcance de los depósitos que pueden producirse a partir del colapso, tales como una avalancha de escombros y una explosión dirigida, hacen de los eventos correspondientes unos de los más peligrosos.



**FIGURA 1.1:** Formación de la avalancha de escombros y blast asociado durante la erupción del Mount St-Helens (Leyrit & Monteneat, 2000).

Estos eventos fueron primeramente clasificados como erupciones ultravulcanianas antes que su naturaleza sea entendida; pero antes de la erupción del St. Helens la mayoría de los depósitos de avalancha fueron interpretados como depósitos de lahar, depósitos de flujos piroclásticos, flujos de lava o morrenas, debido a las similitudes en su textura, estructura interna o superficie morfológica (*Ui et al., 2000*). Con los diferentes estudios realizados sobre este dinamismo volcánico, se ha podido aclarar que la formación de una avalancha de escombros es un fenómeno común dentro de la historia evolutiva de un estrato-volcán, el mismo que está asociado a fenómenos extremadamente destructivos, tales como flujos piroclásticos, explosiones dirigidas, lahares y tsunamis (*Siebert, 1984*); debido a pendientes fuertes, fallas, materiales débiles, deformación interna causada por intrusiones y otros factores.

### **Definición de una avalancha de escombros**

La terminología de avalancha de escombros ha sido muy variada durante el tiempo; por ejemplo se han utilizado términos como: “flujo de lodo seco”, “flujo de escombros”, “avalancha volcánica seca”, “avalancha de deslizamiento de rocas” y “avalancha de escombros de deslizamiento de rocas”; sin embargo, todos estos nombres se referían a un mismo fenómeno que hoy está muy bien entendido. Una avalancha de escombros es el producto de un colapso a gran escala de un edificio volcánico controlado gravitacionalmente bajo condiciones de subsaturamiento de agua (*Ui et al., 2000*). Según *Leyrit & Monteneat (2000)*, es un flujo seco, denso y rápido, compuesto de clastos volcánicos debido a un súbito deslizamiento del cono del volcán asociado a una erupción freática o magmática.

Los depósitos dejados por una avalancha constituyen una brecha de escombros pobremente sorteada, la cual está caracterizada por dos tipos de facies depositacionales; de “bloques” y “matriz”. Un anfiteatro en la fuente, topografía de hummocks (colinas) en la superficie del depósito, son rasgos topográficos característicos.

Tres tipos de avalancha de escombros han sido distinguidas (*Siebert et al., 1987*). Las erupciones históricas, asociadas a estos colapsos sectoriales mayores son de carácter magmático (tipo Bezymianny), de carácter freático (tipo Bandai-San) o sin actividad magmática (tipo Unzen u Ontake) (*Leyrit & Monteneat, 2000*).

**El tipo Bezymianny** (Rusia-1956) corresponde a la desestabilización del flanco inducida por una intrusión magmática; la fase eruptiva puede contener explosiones de alta energía dirigidas lateralmente (blast) y flujos piroclásticos, esto es frecuentemente seguido por la formación de un domo de lava o cono piroclástico en el nuevo cráter. En el depósito de la avalancha puede existir clastos del material juvenil involucrado en el proceso de desestabilización (inyección de un cripto-domo). Este tipo de colapso es el más frecuente ya que representa la mitad de los casos registrados alrededor del mundo (*Leyrit & Monteneat, 2000; Siebert, 1984*).

**El tipo Bandai-San** (Japón-1888) está caracterizado por erupciones freáticas causadas por la descompresión hidrotermal que originan el deslizamiento de una parte del flanco del volcán. El material asociado a este evento está compuesto únicamente por material no-juvenil. Este tipo de evento representa la tercera parte de los casos registrados (*Leyrit & Monteneat, 2000; Siebert, 1984*).

**El tipo Unzen u Ontake** (Japón-1984) corresponde a una avalancha de escombros sin actividad eruptiva contemporánea. El mecanismo de disparo de la ruptura podría ser un sismo por ejemplo. Este tipo de evento es muy raro y representa la sexta parte de los casos registrados, pero esto es probablemente porque los eventos menores de este tipo no han sido registrados. (*Leyrit & Monteneat, 2000; Siebert, 1984*).

### **Las calderas de avalancha: evidencia del fenómeno de colapso sectorial**

El término “caldera de avalancha” ha sido introducido para describir las depresiones que difieren en morfología y origen a las calderas formadas por colapso erosión, o (raramente) explosión (caldera de explosión) (*Siebert, 1983*),



ya que “colapso sectorial” implica más bien movimientos verticales que horizontales, los cuales son procesos enteramente diferentes; y el término “caldera de explosión” implica formación de la depresión por eyección explosiva de material viejo del cono volcánico (Siebert, 1984).



**FIGURA 1.2:** Caldera de avalancha del Mount St. Helens (Bernard, 2005).

Por lo tanto, la caldera de avalancha, es una depresión en forma de una herradura, similar a un anfiteatro (FIGURA 1.2). Esta morfología no siempre es acentuada cuando el colapso está acompañado por una actividad explosiva (blast) (Leyrit & Monteneat, 2000).

El tamaño de la depresión está comprendido entre por lo menos 1 kilómetro cúbico o más que 10 kilómetros cúbicos, pero la mayoría de las calderas de avalancha están entre 1 y 3 Km<sup>3</sup> de promedio (Siebert, 1984; 1996). El ángulo de apertura del anfiteatro está entre 20° y 120° (Francis & Wells, 1988). Cuando la zona de ruptura es antigua, esa cicatriz no siempre está bien preservada; en otros casos, cuando existe un acomodamiento (construcción) de varios edificios volcánicos, esta cicatriz puede ser distinguida por una marcada diferencia de edad de cada uno de los volcanes, así como también por la amplia variación en la composición química de los magmas ante y post-avalancha (Robin et al., 1990).

### 1.1.2 Los colapsos sectoriales y avalanchas de escombros en los volcanes de Ecuador

Después de eventos destacables (Bandai, 1888; Bezimianny, 1956 y Mt. St. Helens, 1980), numerosos depósitos de avalancha de escombros han sido reconocidos en muchas provincias volcánicas del mundo incluyendo los edificios del arco volcánico ecuatoriano. Algunos ejemplos se encuentra en los volcanes: Cotopaxi (*Hall & Mothes., 2007*), Huanguillaro (*Beate, 2003*), Imbabura (*Ruiz et al., 2003*), Pichincha (*Geotermia Italiana, 1989; Monzier et al., 2002*), Chimborazo (*Clapperton, 1990; Barba, 2006*), Tungurahua (*Hall et al., 1999, Le Pennec et al., 2006*), Reventador (*INECEL, 1989*); Sangay (*Monzier et al., 1999*), Mojanda Fuya Fuya (*Robin et al., 1997*), Cayambe (*Samaniego et al., 2005*) entre otros.

En cuanto al Tungurahua, *Hall et al. (1999)* muestran que la historia geológica del volcán comprende la existencia de tres periodos eruptivos. En este desarrollo el final del periodo eruptivo del Tungurahua-I estuvo tal vez acompañado por un colapso sectorial, o por otro evento piroclástico importante. Después; el segundo edificio Tungurahua-II, sufrió un colapso en tiempos recientes ( $2955\pm 90$  años A.P). Esto ha ayudado a conocer en parte la existencia de por lo menos dos sendas avalanchas de escombros en relación con el Tungurahua II. Sin embargo, en este estudio no existe una distinción precisa entre los dos depósitos de avalancha ni una caracterización detallada de los depósitos, los cuales son cartografiados en forma conjunta. Algo similar ocurre con la estimación en la extensión de los depósitos tanto hacia el Norte como hacia el Sur, creando una incertidumbre con respecto al área y volumen de distribución de los depósitos a lo largo de los valles de los ríos Patate y Chambo.

Lo antes mencionado fue poco esclarecido con el estudio que se realizó en los depósitos de la avalancha de escombros de  $\sim 3$  ka AP por *Cruz – Mermey (2002)*. El estudio de las estructuras del depósito y el estudio morfológico fueron detallados; los resultados cartográficos, geoquímicos y petrográficos mostraron cierta inconformidad en la distribución de los depósitos de avalancha de los edificios del Tungurahua y también en las

edades aproximadas de los eventos, dejando nuevamente latente el problema.

Con algunos estudios recientes (*Jaya et al., 2003; Jaya, 2004, Jaya et al., 2006; Le Pennec et al., 2004a, 2005, 2006a, 2006*), se pudo constreñir de mejor manera la edad de las avalanchas del Tungurahua II (~30 ka y ~3 ka AP) y la distribución de sus depósitos a lo largo de los valles de los ríos Patate y Chambo, y así también definir más claramente la cicatriz del colapso de ~3 ka AP (*Molina et al., 2005*); pero aun con el desconocimiento de la cartografía exacta y la caracterización de los depósitos de estas avalanchas de escombros.

En la misma región, a lo largo de los valles de los ríos Patate y Chambo, características morfológicas mencionadas anteriormente (FIGURA 1.2), se han observado en los volcanes El Altar y Huisla; es decir, una caldera de avalancha en forma de herradura abierta hacia el Occidente y una muy erosionada abierta hacia el Oriente respectivamente. Estos rasgos hacen presumir que estos edificios dentro de su historia geológica sufrieron por lo menos un evento de colapso sectorial.

## **1.2 OBJETIVOS DEL ESTUDIO**

Partiendo del conocimiento que el volcán Tungurahua experimentó dos colapsos sectoriales (30 ka y 3 ka AP), los cuales originaron importantes avalanchas de escombros y que sus depósitos se encuentran distribuidos a lo largo de los valles de los ríos Patate y Chambo, y asumiendo las evidencias morfológicas de posibles colapsos sectoriales en los volcanes Huisla y El Altar; en colaboración con el Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional y el Institut de Recherche pour le Développement (IRD-Francia), se decidió emprender el estudio de los depósitos de las avalanchas de escombros en los valles de los ríos Patate y Chambo, con el fin de intentar resolver problemas como: cartografía, caracterización petrográfica y geoquímica, área de distribución y volumen de los diferentes depósitos de las avalanchas de escombros.

Así, se realizará la cartografía geológica de los depósitos de las avalanchas de escombros del Tungurahua y se definirá la caracterización petrográfica y geoquímica de los mismos, aportando así al conocimiento geológico del volcán y a la evaluación de la amenaza volcánica. Específicamente, esto corresponde a :

- (1).** Realizar la cartografía geológica a escala 1:50000 de los diferentes depósitos de las avalanchas de escombros identificados a lo largo de los valles de los ríos Patate y Chambo.
- (2).** Caracterizar petrográfica y geoquímicamente las rocas involucradas en los depósitos, lo que permitirá discriminar los depósitos de las avalanchas de escombros del Tungurahua de otros depósitos de avalancha identificados, para los cuales se determinarán también la petrografía y la química.
- (3).** Determinar áreas y volúmenes aproximados de los edificios colapsados y de los depósitos de las avalanchas de escombros considerando los escarpes definidos y espesores de cada uno.

Los productos de tal estudio son:

- 1) Un mapa geológico a escala 1:50000 en el cual se presentarán los depósitos de las avalanchas de escombros identificados y uno o varios mapas de las zonas que lo ameriten
- 2) La evaluación del área y del volumen de los diferentes depósitos de las avalanchas de escombros del Tungurahua, este último basado en espesores promedios sectorizados.
- 3) Caracterización geoquímica de las rocas involucradas en los depósitos de las avalanchas de escombros, en base al estudio de la composición de elementos mayores y elementos traza (Sc, V, Cr, Co, Ni, Sr, Y, Zr, Ba).
- 4) La caracterización e identificación petrográfica en el campo de los depósitos y distintas facies se lo realizara en muestra de mano (macroscópicamente) y en mediante el análisis de secciones delgadas (microscópicamente).

- 5) La caracterización geoquímica de las litologías involucradas en los depósitos se los realizará mediante la utilización de Diagramas de “Harker”, en elementos mayores y traza (Sc, V, Cr, Co, Ni, Sr, Y, Zr, Ba).
- 6) Se utilizará modelos digitales del terreno de la zona de estudio para el análisis de posibles estructuras y morfología dejadas por los depósitos de las avalanchas de escombros, así como también relacionados a la tectónica.
- 7) Informe final del trabajo de campo y de oficina, en el cual consta descripción e interpretación de los datos recolectados.

Se estudiará únicamente las litologías involucradas en el colapso de los edificios, no se efectuará el estudio de las facies y estructuras de los depósitos (este estudio fue realizado por Cruz – Mermy, 2002).

Para los otros depósitos de avalancha de escombros que se identifiquen en este estudio (Huisla y Altar) se propondrá únicamente la cartografía así como algunos datos petrográficos y geoquímicos adicionales que permitirán discriminarlos de los depósitos de avalancha de escombros del Tungurahua.

### **1.3. METODOLOGIA**

Para la elaboración de este Proyecto de Titulación se utilizará lo siguiente:

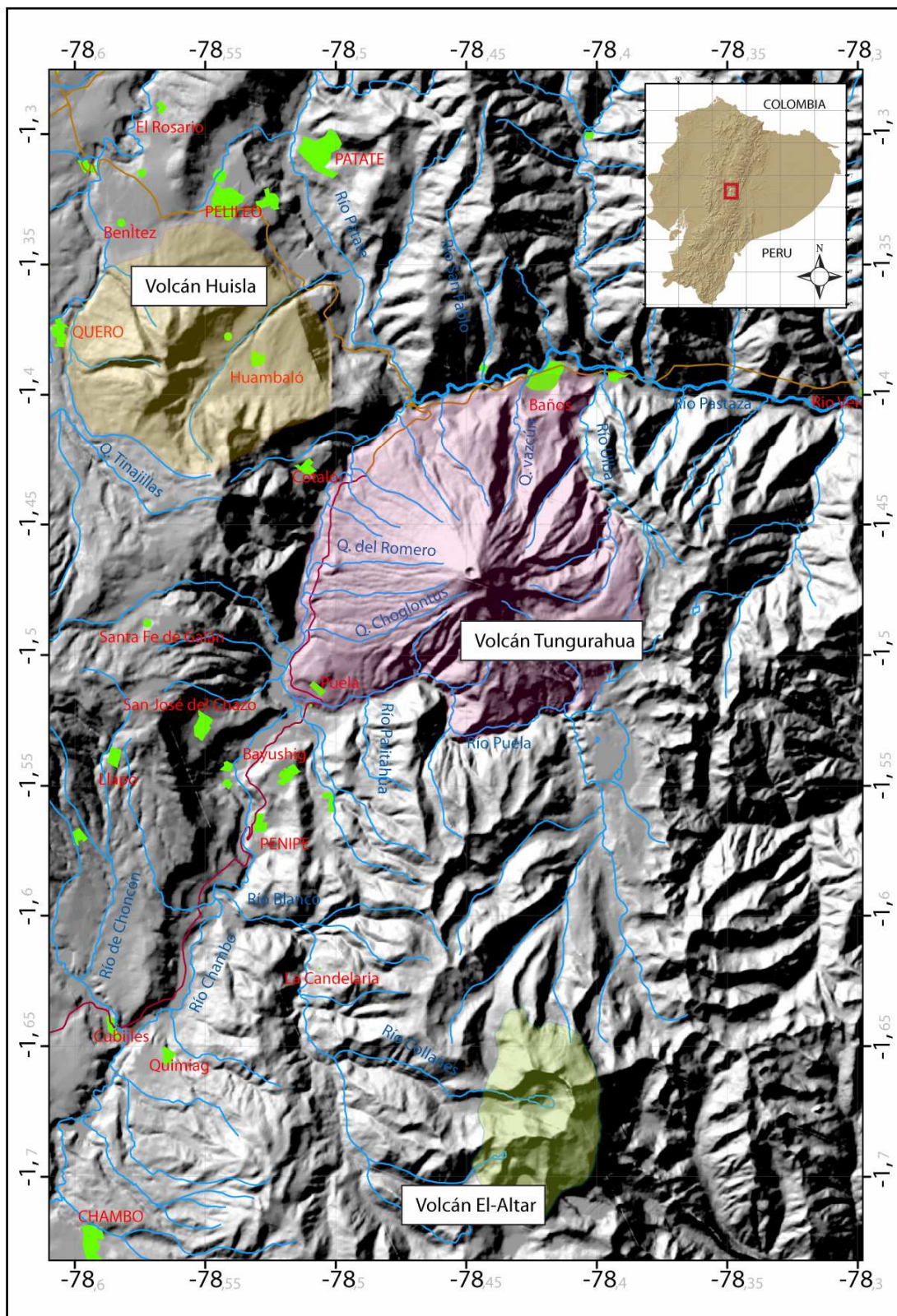
- Cartas topográficas a escala 1:50.000 de las zonas de Ambato, Sucre, Quero, Baños, Guano y Palitahua, adquiridas en el Instituto Geográfico Militar que servirán de base para la cartografía geológica.
- Fotografías aéreas que cubran la zona de estudio; las mismas que serán a diferente escala, así como también imágenes, fotografías oblicuas, cuya interpretación permitirá conocer y caracterizar estructuralmente la zona de estudio.
- Publicaciones y artículos relacionados principalmente con el estudio del fenómeno avalancha de escombros, y con relación a la historia geológica del Volcán Tungurahua.
- Microscopio petrográfico NIKON labophot2-Pol
- Software Ig-Pet, 2006

## 1.4. UBICACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO

La zona de estudio está conformada por los alrededores de los volcanes Huisla (Lat 01°23', Long 78°33'), el cual se encuentra ubicado a 4 km al Este del centro del cantón Quero, el volcán El Altar (Lat 01°40', Long 78°25') localizado en la Cordillera real del Ecuador, a unos 25 km al Este de la ciudad de Riobamba, y el volcán Tungurahua (MAPA 1.3); enfocando su descripción en este último. El volcán Tungurahua (Lat. 01°28', Long. 78°27') está ubicado en la Cordillera Oriental (Cordillera Real) de los Andes Ecuatorianos, 120 km al Sur de Quito y 33 km al Sur-Este de Ambato capital de la Provincia de Tungurahua. (MAPA 1.3).

**Carreteras y senderos.-** La carretera Ambato-Baños-Puyo bordea el pie del flanco Norte del volcán. La antigua carretera Baños-Riobamba que en la actualidad se encuentra ampliamente destruida cruza las faldas Norte y Oeste. La accesibilidad debido a las dos carreteras mencionadas y numerosos caminos de herradura que llevan hasta los ranchos cultivados, se torna poco complicado. Únicamente en sectores donde predomina el “chaparro” o “bajo monte” no se puede caminar libremente.

**Rasgos geográficos principales.-** El Tungurahua, principal rasgo geográfico de la zona, hace una diferencia de nivel entre la cima (5.023 msnm) y la población de Baños (1.800 msnm). Los ríos Patate y Chambo se unen en el pie NW del volcán para formar el río Pastaza, el cual se abre paso por la Cordillera Real para dirigirse al Oriente Ecuatoriano. Todo el drenaje de la región se dirige por medio de este río hacia la Cuenca Amazónica. Al Norte del Tungurahua, se extiende la Cordillera de los Llanganates; al Sur del mismo, El Altar es el volcán dominante; al Oeste, el Mulmul, Huisla y el Igualata son las elevaciones principales.



**MAPA 4.1:** Ubicación regional de la zona de estudio, en donde se indica los volcanes Huisla, El Altar y Tungurahua objetos del presente estudio.

**Vegetación.-** Se notan claramente 3 niveles de vegetación alrededor del volcán, marcados por la altura y por la composición de las rocas y los suelos que la cubren. La parte superior, desde alrededor los 3.400 msnm hacia arriba, se encuentra descubierta de vegetación debido a la elevada altura y sus consecuencias: el clima frío y el viento. Desde alrededor de los 2.600 hasta los 3.200 msnm, el “chaporro” es la vegetación característica, con excepción de los alrededores de Pondoá y la parte superior de Runtún, donde se ha desmontado y aprovechado los suelos para cultivo. Bajo los 2.600 msnm casi todos los suelos están cultivados.

**Clima.-** Según el Instituto de Meteorología (INAMHI), Baños el principal poblado de la zona de estudio se encuentra en el límite entre los climas mesotérmico húmedo y mesotérmico semi-húmedo. Los meses más lluviosos son los comprendidos entre abril y septiembre, con un promedio de 105,5 mm como suma mensual de lluvia. La humedad relativa promedio al año es de 83% y la temperatura media al año: 16.9° C. Los sectores cultivables que se localizan al Sur-este de Cusúa y al Este de Chontapamba, carecen de fuentes de agua superficial. Esto se explica porque en ese sector, los piroclastos depositados por las nubes volcánicas, tienen alta permeabilidad y permiten el flujo de agua lluvia y deshielos hacia el interior hasta alcanzar una superficie impermeable, para por medio de ésta dirigirse hacia el río Chambo.

## **1.5. ESTUDIOS GEOLÓGICOS ANTERIORES**

Entre los trabajos que han sido consultados durante este estudio se “destacan” los siguientes:

**Avalancha de Escombros.** La información bibliográfica principal para entender este fenómeno, dinamismo, causas, morfología de los depósitos, etc., son los siguientes:



- GLICKEN H. X., 1991. "Sedimentary architecture of large volcanic-debris avalanches. In Sedimentation in Volcanic Settings". SEPM Spec. Publication, v., 45, p. 99-106.
- LEYRIT H., & MONTENEAT C., 2000. "Volcaniclastic rocks from magmas to sediments, Flank collapse and debris avalanches deposits", Gordon and Breach Science Publishers, p. 111-129.
- SIEBERT L., 1984. "Large volcanic debris avalanche: characteristics of source areas, deposits and associated eruption". J. Volcanol. Geotherm. Res. 22, p. 163-197.
- SIEBERT L., GLICKEN H., and Ui T., 1987. "Volcanic hazards from Bezymianny and Bandai type eruptions". Bulletin Volcanology, v. 49, 435-459.
- Ui T., 1983. "Volcanic dry avalanche deposits: identification and comparison with nonvolcanic debris stream deposits". J. Volc. Geotherm. Res., 18, p. 135-150.
- Ui T., TAKARADA S., & YOSHIMOTO M., 2000. "Debris Avalanches". Encyclopedia of Volcanoes, Academic Press eds, London, 617, 628

**Volcán Huisla.** Referente a este volcán es casi nula la información bibliográfica con relación a su geología en general, únicamente existe una leve descripción petrográfica de *Humbolt* recopilada en la publicación:

ALPHONS STÜBEL, "Las montañas volcánicas del Ecuador", Banco Central del Ecuador, UNESCO, mayo 2004. Este trabajo permitió conocer en parte la petrografía del volcán y así diferenciar o comparar con respecto a las rocas de otros volcanes.

**Volcán El Altar.** No existe suficiente información geológica, petrográfica y geoquímica; sin embargo, *Eissen et al. (2004)* en la publicación "El deslave del 13 de octubre del 2000 del Volcán El Altar", introduce en parte información que ayuda a un conocimiento geológico general del volcán, lo que permite diferenciar o comparar con otras rocas identificadas en la zona.

**Volcán Tungurahua.** Este volcán ha sido objeto de estudios importantes, los cuales han ayudado a conocer su evolución a lo largo de su historia geológica, y han servido de base para la realización del presente proyecto de titulación, estos estudios se enumeran a continuación.

*Con relación a la geología local y regional del volcán:*

- \_ SALAZAR (1977), “Geología del flanco septentrional del volcán Tungurahua”. Estudio geológico general enfatizado principalmente en la parte norte del volcán, caracterizando los eventos previos y posteriores a los colapsos. Este trabajo ayuda como una introducción a la geología local y regional del volcán; sin embargo, no especifica los depósitos de los colapsos sectoriales
- \_ INECEL (1989), “Proyecto hidroeléctrico San Francisco: Informe final de vulcanología”. Estudio vulcanológico del Cotopaxi, Chimborazo y Tungurahua para determinar el impacto de la actividad de estos en los bienes y obras de los proyectos Agoyán y San Francisco. No identifican depósitos de avalancha de escombros.
- \_ ALMEIDA & RAMÓN (1991), “Las erupciones históricas del volcán Tungurahua”. Estudio de correlación con los registros de la actividad histórica del volcán Tungurahua, complementado con un estudio estratigráfico. Con este trabajo podemos identificar algunos de los peligros asociados al volcán entre uno de ellos una avalancha de escombros. Es la primera ocasión que se menciona este peligro potencial.
- \_ INECEL (1992), “Estudio complementario de vulcanología”. Estudio geológico del volcán aplicado en la actividad eruptiva de los últimos 3000 años. Con esto podemos constreñir uno de los periodos del volcán dentro de su historia geológica. Identifican por lo menos dos depósitos de avalancha de escombros del Tungurahua; sin embargo, no los caracterizan.

*Con afinidad a la caracterización geoquímica, edades y geología local:*

- \_ HALL et al, (1999), “Tungurahua volcano, Ecuador: Structure, eruptive history and hazards”. Estudio de los diferentes períodos eruptivos del volcán Tungurahua, caracterizando sus respectivos depósitos y los del colapso del Tungurahua-II. Los depósitos de avalancha de escombros que son

cartografiados, la extensión y volumen están asociados al colapso de ~ 3 ka AP, basado en el informe vulcanológico para INECEL (1989). Este trabajo sirve de base para iniciar el estudio de este proyecto de titulación ya que enfatiza mejor la historia evolutiva del volcán.

- \_ JAYA, D., (2004) “El Colapso del volcán Tungurahua en el Holoceno Superior: análisis de estabilidad y dinamisismos explosivos asociados”. Tesis de grado que caracteriza la explosión lateral dirigida (Blast) y la estabilidad del edificio. El determinar la edad del blast (~ 3 ka AP) a relacionar con los otros productos que lo sub y sobreyacen estratigráficamente, en especial los de avalancha de escombros.
- \_ LE PENNEC et al, (2006) “Field Guide”. Fourth Conference Cities on Volcanoes. Trabajo que resume la historia geológica del volcán Tungurahua, en el cual reconoce un evento de colapso sectorial hace 30 ka AP y depósitos de avalancha de escombros asociados probablemente a los volcanes Huisla y El Altar.

Con respecto a los eventos sucedidos dentro de los último 3 ka de la historia geológica del volcán:

- \_ CRUZ-MERMY (2002), “L’Avalanche de débris, 3000 ans BP, au volcan Tungurahua (Equator)”. Tesis de grado que caracteriza el depósito de la avalancha de escombros del Tungurahua generado hace 3000 años AP. Permite tener un conocimiento de la morfología, estructuras y facies que se identifican en los eventos de colapso sectorial del Tungurahua.
- \_ MOLINA, C. I., et al (2005). “Three-dimensional P-wave velocity structure of Tungurahua volcano”. Este estudio define mejor la cicatriz de avalancha de escombros del Tungurahua 3 ka, el cual sirve de referencia para este trabajo.

A lo largo del desarrollo del presente proyecto de titulación se han utilizado información bibliográfica adicional, la cual está detallada en la sección de Referencias Bibliográficas.

## CAPITULO 2

### CONTEXTO GEOLOGICO

#### 2.1 CONTEXTO GEOLOGICO GENERAL

##### 2.1.1 Marco Geodinámico del Ecuador

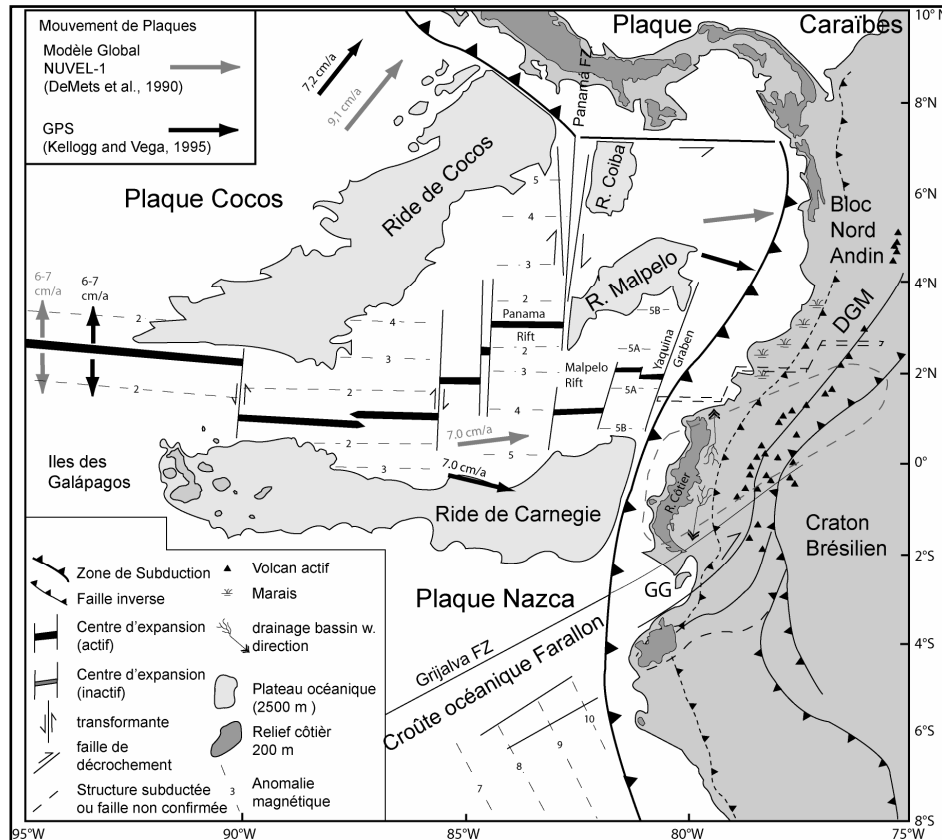
El Ecuador se encuentra ubicado en la parte Nor-occidental de América del Sur, por lo que su evolución geológica esta controlada por la interacción de las Placas Nazca, Caribe, Cocos y Sudamericana (FIGURA 2.1).

La placa Nazca se encuentra bajo el Océano Pacífico al lado Oeste del continente Sudamericano y ha tomado su nombre de la región de Nazca ubicada en el parte Sur del Perú, formada a partir de la división de la ex placa Farallón en las dos placas: Cocos y Nazca hace alrededor de 30 Ma (*Lonsdale, 1978*). El borde Este de la placa corresponde a un límite convergente, en el cual se subduce bajo la Placa Sudamericana, formando la fosa Perú-Chile (*Lutgens, 1999*). Su límite Sur forma un margen divergente con la placa Antártida, al igual que el lado Oeste con la placa Pacífica. Hacia el lado Norte forma un margen divergente con la placa Cocos formando el rise de Galápagos (*Davidson, 2001*).

La placa Nazca frente a las costas ecuatorianas presenta dos características remarcables: **1)** la Zona de Fractura Grijalva (ZFG) que separa cortezas oceánicas de diferentes edades, al Sur la placa tiene una edad > 27 Ma (*Lonsdale & Klitgort, 1978*) y al Norte una edad < 20-22 Ma (*Lonsdale, 1978*); **2)** la Cordillera de Carnegie, es el rastro dejado por la interacción entre el punto caliente Galápagos y la dorsal Cocos-Nazca (FIGURA 2.1), produciendo la acumulación de material volcánico sobre la placa Nazca (*Lonsdale, 1978; Collot et al., 2002*).

Al Sur de la ZFG, la placa Nazca subduce hacia el ENE por debajo del Golfo de Guayaquil a una velocidad de 78 mm/a (FIGURA 2.1) (*Pennington, 1981; Gutscher et al., 1999, Collot et al., 2002*), y al Norte de la ZFG, la velocidad de convergencia a nivel de la fosa entre la placa oceánica Nazca y la placa continental Sudamericana es de 57 mm/a (FIGURA 2.1) con una dirección de

convergencia de  $\sim N100^\circ$  (Trenkamp et al., 2002). El rasgo más visible sobre esta porción de placa corresponde a la cordillera submarina de Carnegie ubicada frente a la costa de Ecuador, con una orientación casi Este-Oeste, subduciéndose



entièrement entre la latitude de  $1^\circ N$  y  $2^\circ S$ .

**FIGURA 2.1:** Esquema Geodinámico del margen del Pacífico Este a nivel de América Central y América del Sur (*Gutscher et al., 1999*). **FZ= Fona de Fractura, GG= Golfo de Guayaquil, DGM= Dolores Guayaquil Megashear.**

La Cordillera Asísmica de Carnegie (CAC) (FIGURA 2.2), de 200 km de ancho y con un espesor presumiblemente mayor a 15 km (*Collot et al., 2002*), presenta un relieve de hasta 3 km el que sobresale del fondo marino, provocando que la fosa frente a las costas ecuatorianas tenga una mínima profundidad de ~ 2,9 km (*Lonsdale, 1978*).

A lo largo del área de colisión contra la fosa, en la actualidad, el margen continental ecuatoriano ha empezado a levantarse ~ 1700 m (*Lonsdale, 1978*). *Daly (1989), Benítez (1995), Aalto & Miller (1999), Pedoja (2003) y Cantalamesa & Di Celma (2004)*, han propuesto que la evolución de las cuencas ante-arco, como las cuencas de Borbón y Manabí han sido controladas por la subducción de Carnegie. Además la química del arco volcánico activo (*Bourdon et al., 2003; Samaniego et al., 2005*) y las tasas de enfriamiento y levantamiento de los Andes a 13 Ma y desde 9 Ma (*Steinmann et al., 1999; Spinkings et al., 2001*) también han sido relacionados con el tiempo de arribo de Carnegie al eje de la fosa.

Las edades propuestas para la colisión de Carnegie contra el margen continental varía entre 1 y 15 Ma (*p.e. Lonsdale, 1978 y Spinkings et al., 2001*) respectivamente.

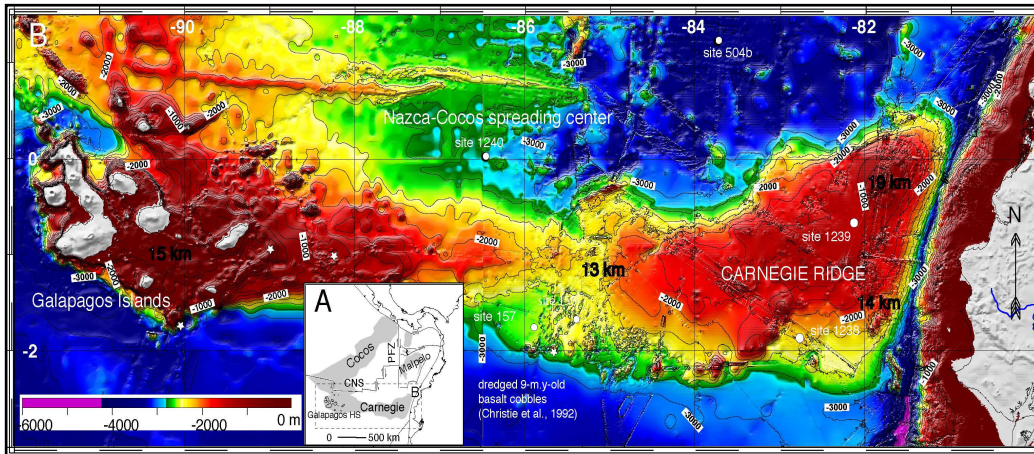


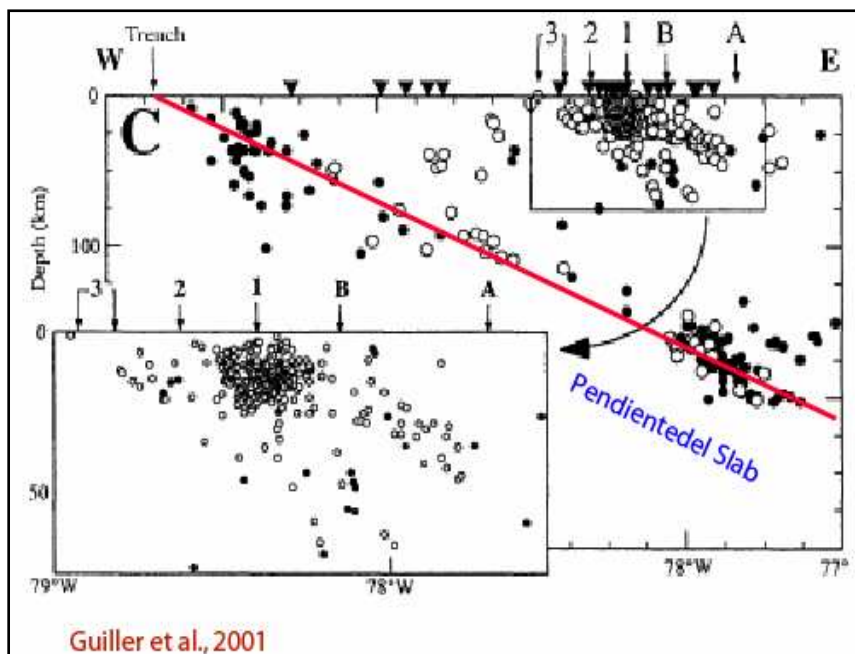
FIGURA 2.2: Modelo Batimétrico de la Cordillera de Carnegie. A) Marco Geodinámico General; B) Rasgos Morfoestructurales de la Cordillera (Michaud et al., 2005)

Estudios sísmológicos usando una densa red de 54 estaciones instaladas en la parte Norte de Ecuador (Guiller et al., 2001) han confirmado que el ángulo de inclinación del slab asociado con la CAC, varía entre 35° al Norte de 0° y de 25° entre 0° y 2° S, y adicionalmente el slab muestra una continuidad hasta una profundidad de 200 km (FIGURA 2.3).

A la latitud aproximada de 1° N, el eje de la fosa exhibe un cambio en la tendencia, desde N-S al Sur y desde NNE al Norte, y al Norte de 1° N, la convergencia entre la placa Nazca y Sudamericana es oblicua y producen un movimiento particionado (Ego et al., 1996). Esta convergencia oblicua y la subducción de la CAC han sido propuestas como el generador de la migración del Bloque Nor-Andino, el cual migra hacia el NE a lo largo de un sistema mayor de fallas transpresivas dextrales de carácter regional que se extiende desde Ecuador

(Golfo de Guayaquil) Venezuela et al., 1996).

hasta (Ego



**FIGURA 2.3:** Angulo del Slab (25°- 35°) determinado mediante un análisis realizado sobre la distribución espacial de la sismicidad por debajo del Ecuador entre las latitudes 1° N y 2° S (*Guiller et al., 2001*).

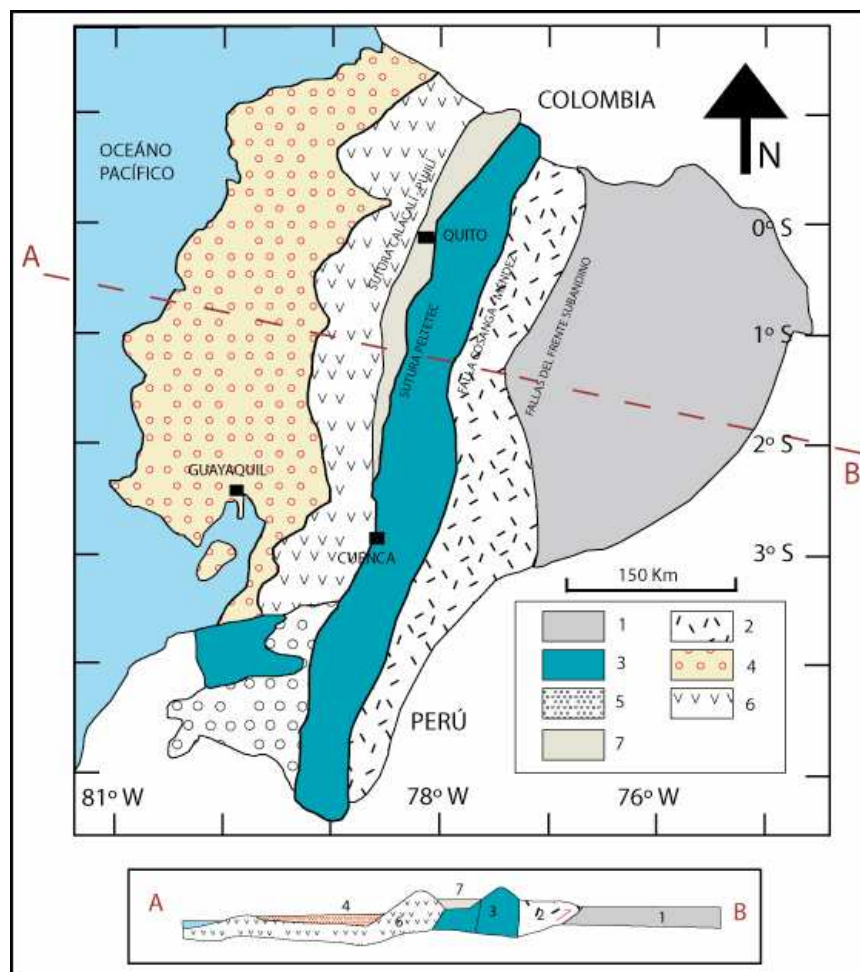
*Winter & Lavenu (1989), Soulas et al. (1991) y Ego et al. (1996)*, describen el límite Norte del Bloque Nor-Andino como un sistema mayor de fallas dextrales que corta o atraviesa los Andes Ecuatorianos a través de algunos segmentos de fallas activas como las fallas Calacalí – Pallatanga, el sistema de empuje del Valle Interandino y la falla Chingual – La Sofía. La velocidad relativa de movimiento del Bloque Nor-Andino respecto a la placa Sudamericana es de ~ 8 mm/a en sentido NNE (*Trenkamp et al., 2002*).

A lo largo de las costas ecuatorianas el Bloque Nor-Andino exhibe principalmente terrenos oceánicos acrecionados al margen continental Andino. La obducción de estos terrenos oceánicos ocurrió entre el Cretácico tardío y el Eoceno tardío (*Feininger & Bristow, 1980; Burgois et al., 1982, 1987, 1990; Benítez et al., 1993; Jaillard et al., 1997; Reynaud et al., 1999; La Pierre et al., 2000; Mamberti et al., 2003*).



## 2.1.2 Historia Geológica del Ecuador

En la FIGURA 2.4 se muestra los componentes geológicos de mayor importancia del Ecuador y su actual distribución fisiográfica. El Ecuador continental está fisiográficamente dividido en tres regiones principales: **1)** el Oriente o Amazonia; **2)** la Sierra o Los Andes; y **3)** la Costa. Cada una de estas regiones representa también ambientes geo-tectónicos diferentes.



**FIGURA 2.4:** Esquema estructural mostrando el contexto geológico general del Ecuador y corte esquemático a  $\pm 0.5^\circ$  N. Las regiones fisiográficas del Ecuador son correspondientes a sus principales componentes geológicos.

**LEYENDA:** 1.- Cuenca Oriente; 2.- Zona Sub-andina; 3.- Cordillera Real y Bloque Amotape Tahuín; 4.- Costa; 5.- Cuenca Alamor-Lancones; 6.- Cordillera Occidental y 7.- Valle Interandino. (Modificado de Aspden et al., 1992.)

Así el Oriente (FIGURA 2.4), es una cuenca sedimentaria en cuyo basamento pre-Cámbrico se encuentra registrada la historia geológica de esta zona del Ecuador desde al menos del Devónico hasta el presente (*Tschopp, 1953*). Hasta el Campaniano, los sedimentos que se depositaron en la Cuenca Oriente provenían de la erosión del Cratón Guayano-Brasileño al Este, y la cuenca formaba parte de un margen continental pasivo (*Rivadeneira & Baby, 1999; Baby et al., 2004*). Desde el Maastrichtiano (Fm. Napo), y hasta hoy en día, el sentido de la depositación cambian y los sedimentos tienen su origen en la Cordillera Real, al Occidente de la cuenca.

El extremo Occidental de la Cuenca Oriente, conocido como Zona Subandina (FIGURA 2.4), es un bloque de corteza con intensa actividad geotectónica (*Ego, 1995 a, Rivadeneira & Baby, 1999, Baby et al., 2004*) que se encuentra levantado. En estos levantamientos está expuesto un segmento importante de la estratigrafía de la Cuenca Oriente. Sobreyaciendo estas secuencias Mesozoicas hay una serie de formaciones sedimentarias del Terciario y Cuaternario, las cuales forman un delta inclinado hacia el Este.

La Sierra está conformada por la Cordillera Real, la Cordillera Occidental y el Valle Interandino, el cual está ubicado entre las dos cordilleras. La Cordillera Real (FIGURA 2.4), está constituida por un cinturón de rocas metamorizadas en el Terciario medio a superior y en el Jurásico superior (*Aspden et al., 1992b; Noble et al., 1997*). En el Ecuador el cinturón tiene dirección NNE – SSW y se extiende por ~ 650 Km desde la frontera con Colombia hasta la frontera con Perú. Una porción de la Cordillera Real, el Bloque Amotape-Tahuín (*Aspden et al., 1995*), aflora en el extremo SW del Ecuador. Se piensa que este bloque fue desmembrado de la Cordillera Real durante el Jurásico tardío – Cretácico temprano y trasladado hacia el Norte y rotado en forma horaria durante la parte final de la formación del Mar de Tethys (*Aspden et al., 1992a*). La traslación y rotación del Bloque Amotape Tahuin podría haber dado lugar a la formación de la Cuenca Alamor – Lancones a partir del Albiano, en el Sur del Ecuador (*Jaillard et al., 1999; Egüez & Poma, 2001*).

El basamento de la Cordillera Real está conformado por diferentes terrenos cuyas litologías incluyen granitos tipo “S”, gneises, granitos tipo “I”, esquistos verdes, metavolcanitas, pelitas, campos de skarn y un cinturón de ofiolitas que afloran a lo largo de la sutura Peltetec (*Aspden & Litherland, 1992*). Este ámbito constituía el margen continental activo hasta el final del Jurásico (Ca 140 Ma) (*Aspden et al., 1992b; Aspden et al., 1992a; Aspden & Litherland, 1992; Litherland et al., 1994; Spikings et al., 2000*). Sobre el basamento metamórfico hay formaciones volcánicas Miocénicas (Fm. Pisayambo) y Cuaternarias (Arco Volcánico Actual). El levantamiento de la Cordillera Real parece haberse producido a partir del Campaniano como consecuencia de la colisión/acreción del terreno oceánico que conforma el basamento de la Costa y la Cordillera Occidental del Ecuador (*Aspden et al., 1992b*).

Al Norte del Golfo de Guayaquil (FIGURA 2.4), el basamento de la Cordillera Occidental y de la Costa está constituido por un terreno oceánico de edad Cretácico temprano, el terreno Piñón – Pallatanga (*McCourt et al., 1998; Cosma et al., 1998; Reynaud et al., 1999*). Este terreno se acrecionó al continente a través de la sutura Calacalí – Pujilí – Palenque (*Pratt et al., 1998; Dunkley & Gaibor 1998; McCourt et al., 1998*) durante el Cretácico tardío (*Feininger, 1980; Aspden et al., 1992*). Sobre este terreno se depositaron en la Costa, bajo un ambiente de cuenca de ante-arco, sedimentos provenientes de la naciente Cordillera Occidental, a partir del Paleoceno hasta la actualidad (*Benítez et al., 1991; Jaillard et al., 1995, 1996, 1997, 2004, 2005*).

Entre la Cordillera Occidental y la Cordillera Real se encuentra el Valle Interandino (FIGURA 2.4). Esta depresión bordeada de fallas está presente en la actualidad solo a partir de los ~ 2° S, hacia el Norte; aunque durante el Mioceno se extendía hasta ~ 5° S. Se piensa que el basamento del Valle Interandino está constituido por rocas equivalentes a las del Bloque Amotape Taquín (*Aspden et al., 1988*), las cuales están cubiertas por los depósitos de la actividad volcánica y tectónica a partir del Mioceno hasta el presente (*Barberi et al., 1988; Hall & Beate, 1991*). Al Sur de ~ 2° S, las cuencas sedimentarias se depositaron principalmente durante el Mioceno medio a superior, para luego ser clausuradas y deformadas

durante el Mioceno Terminal. *Hungerbühler et al. (2002)*, relaciona este evento debido a una fase de intensa actividad tectónica, probablemente relacionada con el arribo a subducción de la Cordillera de Carnegie a ~9 Ma.; sin embargo, con estudios recientes (*Graindorge et al., 2004*) se conoce que la subducción de Carnegie empezó por lo menos a 2 Ma, lo que descartaría que la clausura de las cuencas haya sido efecto directo de la subducción de esta cordillera.

### 2.1.3 El Volcanismo en Ecuador

El volcanismo se encontraba extendido en todos los Andes ecuatorianos ya en el Mioceno tardío y Plioceno temprano. En el Norte y Centro del país estos depósitos se encuentran agrupados en la Formación Pisayambo (Cordillera Real), el tope del Grupo Zumbagua (Cordillera Occidental), volcánicos Angochagua (Valle del Chota) y volcánicos Pugarán. En el Centro Sur y Sur los depósitos son denominados Fm. Sicalpa, Cisarán, Tarqui y Quimsacocha (*Hungerbühler et al., 2002; Lavenu et al., 1992; Beate et al., 2001*). En el Plioceno tardío y Cuaternario la actividad volcánica se restringe a la zona Centro-Norte del país.

Los volcánicos Plio-Pleistocénicos corresponden a estrato-volcanes viejos y erosionados; sus productos incluyen las partes más antiguas de los estrato-volcanes cuaternarios. En algunos casos se los ha denominado Fm. Latacunga (*Lavenu et al., 1992*) en la parte Central del Ecuador, mientras que en el resto del país son denominados volcánicos indiferenciados (*BGS-CODIGEM, 1997*).

La actividad Cuaternaria está caracterizada por la construcción de un gran número de grandes estrato-volcanes, los que forman los más altos picos de los Andes del Norte. Este arco volcánico comprende varias filas de volcanes.

Según *Hall & Beate (1991)* existen: **1)** El frente volcánico, el cual ocupa la posición más Occidental del arco; tiene un rumbo N-NE y va desde el Chiles en el límite con Colombia hasta el Chimborazo al Sur. **2)** Los volcanes del Valle Interandino son estrato-conos simples y/o grupos de volcanes, generalmente viejos y muy erosionados. **3)** Sobre la Cordillera Real y en forma dispersa se edifica la tercera fila de estrato-volcanes, su rumbo es sub-paralelo al frente volcánico. Esta franja volcánica se extiende desde el Soche al Norte hasta el

Sangay al Sur, incluyendo El Reventador y Cotopaxi. **4)** Finalmente, la cuarta fila de volcanes se encuentra construida sobre el levantamiento Napo y se caracteriza por el carácter alcalino de sus lavas. A este grupo de volcanes pertenecen el Sumaco, Pan de Azúcar y Yanayacu.

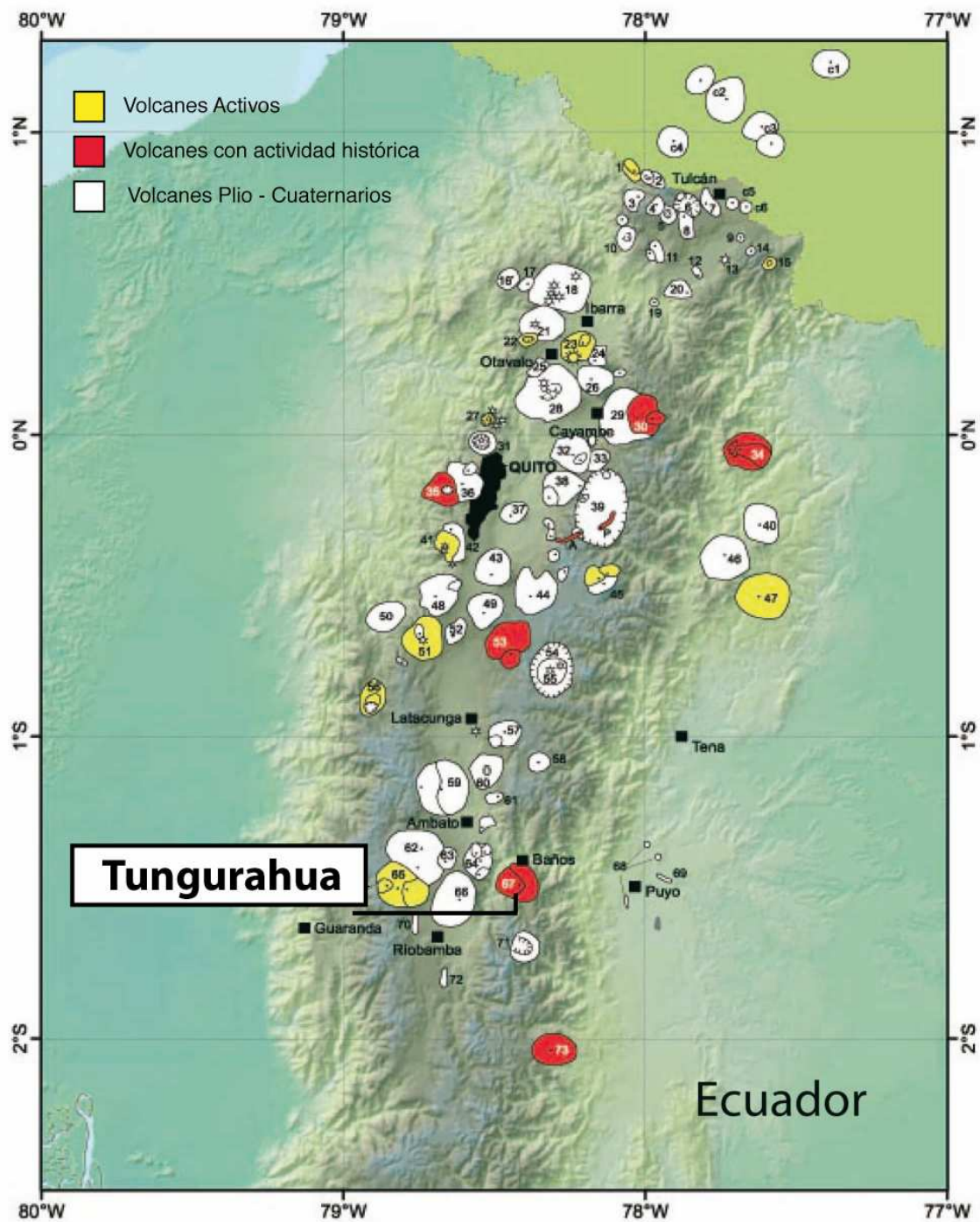
En la parte Norte de la Cordillera Occidental, el esparcimiento de los centros volcánicos Cuaternarios es más o menos homogéneo, con un promedio de 30 km, pero entre el volcán Quilotoa (0° 50' S) y el Complejo Volcánico Chimborazo (1° 3' S) la separación es mucho mayor, aproximadamente el doble de lo normal, es decir cerca de 65 km (FIGURA 2.5).

*Monzier et al. (1999b y 2003)*, en base a argumentos geoquímicos realizaron un nuevo agrupamiento de los centros volcánicos a lo largo de los Andes ecuatorianos. Según el grado de enriquecimiento en elementos incompatibles (p.e. La, Nb) se definen tres alineamientos de volcanes. El alineamiento más próximo a la fosa, agrupa los volcanes del **frente volcánico**, coincidiendo en parte con lo propuesto por *Hall & Beate (1991)*, pero excluye el volcán Chimborazo, como ya fue anotado por *Barberi et al. (1988)*. El **arco principal**, incluye los volcanes construidos sobre la Cordillera Real y a la gran mayoría de los volcanes construidos en el Valle Interandino. Finalmente, la existencia de una tercera fila de volcanes construida sobre la Zona Sub-Andina, llamados los volcanes de **tras arco** (FIGURA 2.6); volcanes que representan una composición química y mineralógica diferente a la del resto del arco.

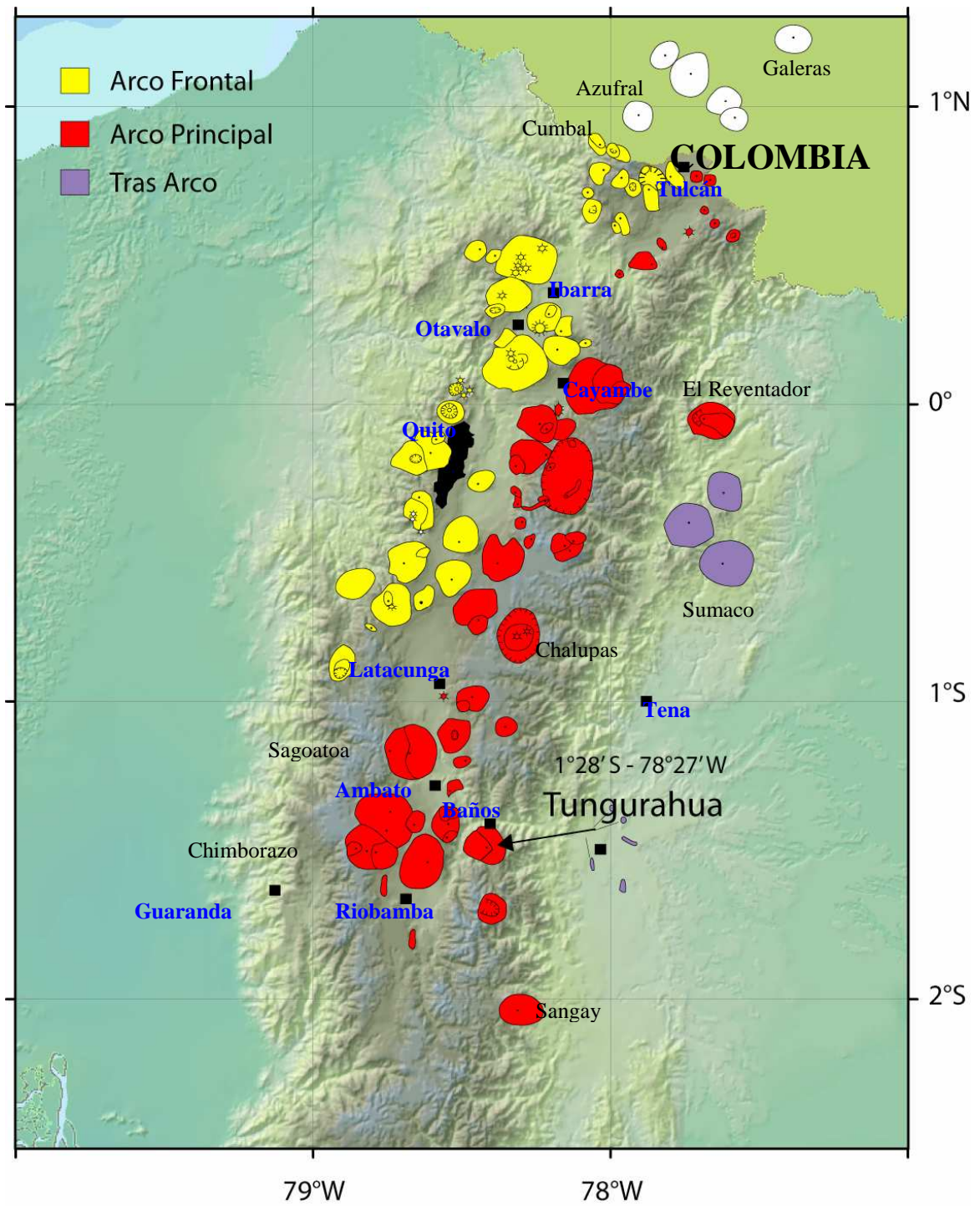
Globalmente, las rocas del arco volcánico ecuatoriano constituyen una serie calco-alcalina de medio a alto potasio (según la clasificación de *Gill, 1981*). Desde el punto de vista de los elementos en traza, la principal característica de estas rocas es un empobrecimiento generalizado en tierras raras pesas e Y (FIGURA 2.7), característica que ha llevado a proponer un carácter adakítico para el magmatismo ecuatoriano (*Monzier et al., 1997; Bourdon et al., 2002, 2003; Samaniego et al., 2002*). Esto implica que, a más de la fusión de la cuña del manto, se debe hacer intervenir la fusión parcial de una fuente basáltica; la cual, según el marco geológico y geodinámico del arco ecuatoriano, puede ser: **a)** la placa subducida (*Bourdon et al., 2002, 2003; Samaniego et al., 2002*); o **b)** la

corteza inferior, constituida por terrenos de naturaleza oceánica y/o magmas basálticos acumulados en la base de la misma (*Kilian et al., 1995; Arculus et al., 1999; Monzier et al., 1997; Garrison et al., 2003*).

Así, como lo sugirieron *Bourdon et al. (2003)*, un modelo petrogenético general para el arco ecuatoriano debe involucrar: **1)** la fusión parcial de la placa oceánica subducida; **2)** el ascenso de estos magmas a través de la cuña del manto con los consiguientes cambios en la composición química de los magmas así como de la fuente mantélica (metasomatismo); **3)** la fusión parcial de este manto previamente metasomatizado por magmas adakíticos; y **4)** procesos complejos de diferenciación por cristalización fraccionada, mezcla de magmas y contaminación a nivel cristal.



**FIGURA 2.5:** Mapa de los volcanes Plio-Cuaternarios del Ecuador (*Modificado de Eissen et al., 2005*). El arco se extiende de forma continua desde los 2°S hasta la frontera con Colombia (~ 1°N), y desde ~ 79°W hasta ~ 77.5°W. En el Ecuador el arco es de ~350 km de largo y de ~140 km de ancho como máximo (entre 0° y 1° de latitud)



**FIGURA 2.6:** División del arco volcánico ecuatoriano se divide en tres alineamientos de volcanes, de Oeste a Este: Frente volcánico, Arco Principal y Tras- Arco, según el punto de vista geoquímico (Modificado de Monzier et al ., 2003)



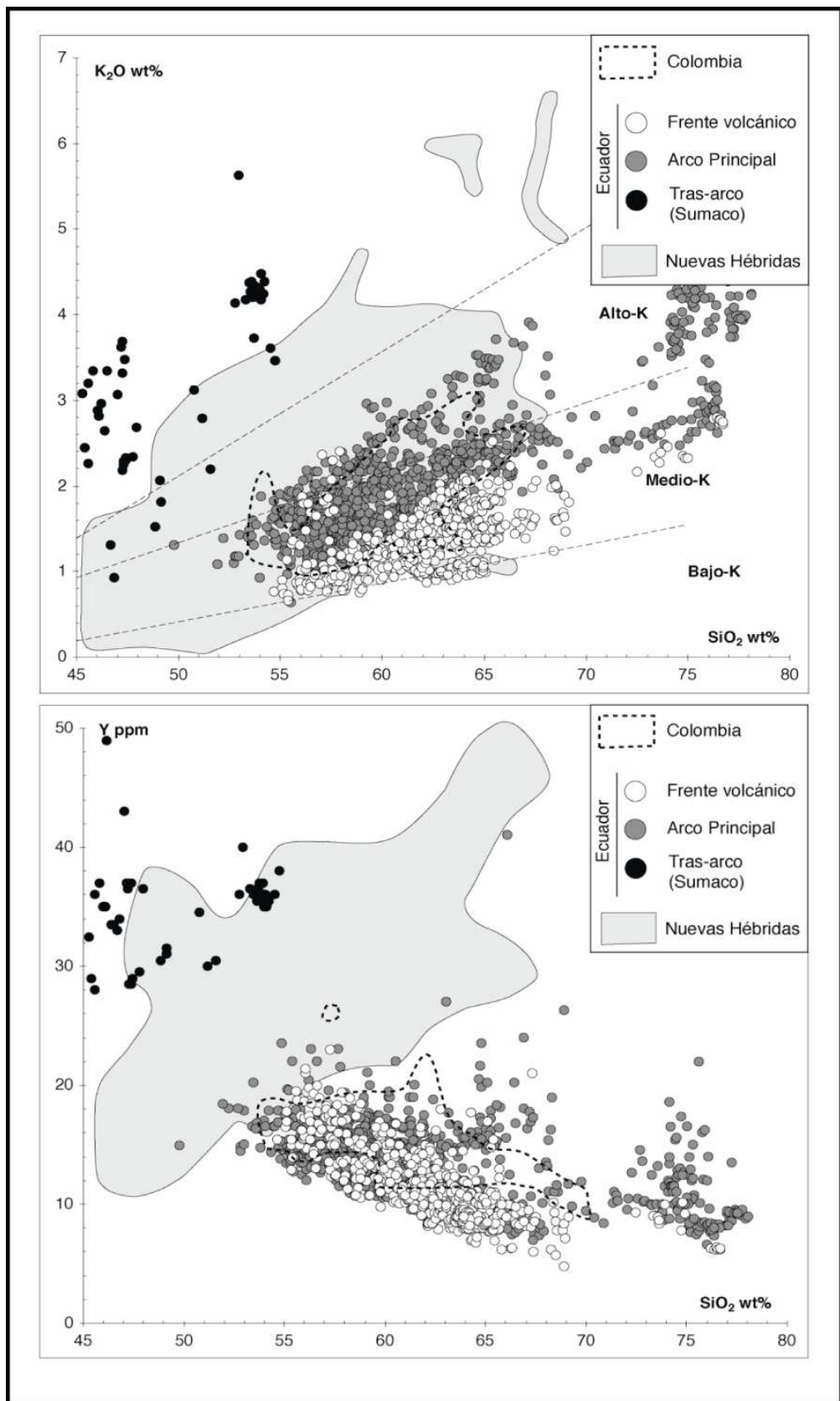


FIGURA 2.7: Clasificación de las rocas volcánicas del arco magmático ecuatoriano, utilizando el diagrama de clasificación de rocas según Gill (1981), (Samaniego et al., 2004)

## **2.2 CUADRO GEOLÓGICO DE LOS VOLCANES HUISLA, EL ALTAR Y TUNGURAHUA**

### **2.2.1 Volcán Huisla**

El volcán Huisla (3763 msnm) que forma parte de un complejo volcánico constituido además por los picos Llimpe (3732 msnm) y Padreloma (3650 msnm) asentados sobre La Cordillera Real y posiblemente encima de los volcánicos relacionados a la formación Cisarán, se encuentra ubicado a 4 km al Este del centro del cantón Quero. Las rocas que forman este complejo consta de andesitas piroxénicas sobreyaciendo a un basamento volcánico más antiguo que se exhibe en el desvío de Pelileo al valle de Patate, en parte conformada por una típica andesita anfobólica y en parte por una andesita piroxénica con contenido de olivino. Estas informaciones son de Alphons Stübel, en la publicación “Las montañas volcánicas del Ecuador”, Banco Central del Ecuador, UNESCO, mayo 2004. No se sabe más sobre este volcán.

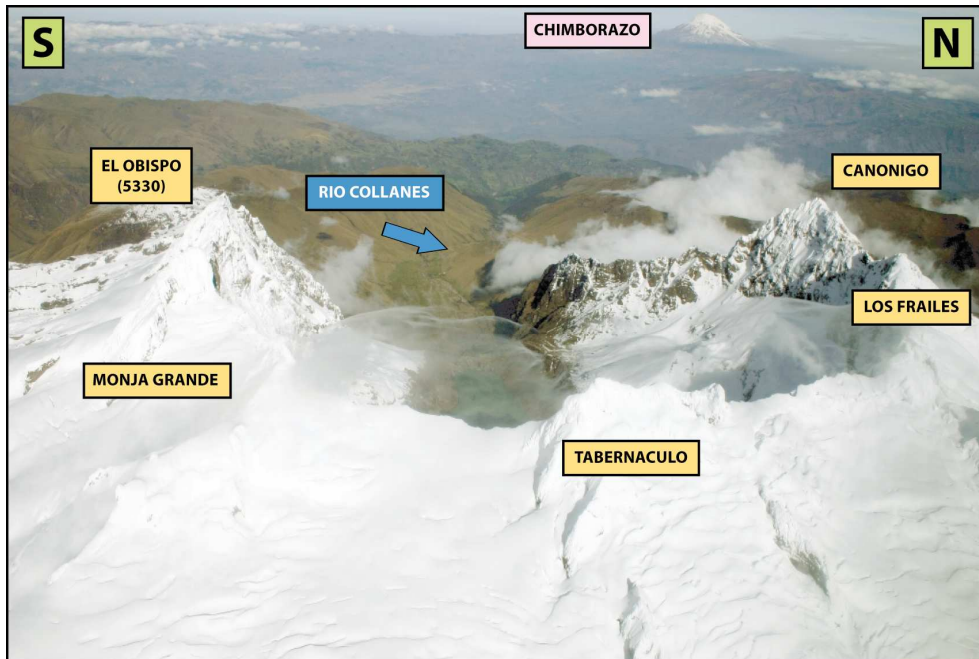
### **2.2.2 Volcán El Altar**

#### **Marco Geomorfológico**

El Altar es un estrato-volcán principalmente andesítico, el cual se encuentra apagado desde hace aproximadamente un millón de años. Su morfología actual es la de un cono volcánico bastante erosionado, truncado por una caldera de avalancha en forma de herradura abierta hacia el Occidente. Las cumbres de la caldera incluyen seis picos cubiertos de nieve y hielo que alcanzan alturas sobre los 5000 msnm. Estas son, de Sur a Este y continuando hacia el Norte: El Obispo (5330 msnm), La Monja Grande (5310 msnm), La Monja Chica (5154 msnm), El Tabernáculo (Sur 5209 msnm y Norte 5182msnm), Los Frailes (SE 5196 msnm, central 5125 msnm y NW 5245 msnm) y el Canónigo (5259 msnm) (FOTO 2.1)

Observaciones realizadas durante el siglo XVIII indican que los glaciares ocuparon todo el interior de la caldera y además llegaban hasta las pendientes

superiores del valle del Collanes. Pero, desde finales del siglo pasado, se observó un importante retroceso de los glaciares; restos de estos glaciares están presentes en cotas superiores a los 4500 msnm, ubicados preferencialmente en circos sobre la laguna.



**FOTO 2.1:** Caldera de avalancha del volcán El Altar en forma de herradura abierta hacia el Occidente, debido al colapso de la parte superior del cono somital. (Foto: Ing. Patricio Ramón)

## Marco Geológico

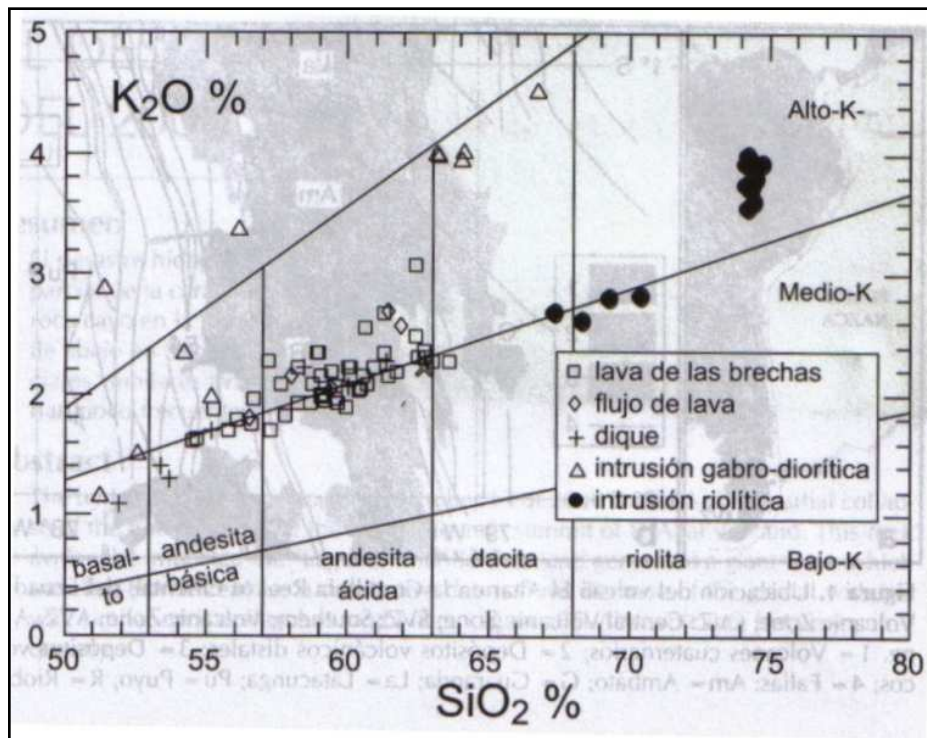
*Eissen et al. (2004)* mencionan que la parte interior de la caldera consiste de una intrusión de gabro-diorita ubicada en la parte norte (posiblemente se trata de los remanentes de una antigua cámara magmática), la cual está en contacto hacia la parte Sur y Este con una ancha intrusión de riolita que presenta a su contacto con las andesitas de facies vitrificada de tipo obsidiana. Como algunos tipos de riolita están cortando a la intrusión gabro-diorita, la segunda debe ser más antigua que la primera. El contacto de las dos intrusiones sigue un límite sinuoso a nivel métrico pero es muy preciso a nivel centimétrico. Después de su emplazamiento, la intrusión de riolita fue cortada por numerosas generaciones de

diques de andesitas, más o menos porfíricas, los cuales fueron los alimentadores de todas las formaciones volcánicas superiores del edificio.

Todas las partes superiores del volcán están conformadas por dos series sobrepuestas de brechas andesíticas, con episodios más o menos hidromagmáticos, que fueron emplazadas cuando el volcán era activo y probablemente bastante más alto que en la actualidad. Las brechas están constituidas de una mezcla heterogénea de bloques de lavas andesíticas, más o menos vesiculadas e hidrotermalizadas y cementadas por una matriz más fina de partículas volcánicas. Estas brechas están también cortadas por numerosos diques de andesitas, los cuales fueron también los alimentadores de todas las formaciones volcánicas superiores del edificio.

Aparentemente, el final de esta actividad estuvo marcado por el colapso hacia el Occidente de una gran parte de su estructura, formando de esta manera la caldera en forma de herradura, pero sin erupción asociada. Sin embargo, esta caldera ha sido agrandada por la acción erosiva de los glaciares que fueron emplazados allí durante las últimas glaciaciones, los cuales han erosionado profundamente la caldera y la parte superior del valle del Collanes.

Las composiciones de las rocas del volcán El Altar varían desde basaltos hasta riolitas principalmente en el límite entre los campos de medio-K y alto-K. La mayoría de las brechas, flujos de lava y diques son andesíticos y parecen pertenecer a la misma serie geoquímica. Algunas muestras de la intrusión gabro-diorítica presenta un fuerte enriquecimiento en K. La intrusión riolítica se encuentra claramente fuera del grupo principal de muestras (FIGURA 2.8).



**FOTO 2.8:** Diagrama  $K_2O$  % versus  $SiO_2$ % de los cinco principales grupos litológicos reconocidos en El Altar. Resultados obtenidos sobre 69 muestras analizadas en Brest, Francia (Eissen et al., 2004)

### 2.2.3 Volcán Tungurahua

#### Marco Geomorfológico

El Tungurahua es un estrato-volcán joven con una forma cónica que se eleva hasta una altura máxima de 5023 msnm. El cono tiene flancos con pendientes entre  $30^\circ$  a  $35^\circ$  y un diámetro basal de 14 km en la dirección Norte-Sur. (FOTO 2.2). El edificio se construyó sobre basamento metamórfico perteneciente a la Cordillera Real. La División Alao (Jurásico), con su Unidad Alao-Paute que está conformada de esquistos cloríticos, esquistos grafitosos es el basamento de la zona Central y Occidental del volcán. Mientras que la División Loja (Paleozoico), con las Unidades Agoyán constituidas por esquistos pelíticos, gneises con moscovita y granate; y Tres Lagunas que comprende granitos gnéisicos (Triásicos) constituyen el basamento de la parte Oriental del volcán (Aspden et al., 1994).



**FOTO 2.2:** Vista del Volcán Tungurahua desde el OVT. (Foto: Jorge Bustillos).

El volcán tiene una forma simétrica. El cráter se encuentra a unos 250 m la Nor-oeste de la cima máxima y para 1989 sus diámetros eran de 150 m en la dirección NE-SO, y 200 m en la dirección NO-SE, con una profundidad que varía entre los 30 y 50 m. Sin embargo, Martínez en 1932, reporta que el cráter del Tungurahua cambia frecuentemente su forma y tamaño, debido a las explosiones que suceden en las erupciones.

Los flujos de lava más viejos han formado contrafuertes en forma triangular, con el vértice apuntando hacia la cumbre. En la parte Norte del volcán, por ejemplo las superficies de Runtún y Pondoá forman estos contrafuertes y su base está junto al Río Pastaza; los flancos de estos contrafuertes, tiene una pendiente entre los  $12^{\circ}$  a  $15^{\circ}$  aproximadamente, hasta la base del arenal, donde la pendiente se incrementa a unos  $30^{\circ}$ . Son remanentes de un cono antiguo y han sido bisecados fuertemente por acción de corrientes y glaciares.

En el lado Nor-oeste, donde no existen estos contrafuertes, la pendiente es de alrededor de  $30^{\circ}$ , excepto en la base, donde disminuye. Las partes Sur-este y Este del volcán se encuentran más erosionados que el resto; existen valles glaciares y un circo glaciar en la parte Este de la cima. No se presenta indicios de acción glaciar en los flancos Nor-este, Oeste y Sur-oeste debido a la naturaleza joven de estos flancos. La topografía circundante varía entre 2000 y 3000 metros de elevación (Hall et al., 1999); y está localizado en la confluencia de los ríos Patate y Chambo. Estos dos grandes ríos descienden respectivamente del Norte

y Sur, en dirección del volcán para formar el Río Pastaza que alimenta a la Cuenca Amazónica. Además está conformado por dos grandes valles, Chambo y Patate (2 a 3 Km), los cuales tienen una forma típica en “V”; los mismos que presentan terrazas fluviales bien marcadas (Davy, 2002). Igualmente, en los valles Ulba y Vazcún se nota claramente que flujos jóvenes han rellenado valles glaciares antiguos en forma de “U”, los cuales se formaron al erosionar los flancos más antiguos del volcán.

### ***Desarrollo y características geoquímicas del volcan Tungurahua***

Hall et al. (1999) diferencian que este estrato-volcán consiste de tres edificios sucesivos, dos de los cuales han sido parcialmente destruidos por grandes colapsos sectoriales. El edificio más antiguo, denominado Tungurahua I está representado en los flancos Norte, Oriental y Sur; el cono intermedio, Tungurahua II, está representado por una serie de flujos de lava en la parte superior del flanco Sur; y el edificio joven, Tungurahua III un cono casi simétrico con pendientes entre 30° y 35°, ocupa el flanco Occidental, rellenando el anfiteatro de avalancha y los sectores de colapso.

***El Tungurahua I (Pleistoceno medio? – Pleistoceno tardío)***, al Sur de Baños, el remanente del flanco Norte (FIGURA 2.9), consiste de una serie concordante de flujos de lavas andesíticas y andesíticas básicas (55.0 -58.6 wt% SiO<sub>2</sub>, TABLA 2.1), con un espesor aproximado de 400 m, intercalado con tefra, los cuales se extienden desde las superficies de Runtún y Pondoá ahora bisecadas por el valle del Vazcún. Estas rocas, en general son andesitas de dos piroxenos con o sin olivino.

	TUNGURAHUA-I			TUNGURAHUA-II		Transición II-III		TUNGURAHUA-III		
	BA (8)	AA(8)	D(5)	BA(1)	AA(15)	D (1)	BA (1)	BA(15)	AA(26)	D(10)
						TG 49	TG 48A			
SiO <sub>2</sub>	55,75	59,04	64,93	56,60	59,71	65,70	56,23	56,47	58,66	64,51
TiO <sub>2</sub>	1,00	0,94	0,62	0,88	0,81	0,57	0,90	0,89	0,82	0,62
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	17,56	16,75	16,75	16,30	16,95	16,27	17,22	16,82	16,71	16,05
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	8,23	7,14	4,51	7,90	6,60	4,56	7,85	7,80	6,99	4,94
MnO	0,13	0,11	0,10	0,12	0,10	0,09	0,12	0,12	0,11	0,09
MgO	4,26	3,55	1,46	5,58	3,56	1,72	4,87	5,09	4,27	2,49
CaO	7,25	6,16	3,50	7,16	6,12	4,02	6,98	7,19	6,45	4,54
Na <sub>2</sub> O	3,89	3,87	4,75	3,72	4,04	4,33	4,09	3,88	3,97	4,14
K <sub>2</sub> O	1,65	2,18	3,15	1,51	1,89	2,56	1,49	1,50	1,78	2,45
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,27	0,70	0,23	0,23	0,21	0,18	0,25	0,24	0,23	0,18
TOTAL	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
FeO/MgO	1,77	1,87	2,87	1,27	1,71	2,38	1,45	1,39	1,49	1,82
Mg*	50,40	49,20	38,50	58,00	51,30	42,80	55,10	56,30	54,60	49,70
Cr	69,00	82,00	13,00	238,00	80,00	25,00	161,00	161,00	117,00	66,00
Ni	34,00	37,00	6,00	89,00	32,00	11,00	60,00	62,00	47,00	26,00
Rb	43,20	60,60	94,50	35,50	48,40	77,00	32,00	35,50	45,80	70,50
Sr	646,00	545,00	440,00	600,00	620,00	502,00	730,00	636,00	602,00	480,00
La	19,40	22,30	32,60	15,30	18,60	24,50	17,00	16,60	18,40	22,60
Yb	1,80	1,79	2,05	1,22	1,29	1,51	1,37	1,39	1,41	1,42

TABLA 2.1: Composición promedio y análisis individual de las rocas de los edificios volcánicos del Tungurahua (Hall et al., 1999)

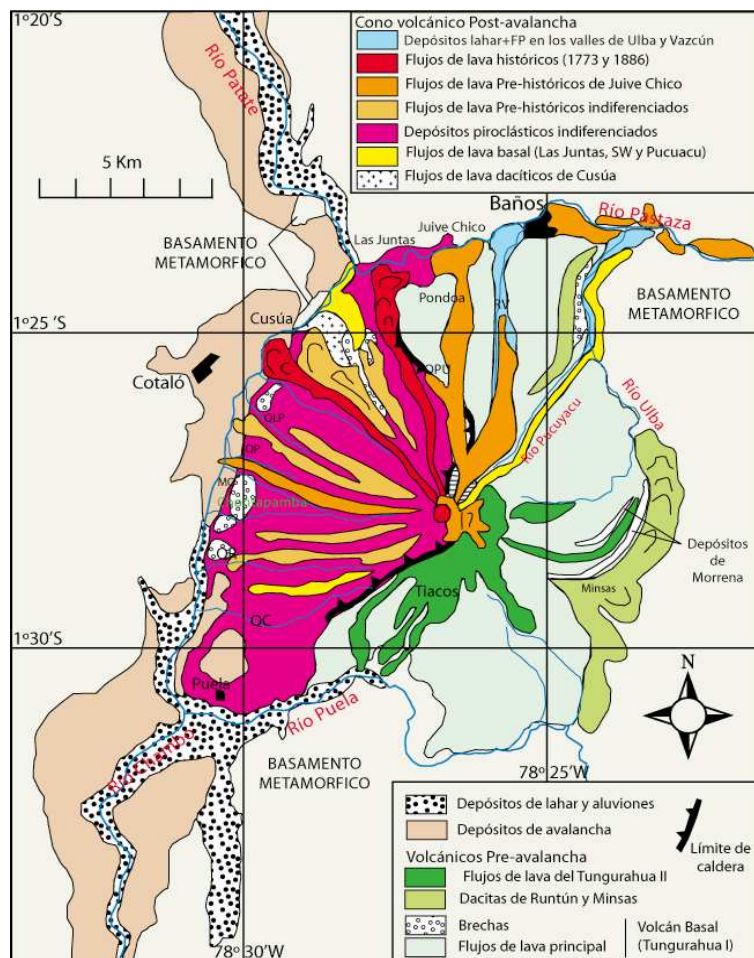


FIGURA 2.9: Principales productos volcánicos del Tungurahua I-II-III (Hall et al., 1999)



El grupo magmático del Tungurahua-I varía desde andesitas hasta dacitas (TABLA 2.1 y FIGURA 2.10), potentes unidades de lavas dacíticas que contienen biotita (64.3 – 66.3%, dacitas de Runtún), expuestas con bloques dacíticos subordinados y depósitos de flujos de ceniza se encuentran sobre las superficies de Runtún cubriendo una sucesión de brechas (*Le Pennec et al., 2006*). Similares lavas, las dacitas de Minsas, descendieron por el flanco Sur-oriental y se acumularon adyacentemente a las colinas metamórficas del basamento dejando al flanco un poco más alto que el de los lados Norte y Sur del volcán. Estas lavas han sido erosionadas por el último periodo glacial importante que según *Clapperton (1993)* comprende un intervalo de tiempo entre ~ 33 ka a ~14 ka AP

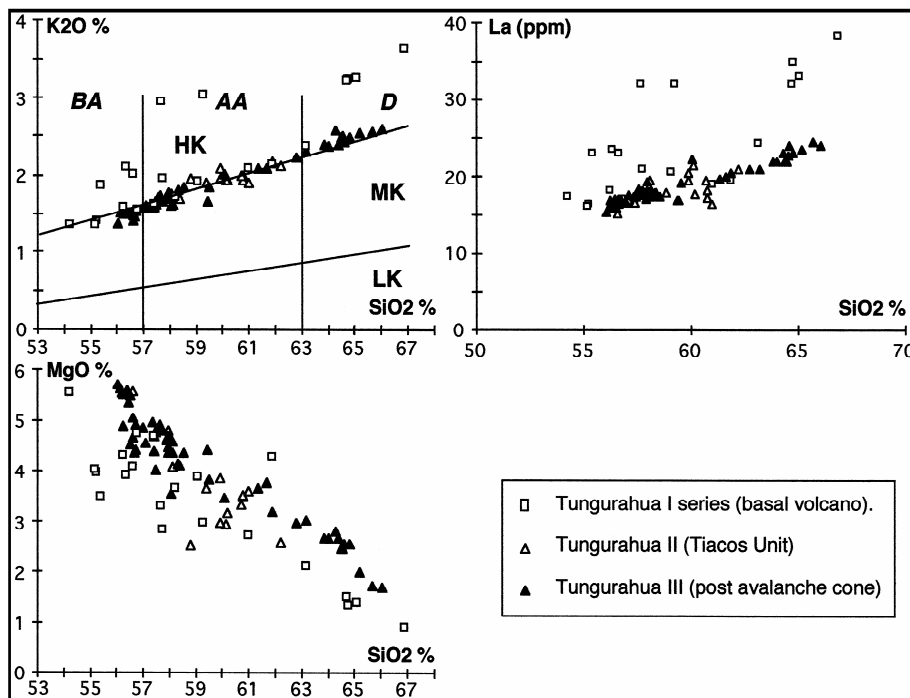


FIGURA 2.10: Diagramas Harker que ilustra la distribución geoquímica de las rocas de los tres edificios volcánicos del Tungurahua. (*Hall et al., 1999*)

Junto, las dacitas de Runtún y Minsas, pertenecen a una importante fase de volcanismo silicio que termina con la larga historia del Tungurahua I (*Hall et al., 1999*) Estas andesitas indican edades K/Ar de  $0.77 \pm 0.05$  y  $0.35 \pm 0.04$  Ma (*Barberi et al., 1988*).

***El Tungurahua II (Pleistoceno tardío – Holoceno tardío)*** (Cono intermedio), sobre la parte superior del flanco Sur, la unidad Tiacos de 80-100 metros de espesor, la cual consiste esencialmente de andesitas y lavas andesíticas de alto Si (57.7 – 60.7%wt SiO<sub>2</sub> TABLA 2.1 y FIGURA 2.10) y de una distribución limitada, descansan sobre el edificio erorado del cono viejo y están truncadas por el escarpe del colapso sectorial de ~3 ka AP Según *Hall et al. (1999)*, la actividad de las lavas de Tiacos es aparentemente más joven que 14000 años AP, en base a que estas lavas entran en dos valles glaciares en donde morrenas terminales tienen una elevación típica del último periodo glaciar. Adicionalmente *Le Pennec et al. (2006)* reconoce que las lavas expuestas en la parte baja del Río Patate, al Norte de la conjunción de los ríos Pastaza y Chambo pertenecen a una actividad importante en el Tungurahua-II, al igual que otras lavas en el valle de Ulba.

Dado el gran relieve y la inclinación de los flancos del Tungurahua-II, el flanco occidental se deslizó dos veces, hace 30 Ka y 3 Ka AP, rellenando el valle del Río Chambo (FIGURA 2.9). La parte central de las avalanchas colisionó con una colina ubicada inmediatamente al frente del colapso sectorial. Los flujos fueron divididos hacia el Sur y hacia el Norte a lo largo de los valles de los Ríos Chambo y Patate respectivamente. Estos flujos viajaron una distancia de 21 km desde la presente cumbre, dejando depósitos y hummocks observados a lo largo de la carretera antigua Baños-Riobamba. Según *Hall et al. (1999)*, los depósitos de avalancha de escombros cubrieron una área aproximada de 80 km<sup>2</sup> ocupando un volumen estimado en 8 km<sup>3</sup>; además dataron una de las avalanchas de escombros del Tungurahua-II en un depósito de lahar que sobreyacía las brechas principales del flujo en el sector de Cotaló. La edad estimada de 2995±90 años AP

El crecimiento del ***Tungurahua III*** (los pasados 2300 años, FIGURA 2.9) se ha caracterizado por una actividad eruptiva casi continua resultando en la generación de flujos de lava, flujos piroclásticos y flujos de escombros. Este cono (Tungurahua III) según *Hall et al. (1999)* y *Le Pennec et al. (2006)*, tiene dos períodos principales de desarrollo, caracterizado cada uno por sus diferentes

productos volcánicos que conjuntamente conforman la estratigrafía del volcán nuevo.

El primer periodo, ***Tungurahua III-1*** (2300-1400 años AP, FIGURA 2.9) está conformada por tres unidades:

**(1)** Una serie de lavas andesíticas básicas de olivino y dos piroxenos (56.0-56.3 % SiO<sub>2</sub>) se encuentran cerca de Las Juntas, ésta se encuentra intercalada con flujos piroclásticos ricos en escoria y depósitos de similar composición ubicados aproximadamente 5 Km hacia el norte en la parte baja del Río Chambo, los mismos que indican una edad (<sup>14</sup>C) de 2215±90 años AP. Estas últimas lavas están caracterizadas por tener fenocristales de olivino y augita (5-10 mm) y la ausencia de hipersteno. Esta unidad denominada Las Juntas tiene un espesor de cerca de 140 m. Más hacia el sur en los valles del Confesionario y La Rea, se encuentran similares andesitas de olivino y piroxeno que sobreyacen a una avalancha de escombros.

**(2)** Continuando con las series basales que constituyen el primer periodo de desarrollo del cono del Tungurahua III tenemos una espesa secuencia de depósitos de flujo de escorias y capas de caída de ceniza subordinada con escoria, estos depósitos en el área entre los canales de Pingullo y Confesionario tienen una potencia estimada mayor a 100 m. Depósitos de flujos y oleadas (surge) piroclásticas, intercalados con capas de caída de ceniza (andesítica) y lapilli, contienen bombas de tamaño decimétrico y bloques vítricos de color negro formando una estratificación cruzada dentro de una matriz café media rojiza. En el Confesionario, los clastos juveniles son andesitas y andesitas básicas de dos piroxenos (56.3-58.2 % SiO<sub>2</sub>). En el sector de La Pirámide y en la mitad de la sección de Las Juntas se encuentran depositados capas de caída de ceniza y lapilli y depósitos de flujo de escorias, los cuales señalan una edad de ~ 1200 años AP. En Pondoá se han encontrado datos de edades de 1470±85 años AP, obtenidas en pedazos carbonizados en las capas de lava y ceniza. Las capas de ceniza raramente sobrepasan los 10 cm. (FIGURA 2.9).

**(3)** Nuevamente en una fase de actividad efusiva se formaron tres flujos de lavas andesíticas de dos piroxenos (57-58% SiO<sub>2</sub>), los cuales tienen un volumen estimado de 570 x 10<sup>6</sup> m<sup>3</sup>, descendiendo en los flancos Norte y Nor-occidental. El

principal flujo descendió por la superficie de Pondoá y Juive Chico, rellenando el cañón del Pastaza; el segundo flujo descendió por el flanco Nor-oeste siguiendo el drenaje de Juive Grande y el tercer flujo viajó por el valle del Vazcún.

El segundo periodo del presente como ***Tungurahua III-2*** comenzó hace ~ 1200 años AP y aun continua. La parte superior de la sección de las Juntas consiste de una serie de depósitos de flujos piroclásticos, tefra y lahares; en la parte superior hay bloques andesíticos (57.8 – 58.5% SiO<sub>2</sub>) y flujos piroclásticos, finalizando con intercalaciones de escoria andesítica y pómez dacítica.

Los estudios recientes realizados sobre la geología de este volcán han identificado alrededor de siete erupciones durante el primer milenio después de Cristo. Una erupción importante ocurrió a fines del siglo VII o al inicio del siglo VIII; otra erupción importante ocurrió, probablemente la más fuerte del Tungurahua durante el siglo VIII. La última erupción que se ha podido identificar en el periodo pre-histórico ocurrió durante el siglo XIV d. C.

Además de la fase actual de actividad (1999-2008), los documentos históricos reportan cuatro periodos eruptivos posteriores a la conquista española: 1640, 1773, 1886 y 1916-1918 d.C.

### **La avalancha de escombros a ~ 30 ka AP (ver FIGURA 2.11)**

En el valle de Ulba se aprecia una unidad de brechas andesíticas con una estructura caótica interna en el lado Occidental del cono que podría corresponder a un “colapso sectorial”; con el cual culminaría esta primera etapa de actividad hace 30 Ka AP (*Le Pennec et al., 2006*). Hacia la base Occidental del cono se encuentran algunas colinas anómalas superiores a los 50 metros de altura, formadas por brechas, que consisten de ~ 60 % vol. de clastos de lavas andesíticas (55.8 – 62.3 % SiO<sub>2</sub>) y cantidades subordinadas de rocas hidrotermalmente alteradas, cuya matriz (~40%) es muy endurecida y consiste de una ceniza de grano fino que contiene abundantes líticos y fragmentos alterados (*Hall et al., 1999*).

Según *Le Pennec et al. (2006)*, este colapso sectorial se produjo por una intrusión lateral de un cripto – domo el cual desestabilizó el cono y generó un evento catastrófico que produjo una gran avalancha de escombros. Mediante

estudios de  $^{14}\text{C}$  y AMS (Anisotropía de Susceptibilidad Magnética) en pequeños fragmentos de material carbonizado encontrados en la capa friccional basal, se ha determinado edades de  $\sim 30$  ka AP, consistente con otros resultados  $^{39}\text{Ar}$  -  $^{40}\text{Ar}$  aún no publicados.

### **La avalancha de escombros a $\sim 3$ ka AP (ver FIGURA 2.11)**

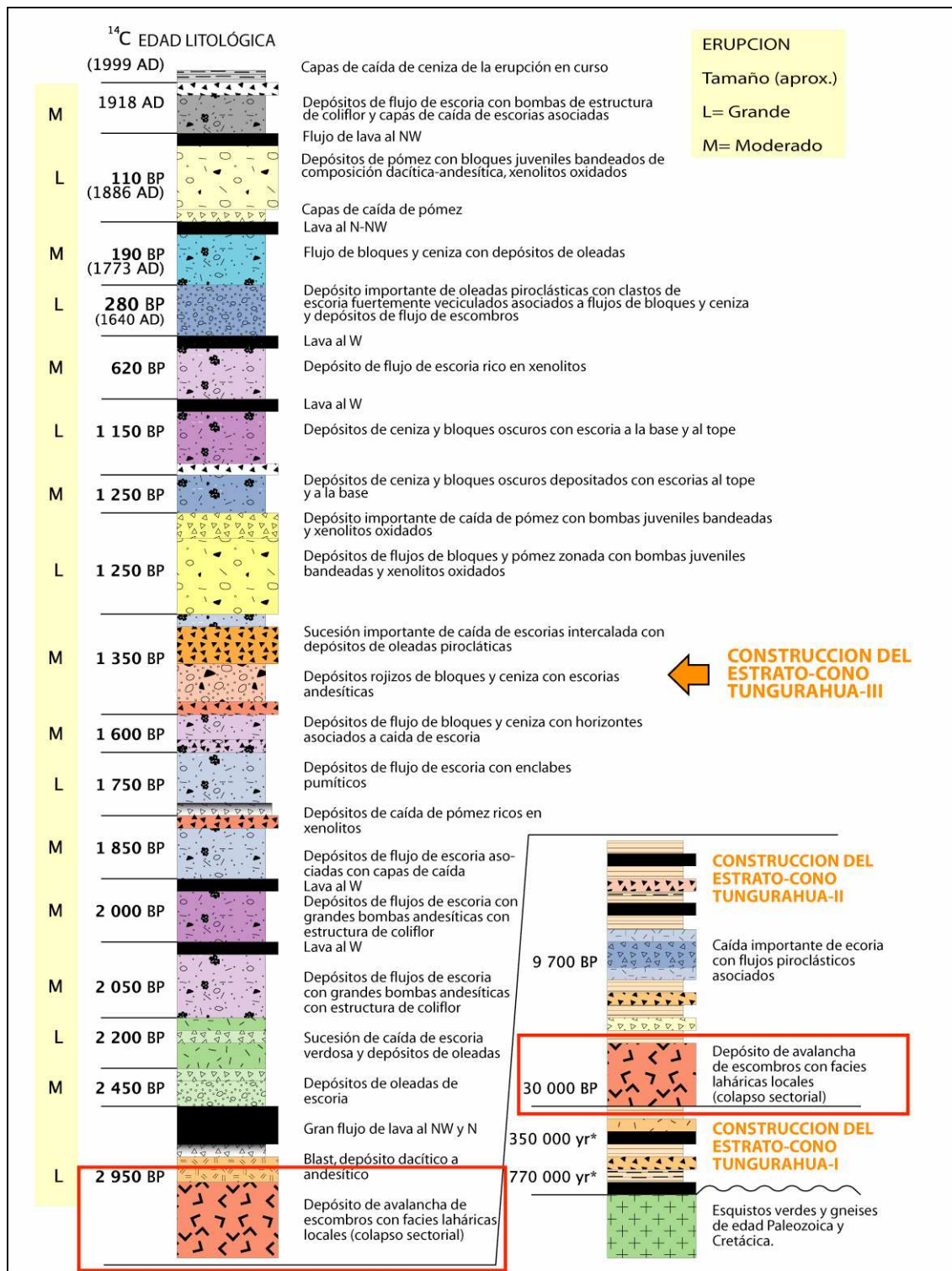
La erupción de  $\sim 3$  ka AP define el final de la actividad del edificio del Tungurahua-II empezando la actividad del Tungurahua-III. Este colapso sectorial fue acompañado por una poderosa erupción la cual produjo un “blast” volcánico y una columna sub-pliniana (*Jaya et al., 2003, Jaya, 2004*). La distribución original y el volumen de la capa del blast fue estimada en  $600 \text{ km}^2$  y  $0,85 \text{ km}^3$  respectivamente. Adicionalmente con estudios en el tamaño máximo de los clastos de los depósitos revelaron que la altura de la columna de erupción ascendió aproximadamente 25 km sobre el nivel de la cumbre, penetrando la estratósfera y luego viajando principalmente hacia el Norte, el volumen de tefra eyectada durante este evento se encuentra alrededor de  $1.3 \text{ km}^3$ . Según *Jaya (2004)* el depósito de la explosión dirigida consiste de al menos 6 unidades reconocidas en los afloramientos de Pillate, al Occidente del volcán; Cochabamba al Nor-occidente del mismo y en la quebrada La Quesera en Cotaló. El espesor máximo para esta secuencia es de al menos 20 metros en el sector de la quebrada La Quesera en Cotaló (este proyecto de titulación). Se consideró como afloramiento tipo, la sección de Cochabamba (FIGURA 2.12), debido a que el afloramiento presenta el mayor número de unidades, y se encuentra localizado en un lugar de fácil acceso y está expuesto debido a que el depósito fue explotado como una mina de arena.

Este depósito se encuentra en alturas cercanas a los 3000 m sobre el nivel del mar a distancias mayores a 10 km con respecto al viento. Es decir, la explosión dirigida sobrepasó barreras topográficas de poco más de 1000 m de altura si se toma como promedio los 2000 m sobre el nivel del mar de los valles Patate y Chambo. En zonas de alto relieve topográfico, el depósito de la explosión dirigida por su gran distribución podría parecerse a un depósito de caída de ceniza. El volumen mínimo del depósito de la explosión dirigida es  $0,86 \text{ km}^3$ . el 40 % de este volumen ( $\sim 0,35 \text{ km}^3$ ) se habría depositado en los valles, en distancias

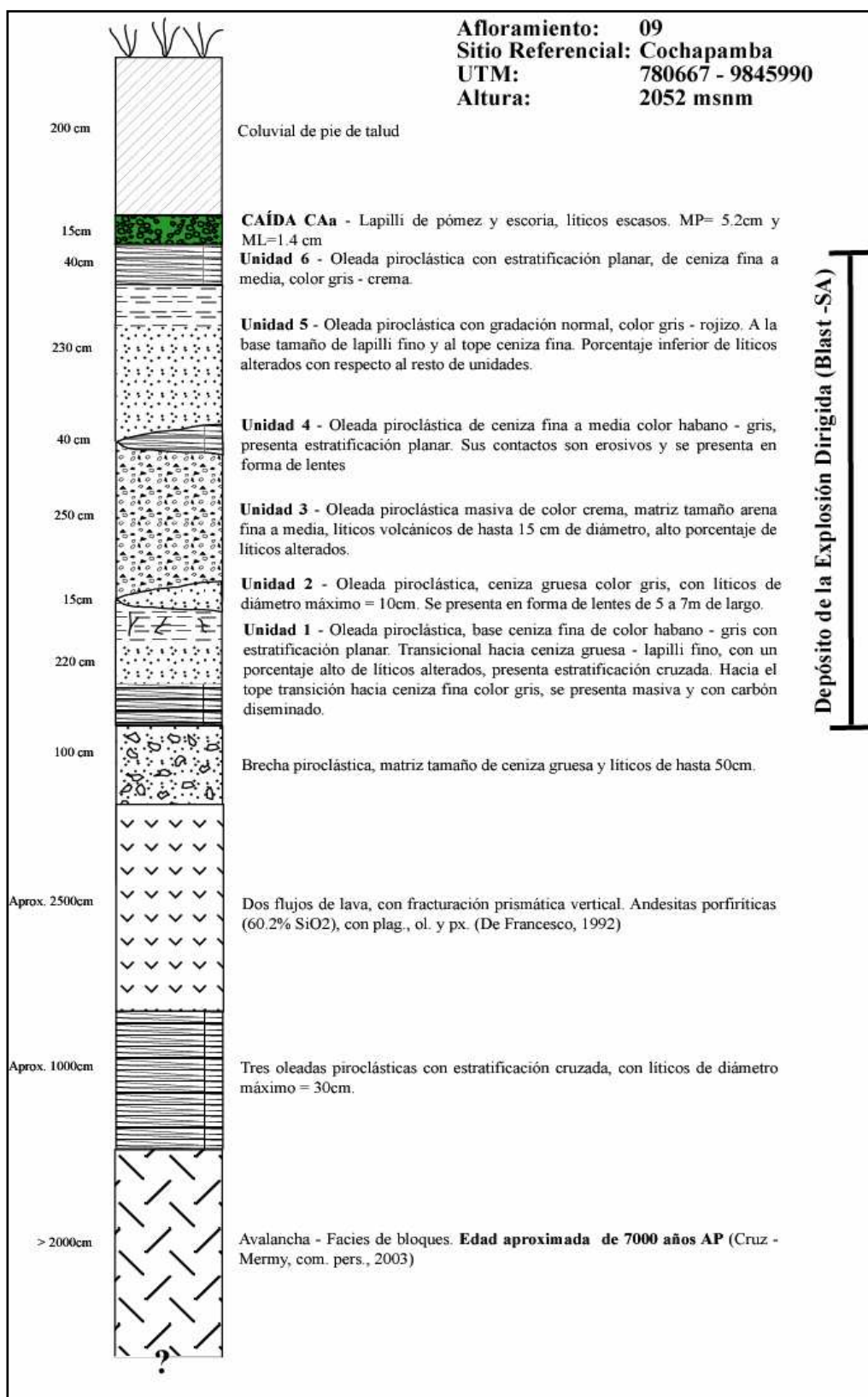
menores a los 15 km de la fuente, y cerca del 20% del volumen total, se depositó en las partes distales del volcán.

Considerándose como partes distales, los valles localizados a distancias mayores a los 15 km de la fuente y cuchillas localizadas a distancias mayores que 12 km de la fuente. Siendo la característica principal de estos depósitos distales, estar conformados por ceniza fina y con espesor menor a 1m. Investigaciones petrológicas indican que la erupción que generó el “blast” fue disparada por un evento de mezcla de magmas. Clastos de material juvenil caracterizados por una textura púmica blanquecina evidencia la mezcla entre la composición dacítica – andesítica (*Le Pennec et al., 2006*).

En la FIGURA 2.11 se tiene la estratigrafía generalizada del volcán Tungurahua, en donde se indica los depósitos de las DAD que fueron caracterizadas en el presente proyecto de titulación (recuadros en color rojo).



**FIGURA 2.11:** Columna estratigráfica esquemática de los productos del Tungurahua, no a escala, con datos preliminares de cronología. Los recuadros en rojo muestran los depósitos de DAD estudiados en el presente proyecto de titulación (Modificado de Le Pennec et al., 2006).



**FIGURA 2.12:** Columna estratigráfica en el sector de Cochapamba, en la cual se ilustra las 6 unidades del "blast" asociado al colapso sectorial del Tungurahua-II a ~3 ka AP (Jaya, 2004)



## **Peligros volcánicos asociados al Volcán Tungurahua**

A lo largo de la historia eruptiva del volcán Tungurahua, la mayoría de las grandes erupciones se ha caracterizado por la presencia de un cierto número de caídas de ceniza, una notable actividad tipo nube ardiente, grandes flujos de lodo (lahares) y lava. Como evento mayor hemos tenido la ocurrencia de colapsos de los flancos del cono (este estudio). A continuación se resume de *Le Pennec et al. (2005)* los diferentes tipos de fenómenos volcánicos asociados con la actividad actual o pasada del volcán Tungurahua.

**Las caídas de ceniza y piroclastos** han tenido una distribución limitada y sus espesores han sido pequeños. Sin embargo, en el actual episodio eruptivo (iniciado en 1999) han provocado daños importante en los cultivos y han alterado considerablemente la vida de personas y animales en especial afectando los sectores del flanco Nor y Sur-occidental del volcán.

**Flujos de lodo o lahares** han ocurrido en innumerables ocasiones en las erupciones históricas, especialmente en los valles de Ulba y Vazcún, así como también en los drenajes del flanco Occidental y en el Río Puela. En el presente periodo eruptivo se han generado un gran número de flujos de lodo, que son el resultado de la removilización de material volcánico depositado en los flancos superiores del edificio, por el agua proveniente de las lluvias. Estos flujos han afectado considerablemente a los sectores de las quebradas La Pampa, Juive Grande, Mandur, Cusúa, Achupashal, La Pirámide, Bilbao, Motilones, Mapayacu entre las más importantes.

**Los flujos piroclásticos** han sido un fenómeno frecuente en las erupciones históricas del volcán. Los flujos piroclásticos producidos por colapsos de una columna eruptiva, destrucción violenta de domos o el desborde material piroclástico sobre el filo del cráter (“boiling over) afectarían varios flancos del volcán. Este fenómeno en el presente periodo eruptivo ha afectado (2006-2008) a las zonas aledañas a las quebradas del flanco Nor-occidental, Occidental y Sur-occidental del volcán.

**Los flujos de lava** han sido un fenómeno muy común durante la historia eruptiva del volcán , y generalmente se presenta como el fenómeno final de un proceso eruptivo. En base a la morfología actual del cráter, se espera que los flujos se dirijan preferencialmente hacia el flanco Nor-occidental del volcán, muestra de estos es el flujo de lava producto del evento eruptivo del 16 de agosto del 2006.

**La avalancha de escombros** es un fenómeno que ha ocurrido al menos en dos ocasiones en el Tungurahua y la última de estas ocurrió hace aproximadamente 3 ka AP y los depósitos asociados a estos fenómenos es el objetivo principal del presente proyecto de titulación.

Los estudios realizados a través del tiempo sobre la historia eruptiva del volcán Tungurahua y sus fenómenos eruptivos, establecen la necesidad de aumentar el conocimiento sobre el grado de afectación a la sociedad y sus actividades ante la generación de estos peligros. Es así, que el estudio de un fenómeno poco común pero altamente destructivo, como el colapso sectorial de un edificio volcánico, es importante para determinar cuándo, cómo y por qué se generan. La presencia de 55 edificios volcánicos Plio-Cuaternarios en el Ecuador señala la probabilidad (sin determinar el grado) de que un fenómeno de estas características ocurra, tomando en cuenta que alrededor del mundo han ocurrido aproximadamente 4 colapsos por siglo (*Siebert, 1984*).

## CAPITULO 3

# DESCRIPCION DE LAS AVALANCHAS DE ESCOMBROS EN EL SECTOR DEL VOLCAN TUNGURAHUA

### 3.1 GENERALIDADES SOBRE LOS DEPOSITOS DE LAS AVALANCHAS DE ESCOMBROS

Para el estudio de los depósitos de avalanchas de escombros ha sido necesario definir rigurosamente y usar consistentemente un grupo simple de definiciones.

#### 3.1.1 Terminología

El uso de los términos se puede resumir de la siguiente manera:

La “textura” de los depósitos volcánicos comúnmente se refiere a la distribución del tamaño de grano del material (*Crandell, 1971; Murai, 1961*). Una “partícula” es generalmente considerada como una pieza o una unidad distinta en una roca (*Bates & Jackson, 1980*). La palabra “estructura” está aplicada para rasgos visibles dentro de una escala de exposición. *Glicken (1991)*, dice que la distinción entre textura y estructura es algo arbitraria debido a su escala de exposición y al arreglo o patrón de disposición de las partículas.

Dos diferentes tipos de partículas sirven para definir un depósito de avalancha de escombros. Un “clasto” está definido como una roca de cualquier tamaño desde micrones a metros de diámetro. Cada clasto puede ser considerado como una partícula (*Glicken, 1991*). Un “bloque de avalancha de escombros” (derivado de bloque de escombros; *Wait et al., 1989*) está definida como una pieza o pedazo del volcán, coherente, no consolidada o pobremente consolidada que fue transportada y emplazada relativamente intacta. *Glicken (1991)*, describe la desintegración del material, como: la ruptura de clastos individuales es “fracturamiento”, el fracturamiento penetrante de los clastos es

llamado “rompimiento”; cuando el material se expande desde su densidad original en la montaña se dice “dilatar” y cuando éste se rompe en clastos constitutivos se denomina “disgregación”.

Autores como *Minura & Kawachi (1981)*, *Crandell et al, (1984)*, *Siebert et al. (1989)* y otros, definen dos tipos de facies para describir la textura de un depósito de avalancha de escombros; facies de bloques y facies de mezcla. Anteriormente se utilizaba facies de matriz, pero esta fue renombrada como facies de mezcla debido a que existía una confusión con la definición sedimentológica de “matriz”. *Glicken (1991)* recalca que ambas facies pueden ser descritas como material (clastos) angular, no estratificado, sin sorteo, etc., que pueden variar de tamaño a partir de micrones hasta metros.

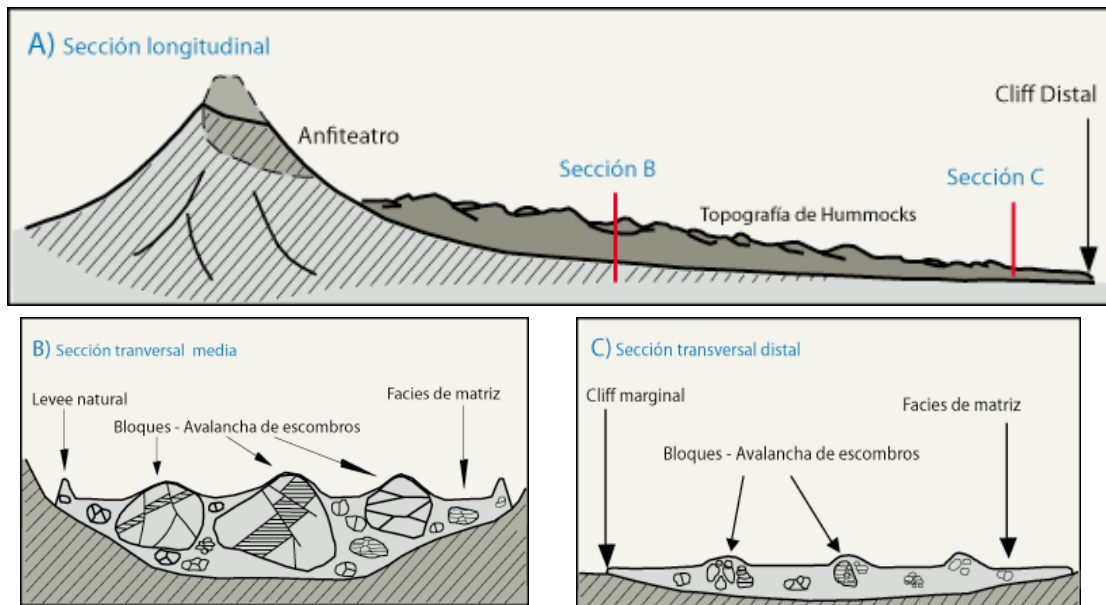
### 3.1.2 Facies

En un detallado análisis, dos características pueden ser distinguidas debido a la gran variedad de rasgos morfológicos, litológicos y sedimentarios: facies de bloques y facies de mezcla (o matriz) (*Ui, 1983; Siebert, 1984, Glicken, 1991, 1996; Ui et al., 2000*).

**La facies de bloques**, corresponde a bloques de la avalancha de escombros ( $\varnothing > 6.4$  cm), los cuales pueden tener tres orígenes (*Glicken, 1991*): **1)** lava masiva o brechada, **2)** volcanoclásticos estratificados y **3)** incorporación del substrato. La mayoría son fragmentos derivados del volcán, estos bloques están fracturados y deformados, pero conservan mucho de las texturas y estructuras primarias del volcán (*Ui et al., 2000*). Una particularidad es la presencia de grandes bloques que superan un tamaño métrico llamados “megabloques” (*Glicken, 1991*).

La presencia de fracturas llamadas “jigsaw cracks” es comúnmente observada dentro de este tipo de facies, estas son fracturas típicamente regulares como las juntas de enfriamiento de una roca ígnea masiva. Estos planos de juntas generalmente permanecen cerrados, pero algunos de estos están ampliamente abiertos, debido a la deformación de estos durante el transporte mismo de la avalancha de escombros. La frecuencia de los jigsaw cracks depende del tipo de

roca y de la distancia recorrida. Además la presencia de un modelo de fracturas conjugadas pueden formarse en la parte masiva de los bloques de escombros, sugiriendo la existencia de esfuerzos compresivos laterales (Ui et al., 2000). La fragmentación de los bloques crea una matriz intraclástica arenosa-limosa (menor que un 30% de las facies) (Ui and Glicken, 1986) (FIGURA 3.1-A).



**FIGURA 3.1:** Sección esquemática para un depósito de avalancha de escombros: **A)** una sección longitudinal desde el anfiteatro hasta la parte distal final; **B)** una sección transversal de la región media; **C)** una sección transversal de la región distal (Ui et al., 2000)

**La facies de Mezcla,** consiste de una mezcla de pequeños fragmentos volcánicos derivados de varias partes del volcán (Ui et al., 2000). Esta facies es de una extrema heterogeneidad y contiene una gran parte de elementos incorporados (Bernard, 2005). El tamaño de grano de esta facies es esencialmente de arenoso a arcilloso y compuestos principalmente de una matriz intraclástica con una textura laharítica (matriz limosa). Los fragmentos están comprendidos entre 32 mm y 0.063 mm, (Glicken, 1991 (FIGURA 3.1-B).Ui et al. (2000), acotan que dentro de una avalancha de escombros de mezcla no se desarrollan los jigsaw cracks, y que la orientación de los clastos en la matriz es al azar. Glicken (1991), dice que los fragmentos juveniles son raros, únicamente presentes en caso de erupciones del tipo Bezymianny

La **facies bulldozer**, (*Belousov et al., 1999*) corresponde a facies conformadas por sedimentos intensamente deformados, esta facies aparece cuando la avalancha pasa por un substrato saturado de agua.

Un depósito de una avalancha de escombros está caracterizado como una brecha heterométrica (desde  $8\phi$  a  $-8\phi$ ) (*Bernard, 2005*). El tamaño de grano es extremadamente variable, el cual figura desde un tamaño de arcilla a enormes bloques (10 m) con un tamaño tipo arena como promedio. Los valores de la distribución del tamaño de grano es aproximadamente 45-55% de grava ( $>-1\phi$ ,  $>2$  mm), un 30-40% de arena (desde  $-1$  a  $4\phi$ ; desde 2 a 0.064 mm), y un 1-15% de arcilla ( $<4\phi$ ,  $<0.0064$  mm), (*Glicken, 1996*).

### 3.1.3 Morfología de los depósitos

Topografía de hummocks, levees laterales, escarpes marginales, escarpes distales, remanentes de canales de ríos, un anfiteatro en la fuente, depresiones cerradas, ridges transversales y longitudinales son rasgos geomorfológicos característicos de un depósito de avalancha de escombros.

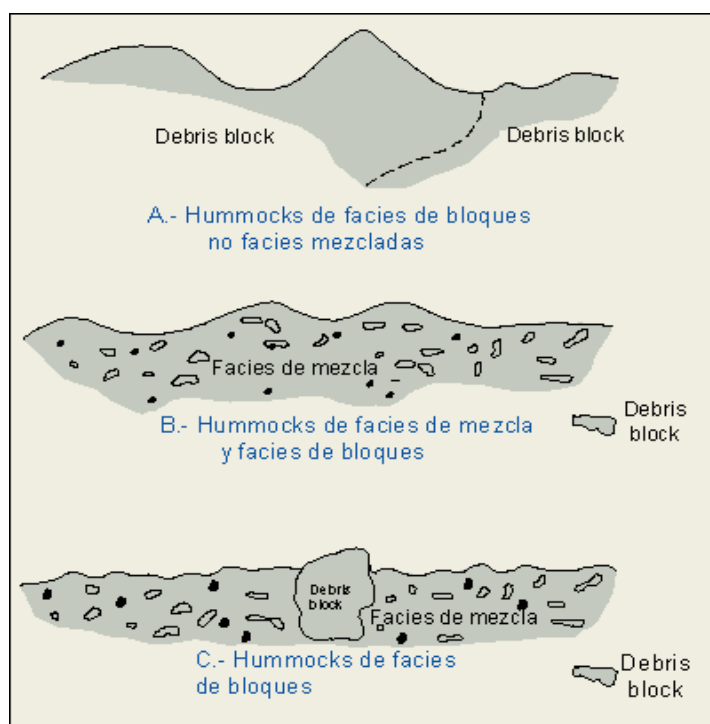


FIGURA 3.2: Diagrama de tipos de hummocks (*Glicken, 1991*)

**Los hummocks**, una superficie montañosa (FIGURA 3.1, FIGURA 3.2), constituida por colinas cónicas y oblongas (Ui, 1983; Siebert, 1984). La forma individual de los hummocks es variable e irregular, el volumen y altura de los hummocks son grandes en la parte proximal y medial del depósito, pero éstos decrecen hacia la parte distal, estas grandes colinas tienden a concentrarse cerca del eje del depósito con un tamaño decreciente hacia los márgenes. En algunos casos algunas morrenas glaciares muestran una expresión topográfica similar, debido a su irregularidad en forma y composición, éstas son frecuentemente difíciles de discriminar dentro de una avalancha de escombros solo basándonos en la topografía (Ui et al., 2000).

**Los ridges**, son montículos que se encuentran de cientos a miles, distribuidos en el depósito del flujo y pueden alcanzar tamaños de hasta 200 m de altura. Aunque estos son frecuentemente descritos como cónicos, estos montículos varían ampliamente en morfología y pueden tener forma elíptica u ovalada ubicados paralelos al volcán o en dirección del flujo. Al igual que los hummocks, estos se concentran cerca del eje del depósito, decreciendo hacia las partes distales del mismo Siebert (1984).

**Los levees laterales**, son especie de montículos pequeños que se encuentran ubicados encima del depósito de la avalancha de escombros, muchos de estos, descritos con una altura que alcanza los 40 m como se pudo observar en el depósito de la avalancha del volcán Socompa en el norte de Chile. Estos levees son la parte lateral final de un depósito de avalancha y generalmente se encuentran en la sección media del flujo. Por otro lado en las partes laterales de las áreas distales se encuentran los escarpes marginales y distales, siendo estos últimos la morfología final del depósito. La altura de los escarpes marginales alcanza los 10 m y se desarrollan en la parte baja del depósito si estos se emplazan una amplia superficie; los cliffs distales son una continuación del cliff marginal en la parte final distal del depósito del flujo (Ui et al., 2000), (FIGURA 3.2).

### 3.1.4 Causas del colapso

La acumulación de grandes masas de material volcánico alrededor del cono central puede resultar en el fallamiento del cono del volcán cuando es disparado por un sismo o por erupciones explosivas, así como un gran ángulo de inclinación en los flancos del volcán pueden producir una inestabilidad en el edificio especialmente en los estrato-volcanes.

*Siebert*, (1984) dice que adicionalmente se puede tener inestabilidad debido **(1)** al efecto dilatador de una intrusión de un enjambre de diques paralelos, **(2)** sobrecarga de lavas masivas en un substrato piroclástico débil; casos de este tipo se tiene registrado en *Nakamura* (1978) en donde flujos de lava del Bandai con espesores entre 20-30 m sobrecargaron material piroclástico no consolidado, **(3)** amplia alteración hidrotermal debilitando el cono volcánico, **(4)** la migración de ventos en una dirección paralela al eje de la caldera de avalancha. Un movimiento cambiante y progresivo del viento hacia la dirección de fallamiento se notó en el Stromboli y en el Galunggung, presumiblemente fracturando y debilitando el edificio en una dirección paralela al movimiento del viento, **(5)** reducción y estrechamiento del edificio debido a saturación por aguas hidrotermales.

La mayoría de los grandes deslizamientos empiezan a lo largo de las discontinuidades principales dentro del edificio (*Leyrit & Monteneat, 2000*). Irregularidades litológicas como niveles de ceniza o lava frecuentemente están asociadas con estos grandes deslizamientos. (*Siebert, 1984*). En la mayoría de casos estas capas muestran una alta presión de poro o una zona de arcilla litológicamente débil y el desprendimiento de grandes masas de rocas está además determinado por redes de fracturas y juntas originales. En algunos casos la influencia de estas redes se muestra porque esto guía la forma de las calderas, especialmente si éstas tienen una abertura mayor a 45° (*Vidal, 1998; Siebert et al., 1992*). Fallas regionales también tienen una fuerte influencia en la dirección de desestabilización.

La activación de un deslizamiento está regulado por factores externos (*McGuire, 1996*). Probablemente el factor más común es la actividad sísmica,



porque la mayoría de los estrato-volcanes están situados en zonas sísmicamente activas. Es más, para cada uno de los tres tipos de desestabilización (Bezymianny, Bandai-San y Ontake-San) siempre están asociados a actividad sísmica.

En resumen podemos decir que un edificio volcánico es una pila de capas con diferente naturaleza y propiedades físicas (densidad, porosidad, permeabilidad y reología). Esta heterogeneidad es el primer factor para el debilitamiento de un edificio volcánico (*Bernard, 2005*). Múltiples factores de debilitamiento son impuestos en la construcción heterogénea:

- \_ Alteración de los materiales que conforman el edificio como el brechamiento in-situ de capas coherentes (tectonismo) o cambios en las propiedades físicas (hidrotermalismo) (*Voight & Elsworth, 1997, Bachèlery et al., 2003*).
- \_ Crecimiento asimétrico del cono resultando en fallamiento debajo del edificio, o repetidas intrusiones de diques en el flanco del volcán (*McGuire, 1996*).
- \_ Sobre inclinación de las pendientes por erosión o por la acumulación de productos volcánicos soldados (*McGuire, 1996*).

Y con respecto a los mecanismos de disparo de una avalancha de escombros podemos distinguir dos modelos: mecanismos de choque y gravitatorio.

Los mecanismos de choque pueden ser:

- \_ Explosiones fuertes (magmáticas, freáticas o freatomagmáticas) (*Siebert et al., 1987*).
- \_ Sismos (volcánicos o tectónicos) (*Siebert et al., 1987*).

Los mecanismos gravitatorios:

- \_ Sobrecarga en una parte del edificio por la acumulación de productos volcánicos durante una erupción, o acumulación de agua dentro del edificio durante un huracán por ejemplo (*Kerle & van Wyk de Vries, 2001*).

- \_ Deformación del edificio por una intrusión de magma (Mount St. Helens, 1980; *Glicken, 1991*), o reactivación de fallas verticales durante un ajuste tectónico (*Vidal & Merle, 2000*).
- \_ En volcanes submarinos, cambios en las condiciones del agua (salinidad, variaciones eustáticas) pueden inducir grandes deslizamientos debido a la acción de la presión de poro de agua dentro del edificio (*McGuire, 1996*).

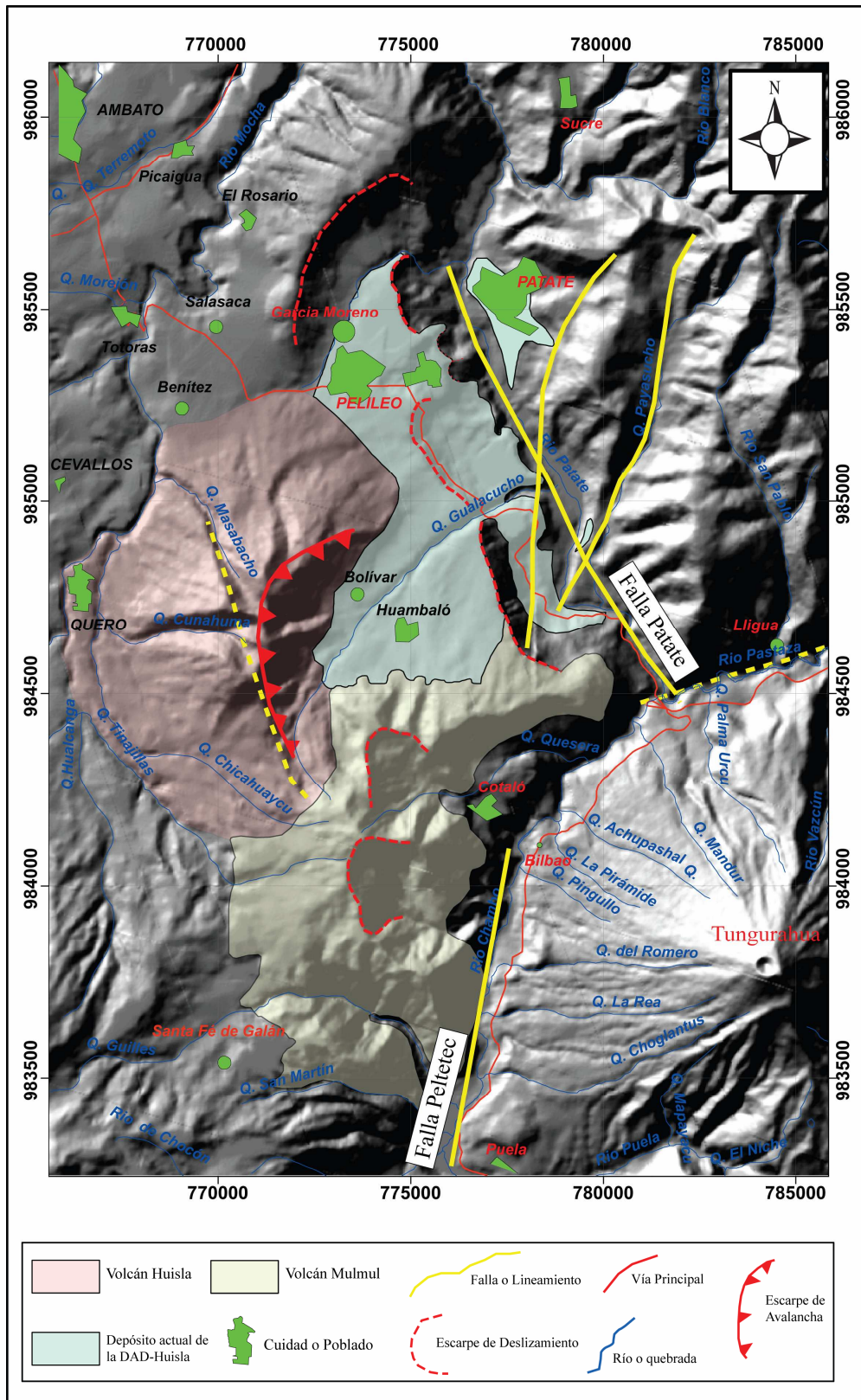
La mayoría de los colapsos de los flancos están asociados con más de un mecanismo de disparo, pero en algunos casos un mecanismo prevalece sobre otro.

## **3.2 CARACTERIZACION DE LAS AVALANCHAS DE ESCOMBROS ESTUDIADAS**

### **3.2.1 Avalancha de escombros del Volcán Huisla (DAD-Huisla)**

#### **Distribución Geográfica y Morfología**

Los diferentes depósitos de la avalancha de escombros del volcán Huisla se extienden a lo largo del valle del río Patate y fluyeron por este ocupando lo que hoy son los poblados de Pelileo y Patate hacia el Nor-oriental del volcán, y en la parte Occidental en lo que es Bolívar y San José de Huambaló, avanzando únicamente hasta el sector de Huayrapata y hacia el sector Oriental en lugares como La Tranquilla y San Javier, ocupando en total un área de aproximadamente 65 km<sup>2</sup> (6500 Ha) (MAPA 3.1).



**MAPA 3.1:** Mapa de distribución actual de los depósitos de la **DAD-Huisla**, y las principales estructuras tectónicas presentes en la zona que rodea al Volcán Huisla.

Este flujo tuvo como principal drenaje el paleo-valle de la actual quebrada de Gualacucho (Capillahuayco), permitiendo que los depósitos se extendieran con relativa facilidad tanto hacia el Norte como al Sur, pero siendo limitado por dos barreras naturales, la Cuchilla Loma Paloma – Chinsiloma y la Cuchilla de Huayrapata respectivamente. Hacia el Oriente del volcán, también tuvo un alcance importante, rellenando el cauce del río Patate y siendo limitado por el cinturón metamórfico aflorante al margen izquierdo del río. El frente de avance en este sector colisionó contra el metamórfico y alcanzó hasta unos 500 metros aproximadamente sobre el nivel actual del río Patate.

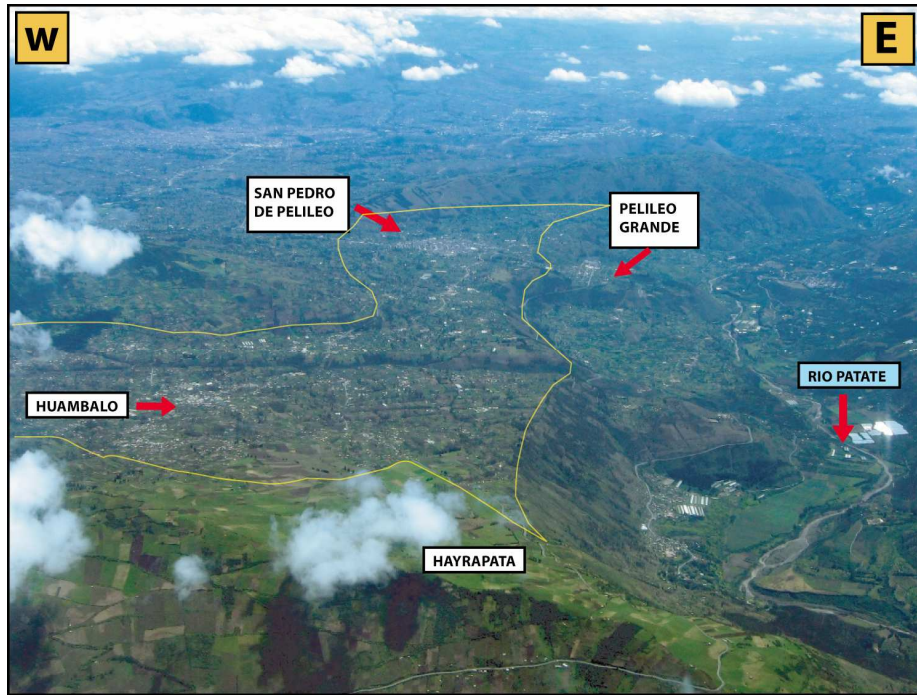
Por otro lado, considerando una área de distribución de los depósitos de 65 km<sup>2</sup> ( 6500 Ha) y un espesor promedio de 50 metros de potencia en estos depósitos, se estima que el volumen de la DAD-Huisla es de ~3,3 km<sup>3</sup>. Dado que la DAD (Depósito de Avalancha de Escombros, siglas en Inglés) es bastante vieja, lo que vemos ahora es un remanente de la caldera de avalancha, ampliada por la erosión, y que podría estar formada por la interpolación de tres colinas, Loma Arrayán, Padre Loma y la loma Lomoturcu.

Estos depósitos forman una morfología de terrazas regulares a diferentes alturas, siendo la más importante la gran planicie a los pies del edificio en donde se asientan poblados como Huambaló, Bolívar, Sarangay, San Antonio, La Florida (FOTO 3.1). Característica similar se observa más hacia el interior del valle del río Patate, en donde los depósitos también forman este tipo de morfología. Estas terrazas tienen una altura promedio de 60 metros, y están constituidas principalmente por grandes bloques de la avalancha de escombros; así como también por depósitos retrabajados de la DAD producto de varios deslizamientos, debidos a grandes movimientos en masa y sismos asociados a la región. Poblados como Pelileo Grande, Inapí, Yataquí y Patate como los más importantes, se asientan en las planicies de estas terrazas.

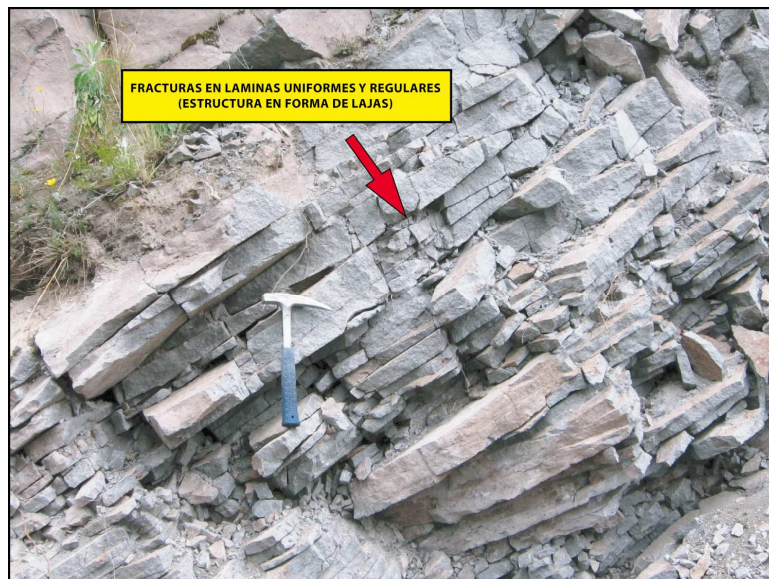
### **Facies y Estructuras internas del depósito**

Las estructuras internas presentes en los depósitos de la avalancha de escombros se encuentran en los megabloques de decenas de metros en tamaño.

Estos muestran fracturamiento en estructuras de “lajas”, que son fracturas en láminas uniformes y regulares que ocasionalmente se encuentran deformadas (FOTO 3.2).



**FOTO 3.1:** Planicie formada por los depósitos de la avalancha de escombros del volcán Huisla, en la cual se asientan poblados como Huambaló y San Pedro de Pelileo. El trazo de color amarillo representa la superficie en mención.



**FOTO 3.2:** Estructura en forma de “lajas” presente en los megabloques de los depósitos de la **DAD-Huisla** comúnmente observado en los depósitos distribuidos a lo largo de la carretera Pelileo-Baños (Foto: Afloramiento # 50 UTM: 777542 / 98483).

Estas estructuras en “lajas”, se encuentran en la mayoría de los depósitos de la DAD-Huisla, principalmente los que están distribuidos a lo largo de la carretera Pelileo-Baños. Las evidencias de deformación en este tipo de estructuras se muestran hacia la base de los depósitos, comúnmente al contacto con las terrazas fluviales de la rivera Occidental del río Patate. En los depósitos formados por las varias facies depositacionales (bloques o matriz/mezcla) se observan estructuras de “cataclasis”, este fracturamiento o rompimiento en los bloques se muestran como “jigsaw cracks”. Estas estructuras son claramente visibles principalmente en los depósitos de facies de bloques y raramente en los depósitos de facies de mezcla/matriz que se encuentran a lo largo del área de distribución de los depósitos. A más de estructuras “jigsaw cracks” encontramos también “jigsaw fit”.

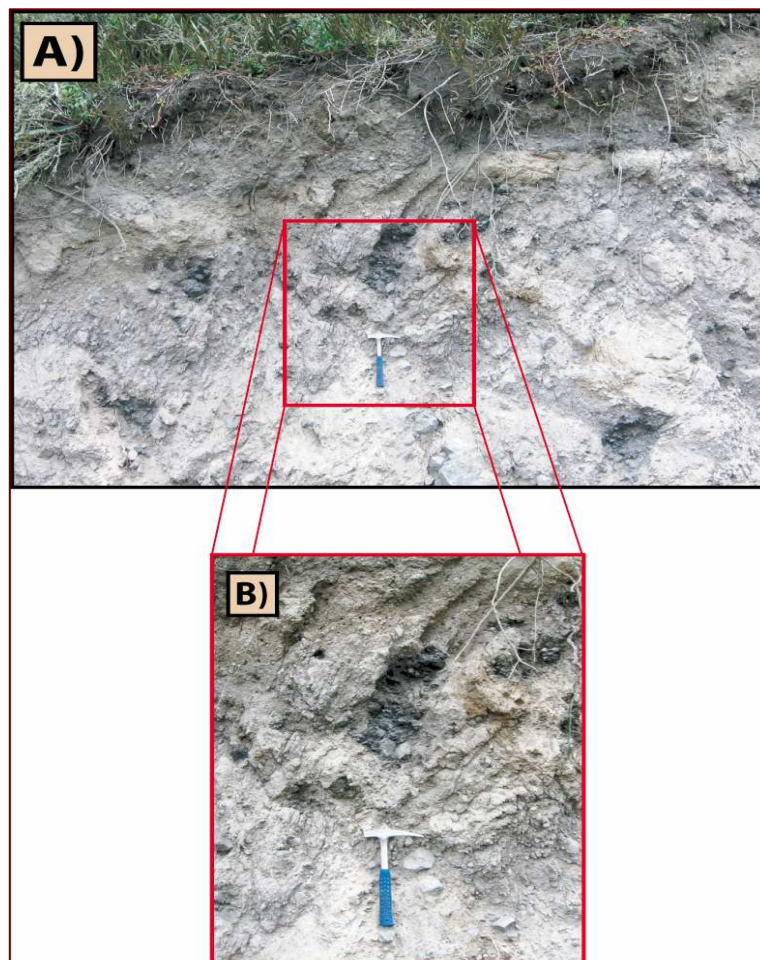


**FOTO 3.3:** “Facies de bloques” distribuidos en una matriz de tamaño arena media a gruesa de color gris claro sobreyacidos por 1,50 m de Cangahua. (Foto: Afloramiento # 76 UTM: 775411 /9852380)

Con relación a las facies depositacionales, la avalancha de escombros está caracterizada por “facies de bloques” y “facies de matriz/mezcla”. La facies dominante en los depósitos es la “facies de bloques”. Esta se caracteriza por la presencia de bloques de 10 cm a bloques de hasta 3 m en su diámetro mayor y

varían entre 70% y 90%, distribuidos en una matriz de color gris claro de tamaño de arena media a gruesa (FOTO 3.3)

La “facies de bloques” se extiende principalmente a lo largo de la gran planicie en la cual se asientan los poblados de Huambaló, Bolívar, Sarangay entre otros. También en las terrazas inferiores a lo largo de la carretera Pelileo-Baños y en las riberas Occidentales del río Patate, en donde se asientan poblaciones como Yataquí, El Chaupi, El Pingüe como principales. Lo característico de esta facies es la presencia dominante de “megabloques”, implicando que el flujo tuvo poca trayectoria y alcance; y que estos constituyen partes del edificio volcánico removidas durante el flujo

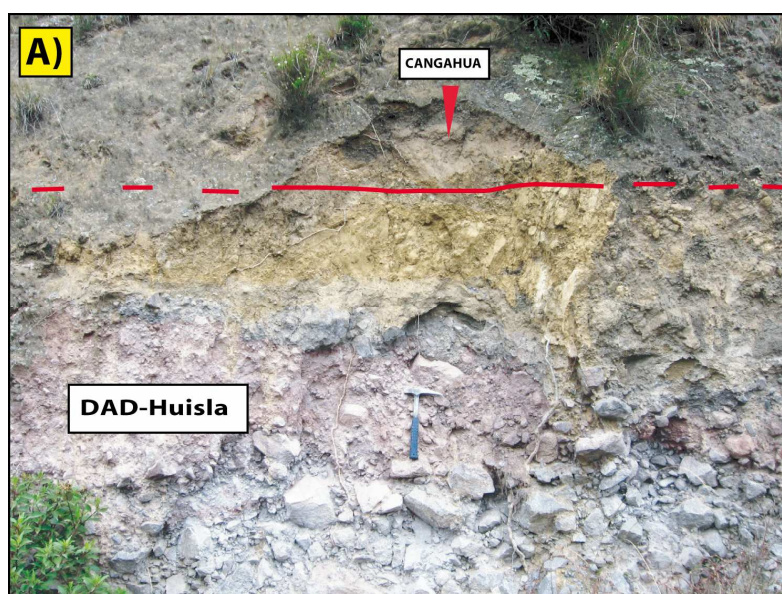


**FOTO 3.4:** “Facies de matriz/mezcla” con de bloques de 5 cm de diámetro; ocasionalmente la presencia de bloques de hasta 30 cm de diámetro, distribuidos en una matriz de tipo areno-arcillosa de color gris claro rosáceo. (Foto: Afloramiento # 59 UTM: 779365 / 9849094)

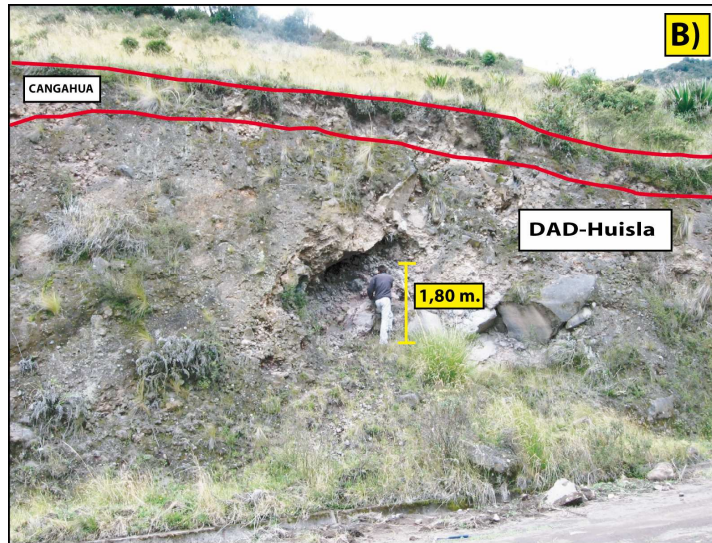
En las zonas distales del depósito, hacia el Este del volcán, encontramos depósitos de “facies de mezcla/matriz”, conformada por un 20% a 30% de bloques de hasta 30 centímetros de diámetro distribuidos en una matriz arenolimsa de color gris claro rosáceo (FOTO 3.4). El área cubierta por estas facies comprende principalmente las pequeñas terrazas formadas en la ribera Oriental del río Patate, siendo su principal estructura la terraza en la cual se asienta el Cantón Patate, donde inicia el depósito y avanza hasta el poblado de Puñapí al Sur.

### Relaciones Estratigráficas

Según su posición estratigráfica, este evento es más antiguo que ~ 10ka AP, ya que en algunos afloramientos los depósitos se encuentran sobreyacidos por una capa de Cangahua y también en una cantera los depósitos se encuentran debajo de un espeso depósito escoráceo pliniano que podría corresponder al evento de ~ 9 ka AP del volcán Tungurahua. Esto se evidencia muy bien en algunos afloramientos en el trayecto de la carretera Las Juntas-Pelileo como es el caso del afloramiento # 51 (UTM: 778118 / 9848938) (FOTO 3.5-A), y en el sector de la quebrada del Pogyo en el afloramiento # 73 (UTM: 771741 / 9849852) (FOTO 3.5-B). Además se observa que los depósitos de la DAD-Huisla hacia el Norte de Patate se encuentra enchapado contra la Ignimbrita del Chalupas (~200 ka) (UTM: 776703 / 9857501).







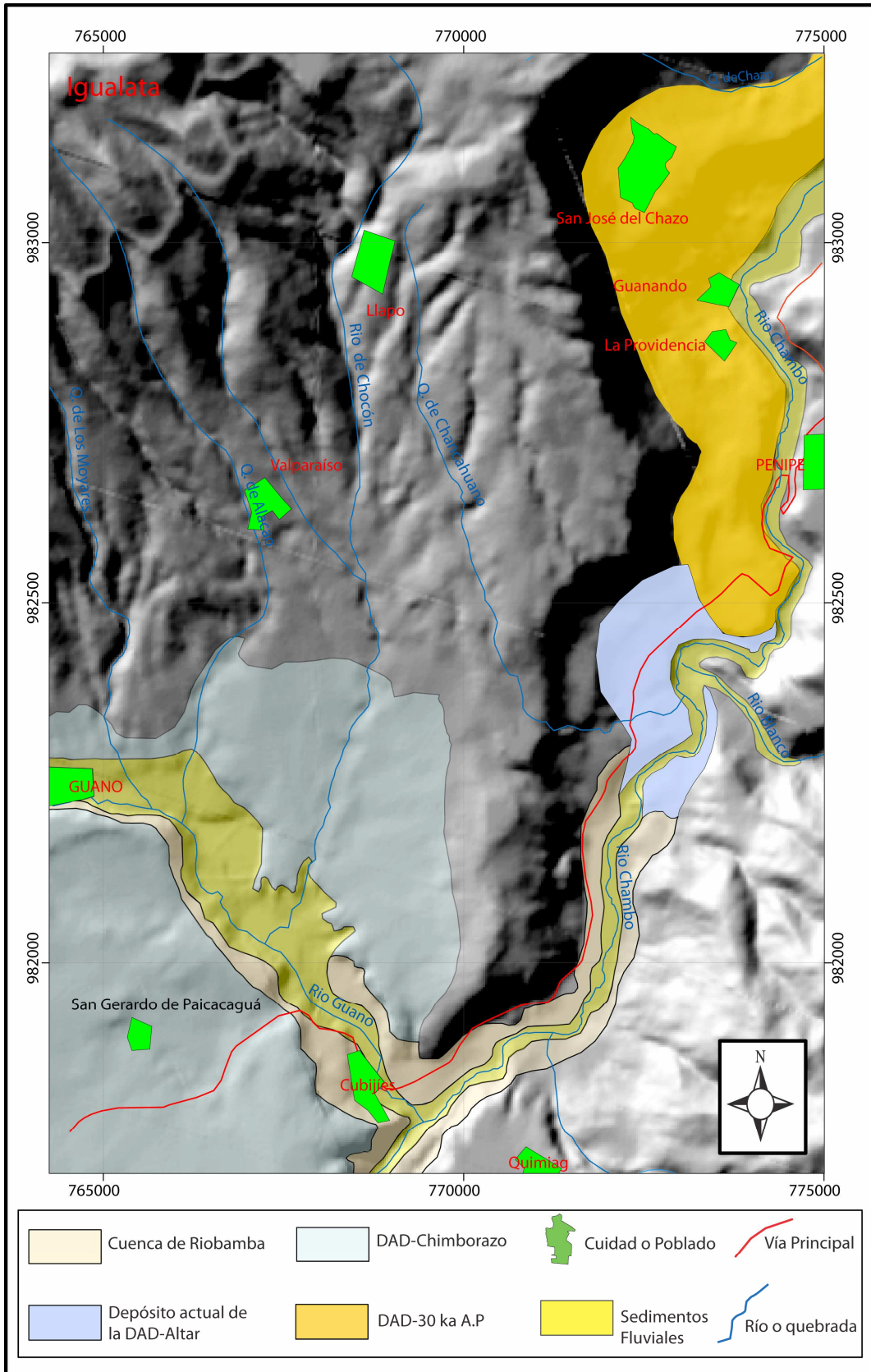
**FOTO 3.5:** Depósitos de la **DAD-Huisla** sobreyacidos por una capa de Cangahua. **A)** afloramiento # 51 (UTM: 778118 / 9848938); **B)** Afloramiento # 73 (UTM: 771741 / 9849825)

Para la cartografía de los depósitos de la DAD-Huisla se utilizó esta capa de Cangahua y algunas capas de tefra de color blanquecina, para poder diferenciar de otros depósitos posibles de las avalanchas de escombros del Tungurahua. Sin embargo, el principal elemento que permitió cartografiar fue la morfología y el tipo de facies depositacional que presentan estos depósitos y primordialmente las características petrográficas de las rocas involucradas en los depósitos, ya que muestran una clara diferencia con las rocas de las DAD's del Tungurahua. Esta cartografía fue complementada con un análisis preliminar a base de fotografías aéreas de la zona e imágenes satelitales, que permitieron inferir la posible caldera de colapso y el alcance de los depósitos.

### **3.2.2 Avalancha de escombros del Volcán El Altar (DAD-Altar)**

#### **Distribución Geográfica y Morfología**

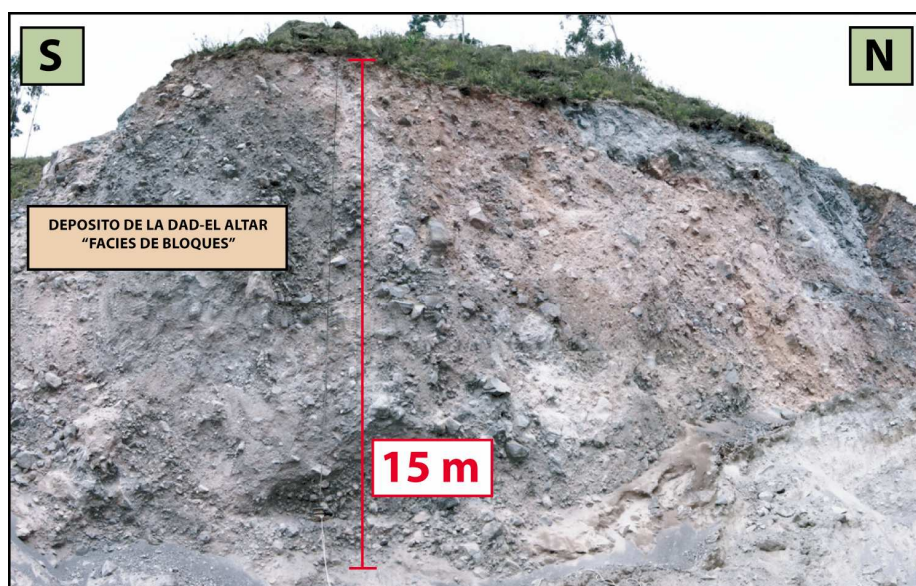
Debido a la escasez de afloramientos de la DAD-Altar a causa de una fuerte erosión glaciaria que estos fueron sometidos, en especial en los cauces de los ríos Collanes y Blanco no se puede hacer una mayor interpretación. Sin embargo, el área de cobertura es muy limitada y únicamente se encuentra en lo que hoy son los sectores de Pungal El Quinche, Pungal Grande y El Recreo ocupando aproximadamente 3,52 km<sup>2</sup> (352 Ha), que corresponden a un volumen de 0,176 km<sup>3</sup> considerando 50 metros de potencia promedio (MAPA 3.2).



**MAPA 3.2:** Mapa de distribución actual de los depósitos de la **DAD-Altar**, en los sectores de Pungal-Grande y Pungal-el Quiche.

## Facies y Estructuras Internas del depósito

Los depósitos que han sido identificados en el sector de Pungal Grande (Afloramiento # 77 UTM: 772286 / 9824457 ), se caracterizan por una morfología regular formando una terraza de aproximadamente 40 metros de altura. Esta terraza está constituida por depósitos de “facies de bloques” con aproximadamente 70% de bloques de tamaños que varía desde unos 10 cm hasta 2 metros en su diámetro mayor, estos bloques se encuentran distribuidos en una matriz de tamaño de arena gruesa de color gris rosácea (FOTO 3.6).

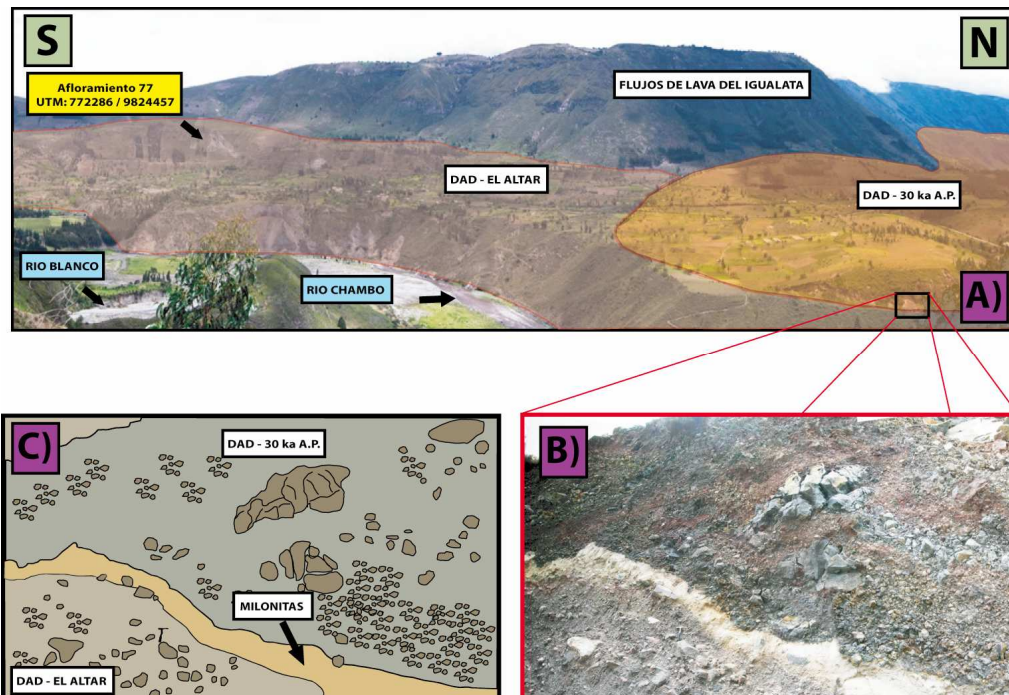


**FOTO 3.6:** “Facies de bloques” distribuidos en una matriz de tamaño arena gruesa de color gris-rosácea. Sector Pungal Grande, Cantera de explotación de material pétreo, al Sur-Oeste del Volcán Tungurahua (Foto: Afloramiento # 77 UTM: 772286 / 9824457)

“Facies de bloques” de los depósitos de la DAD-El Altar también se encuentran distribuidos en la ribera Occidental del río Chambo y en parte en la desembocadura del río Blanco. Estos depósitos forman una terraza regular y casi uniforme, en la cual se asienta caseríos como Río Blanco y El Recreo. Esta estructura se encuentra pegada o enchapada al basamento metamórfico que aflora en la región siendo esta la segunda localidad tipo de los depósitos (FOTO 3.7). Adicionalmente, dentro de esta facies raramente se encuentran bloques de decenas de metros, “megabloques”.



**FOTO 3.7** Terraza formada por la **DAD-Altar**, en la cual se asienta caseríos como Río Blanco y El Recreo, al SW del Volcán Tungurahua. Corresponde la segunda localidad tipo (Foto: desde UTM 772008 / 9824235)



**FOTO 3.8: A)** Vista panorámica que muestra la terraza formada por la **DAD-Altar** y **DAD-30 ka AP** del Tungurahua (Foto desde UTM: 774500 / 9823900) **B) y C)** Afloramiento # 29 UTM: 774130 / 9824620 en la cual se muestra el contacto entre las DAD's y separadas por una capa tipo milonita. Sector Pungal El Quinche.

Globalmente los depósitos de la avalancha de escombros de El Altar están conformados por bloques de roca andesita de dos tipos. La primera por rocas leucocráticas de color gris claro azulado y la segunda por rocas melanocráticas de color negro azulado muy afaníticas. Ambos grupos de rocas se encuentran relativamente frescas superficial y macroscópicamente únicamente con una

pequeña costra de meteorización debido a los agentes climáticos que fueron expuestas.

### **Relaciones Estratigráficas**

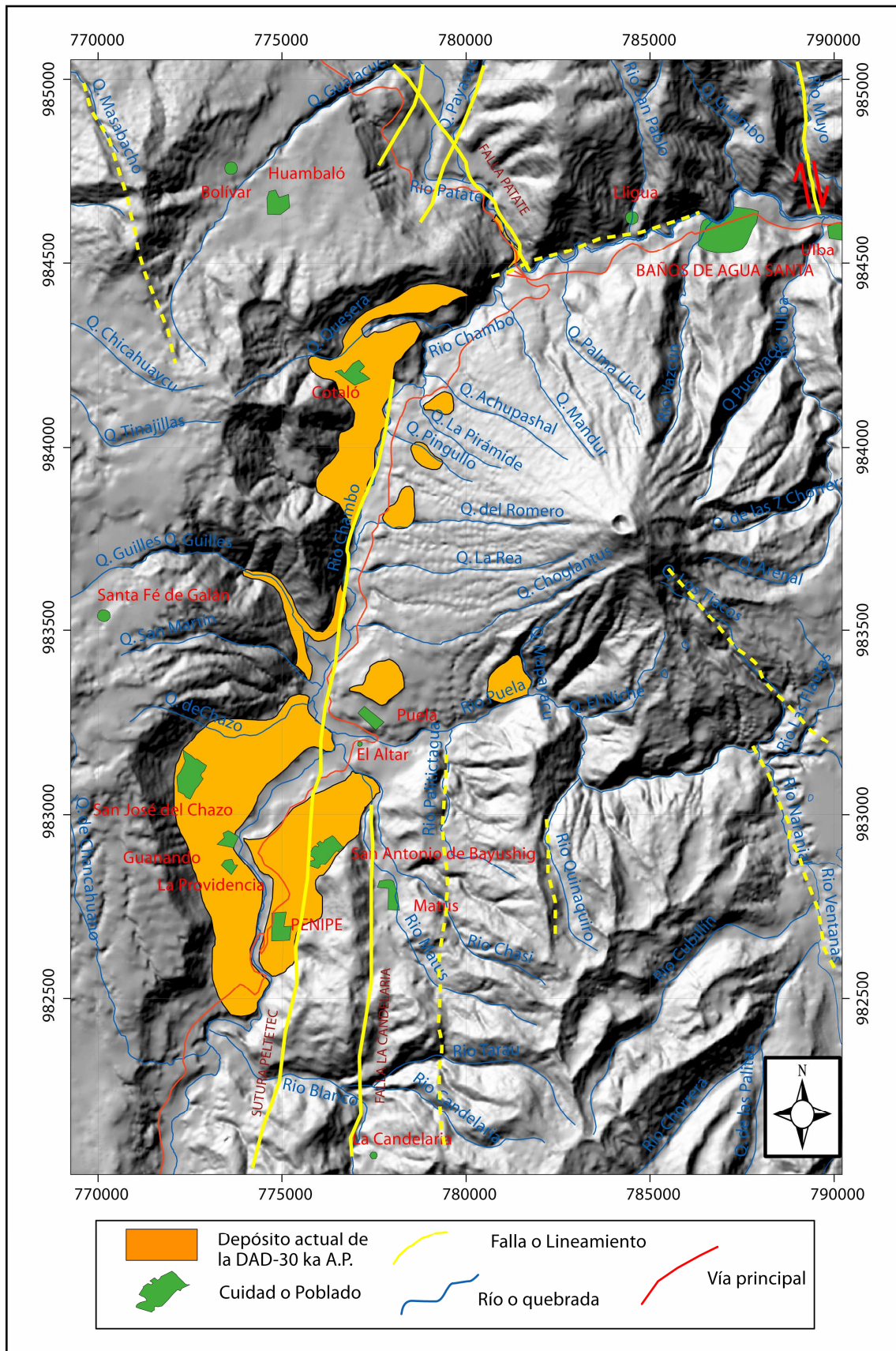
En el sector de Pungal-El Quinche (Afloramiento # 29 UTM: 774130 / 9824620), se evidencia una terraza uniforme y regular de aproximadamente 60 metros de altura, que está constituida por “facies de bloques” como miembro inferior, y sobreyacida por los depósitos de la DAD-30 ka AP del Tungurahua (15 m) y por una capa final de Cangahua (2 m) (FOTO 3.8). Ambos depósitos de avalancha se encuentran separados por una capa tipo milonita de 0,50 m de color crema. Esto hace presumir que la DAD-Altar por lo menos es más antigua que 30 ka AP aproximadamente y que fluyó a lo largo del valle de los ríos Blanco y Collanes.

### **3.2.3 Avalancha de escombros del Tungurahua-30 ka AP (DAD-30 ka AP)**

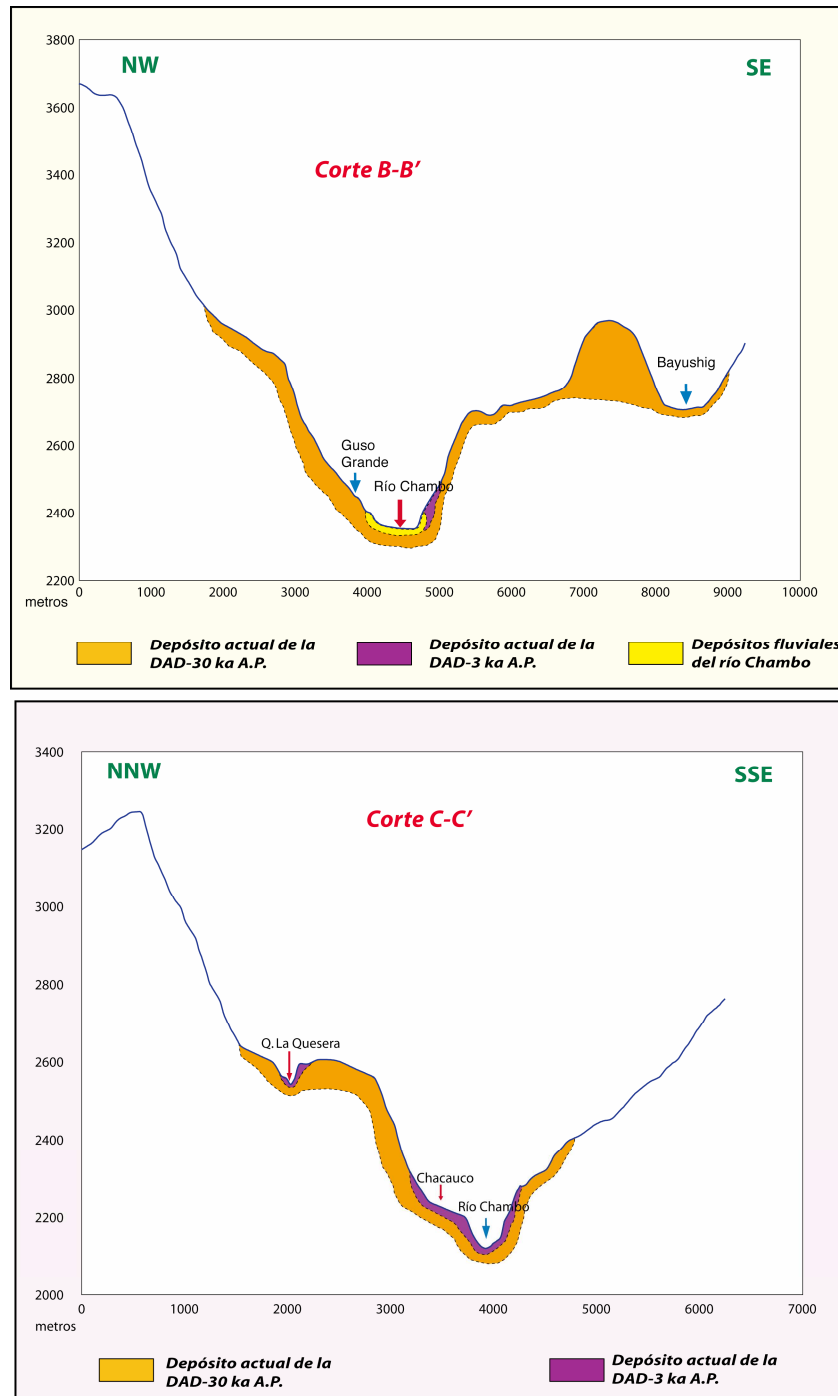
#### **Distribución Geográfica y Morfología**

Los depósitos se encuentran distribuidos hacia el Nor-Noroccidente del volcán en localidades como Cardompamba y Cotaló, hacia el Occidente, en el margen derecho del río Chambo, en Chontapamba, Pingullo, los más importantes y en el margen izquierdo en San Juan, Pillate y Cahuagí. Avanzando más hacia el Sur-Suroccidente, los depósitos se distribuyen en sitios como la Loma Montirón, y poblados como El Altar, Bayushig y Penipe hacia el margen Oriental del río Chambo; y Guso Chico, Guso Grande, Guanando, La Providencia, Pungal y El Quinche hacia el margen Occidental (MAPA 3.3).

Realizando una interpolación de los depósitos actuales de la avalancha de escombros se determinó que estos cubrieron un área total de  $\sim 64 \text{ km}^2$  (6400 Ha), y debido a agentes climáticos y volcánicos, estos depósitos han sufrido una importante erosión, evidenciado principalmente en la disminución del área de cobertura, esta área comprende  $43 \text{ km}^2$  (4300 Ha) en la actualidad.



**MAPA 4.1:** Mapa de distribución actual de los depósitos de la **DAD-30 ka AP** y las principales estructuras tectónicas presentes en la zona que rodean al Volcán Tungurahua.

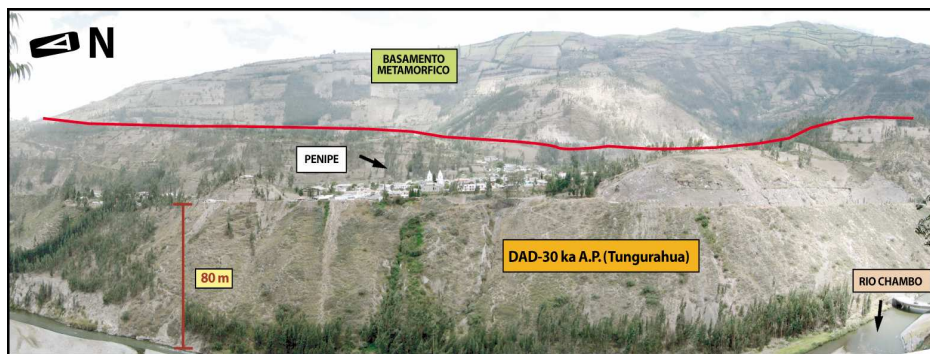


**FIGURA 3.3:** Cortes esquemáticos en donde se ilustra la interpretación del área actual de distribución de los depósitos de las DAD's de Tungurahua. (Ver ubicación Mapa 3.5)

Considerando el área original de los depósitos, se estimó un volumen de  $\sim 13 \text{ km}^3$  ( $10 \text{ km}^3$ , 20 % de expansión y un espesor promedio de 200 metros). El espesor promedio se obtuvo al realizar dos cortes topográficos en las zonas de

mayor concentración de los depósitos actuales y asumiendo que el flujo original pudo rellenar el valle del río Chambo (FIGURA 3.3).

Los depósitos se caracterizan por presentar una morfología regular de grandes terrazas a lo largo del valle del río Chambo, las cuales alcanzan una potencia máxima de aproximadamente 400 m. Poblaciones como Penipe (FOTO 3.9), Bayushig, La Providencia y San José de Chazo hacia el Sur y Cotaló, Pillate y Cardompamaba (Las Juntas) hacia el Norte se encuentran asentadas sobre esta morfología. Adicionalmente los depósitos presentan una topografía de colinas morfológicamente anómalas dentro del contexto local; estas colinas, en total 3, se encuentran presentes en los sectores de Achupashal – La Pirámide (FOTO 3.10), Pingullo y Chontapamba, alcanzando alturas de hasta 250 m. (Ubicación ver MAPA 3.3)

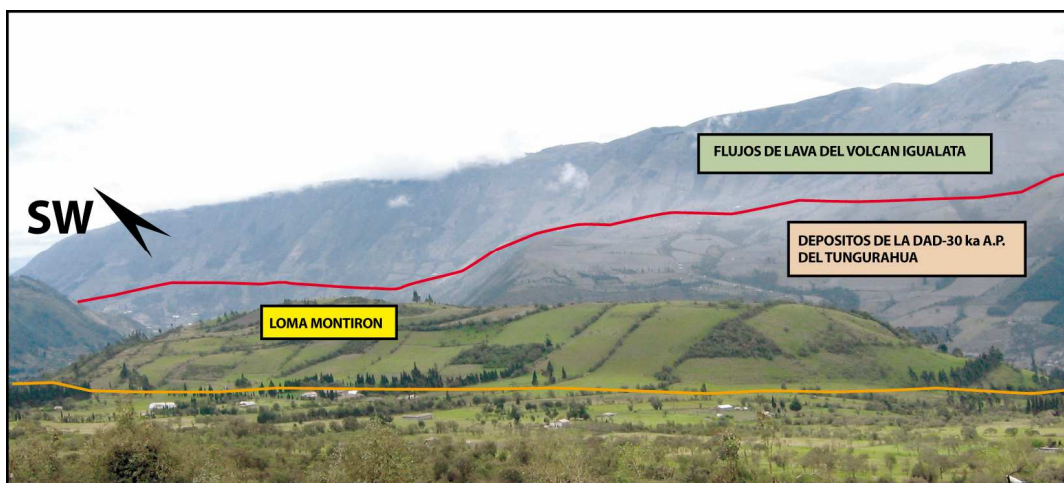


**FOTO 3.9:** Terraza de 80 m. de altura formada por los depósitos de la **DAD-30 ka AP**, en la cual se asienta el poblado de Penipe hacia el Sur-Oeste del Volcán. La línea roja muestra el contacto DAD-Basamento metamórfico (Foto: UTM 774183 / 9827182)



formada por los depósitos de la **DAD- 30 ka AP**, en el sector de las quebradas Achupashal – La Pirámide. (Foto: UTM 779164 / 9841760)





**FOTO 3.11:** Loma Montirón, formada por una colina alargada dejada por la **DAD- 30 ka AP** Su eje tiene un rumbo NW – SW.

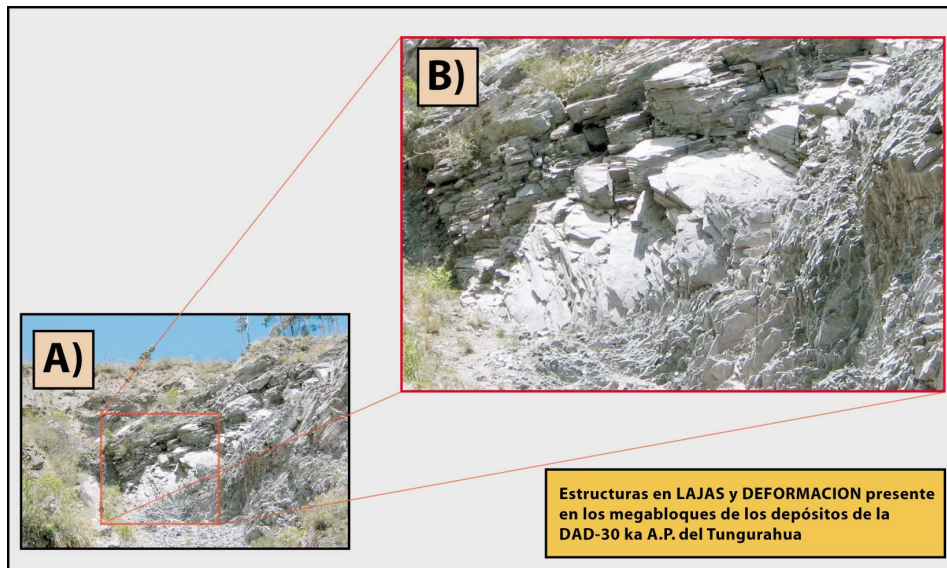
Otra característica morfológica es la presencia de colinas alargadas, las mismas que forman elevaciones como la Loma Montirón (FOTO 3.11) (UTM: 777500 / 9833500). Esta colina se encuentra paralela a la dirección del flujo (Sur-Oeste) y cubierta en su base por los depósitos de la avalancha de escombros del segundo colapso del Tungurahua II. No presenta afloramiento disponible que facilite la identificación de las rocas que lo forman, pero por su posición topográfica y grado de erosión correspondería a los depósitos de esta avalancha de escombros.

### **Facies y Estructuras Internas del depósito**

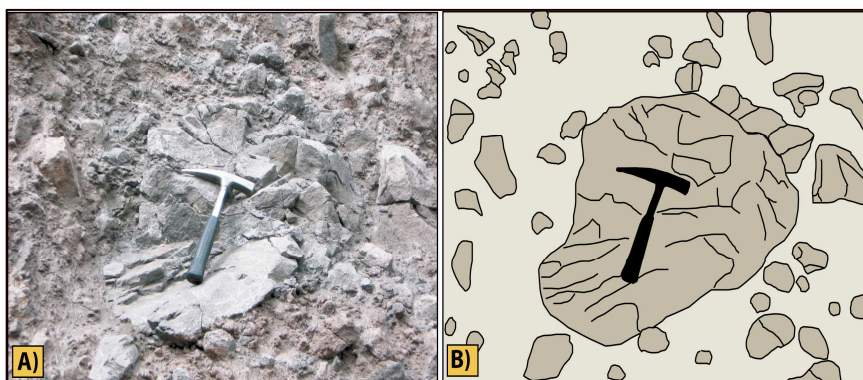
Con relación a las estructuras internas presentes, únicamente se pueden observar estructuras en forma de “lajas” en los megabloques del depósito. Es decir, que éstos se fracturan en una especie de laminas horizontales y uniformes principalmente, y en ocasiones deformadas (FOTO 3.12). Estas estructuras son más frecuentes en los depósitos que afloran hacia el margen Oriental del río Chambo a lo largo del valle en el sector Sur-occidental del volcán Tungurahua. Además, en los depósitos formados por las varias facies depositacionales (bloques o matriz/mezcla), se observan estructuras de “cataclasis” que es la ruptura de clastos individuales como “fracturamiento” o “rompimiento” del material volcánico (Glicken, 1991). Producto de este rompimiento y/o fracturamiento la

mayoría de bloques muestran estructuras tipo “jigsaw cracks”, que son típicamente regulares como las juntas de enfriamiento de una roca ígnea masiva (FOTO 3.13).

Los planos de juntas generalmente permanecen cerrados, pero alguna de estos están ampliamente abiertos, debido a la deformación durante el transporte mismo de la avalancha de escombros. Estas estructura son claramente visibles principalmente en depósitos de facies de bloques y muy escasamente en los depósitos de facies de matriz/mezcla; sin embargo, se muestran en general a lo largo de todo el depósito.



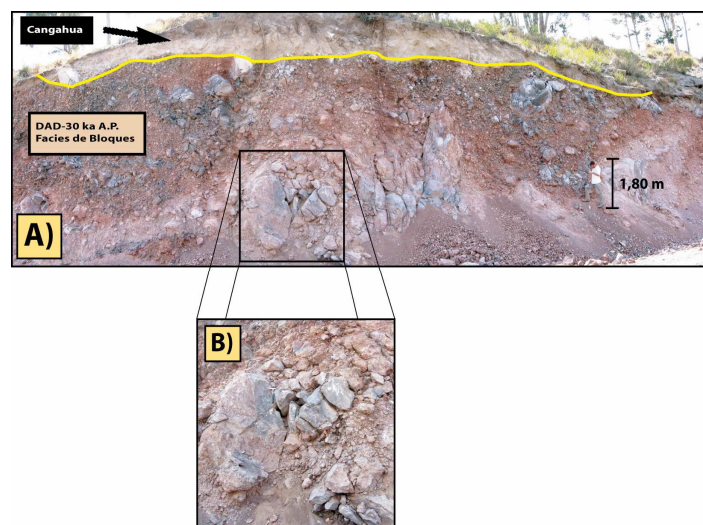
**FOTO 3.12:** Estructura en forma de “lajas” y con “deformación” presente en algunos megabloques de la **DAD-30 ka AP**; comúnmente observado hacia el SW del volcán a lo largo del valle del río Chambo en su ribera Oriental. (Foto: Afloramiento # 36 UTM: 774460 / 9828300). **A)** Estructura, **B)** Zoom que especifica lo mencionado.



**FOTO 3.13:** “Jigsaw cracks” producidos durante el transporte de la **DAD-30 ka AP** (Foto: Afloramiento # 44 UTM: 776055 / 9832008). **A)** Bloque afectado por fracturas jigsaw. **B)** Ilustra al bloque y las fracturas por cataclasis.

Otra característica que presenta los depósitos, son las varias facies depositacionales. La “facies de bloques”; que corresponde a bloques de la avalancha de escombros de tamaño variable entre 5 cm y 50 cm en su diámetro mayor, a veces métricos y con un porcentaje que varía entre 60% y 90%. Estos clastos se encuentran fracturados y deformados (jigsaw cracks y estructuras en lajas), distribuidos dentro de una matriz intraclástica areno-limosa de color gris a gris rojiza, que corresponde a la fragmentación de los mismos bloques que conforman el depósito (FOTO 3.14). Este tipo de facies, tanto de bloques y megabloques se observa en los depósitos que se encuentran al Sur-Oeste del volcán a lo largo del valle del río Chambo. Muchas veces formando las grandes colina ubicadas en la parte baja del flanco Occidental del Tungurahua

En las zonas distales a la fuente, al Nor-Oeste del volcán encontramos depósitos de “facies de mezcla/matriz” que consiste en una mezcla de fragmentos pequeños con un contenido de hasta un 30 % en bloques con un tamaño no mayor a 10 cm y excepcionalmente con bloques de hasta 50 cm de diámetro. Estos bloques se encuentran distribuidos en una matriz de tamaño de grano arcilloso de color gris clara y muchas veces hasta de color crema (FOTO 3.15). En estos depósitos no es común encontrar estructuras de deformación ni cataclasis; sin embargo, en los bloques de mayor tamaño ocasionalmente presentan este tipo de estructura.



**FOTO 3.14:** “Facies de bloques” distribuidos en una matriz de tamaño arena de color gris-rojiza. Nótese además que el depósito se encuentra sobreyacido por 1,50 m de Cangahua. (Foto: Afloramiento # 43 UTM: 774144 /9827349)



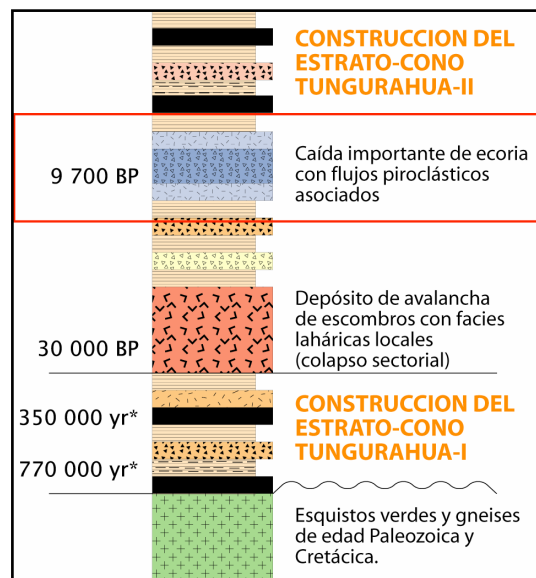
**FOTO 3.15:** “Facies de matriz / mezcla”, con bloques de 5 cm de diámetro, ocasionalmente la presencia de bloques de hasta 30 cm distribuidos en una matriz de tipo arcillo-arenosa de color gris claro. (Foto: Afloramiento # 38 UTM: 777966 / 9842380)

Los depósitos que forman las terrazas hacia el N-Nor-Oeste del volcán están constituidas en su mayor parte por facies depositacionales de mezcla/matriz, tanto la terraza donde se asienta el poblado de Cotaló (Nor-Oeste) como la terraza de Cardompamba (Norte) en el sector de Las Juntas.

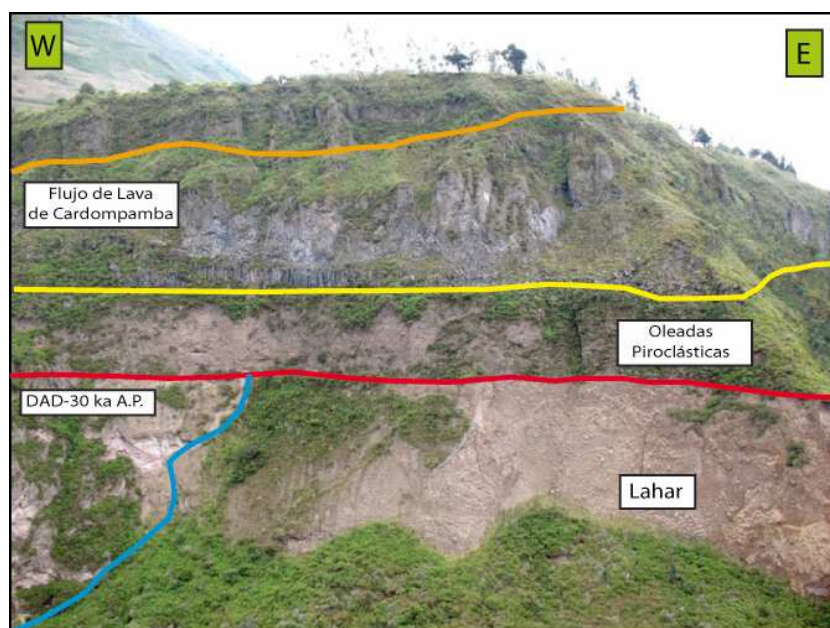
### **Relaciones Estratigráficas**

Considerando en parte la geología del volcán y los diferentes productos volcánicos dejados a lo largo de su historia geológica, se conoce estratigráficamente que a ~9700 años AP ocurrió una poderosa erupción. La misma que se muestra con un depósito pliniano de escoria, asociado con oleadas (surges) piroclásticas (FIGURA 3.4) (*Le Pennec et al., 2006*). Este depósito sirvió de marcador estratigráfico principal para poder distinguir en parte que los depósitos de avalancha de escombros que subyacían a ésta correspondían a la DAD-30 ka AP del Tungurahua. Esta unidad conjuntamente con otras sobreyacen la los depósitos de avalancha principalmente en los sectores de Guanando, La Providencia y Palitahua. Además se utilizó la Cangahua, que es una secuencia homogénea de cenizas finas retrabajadas por diferentes agentes exógenos y en

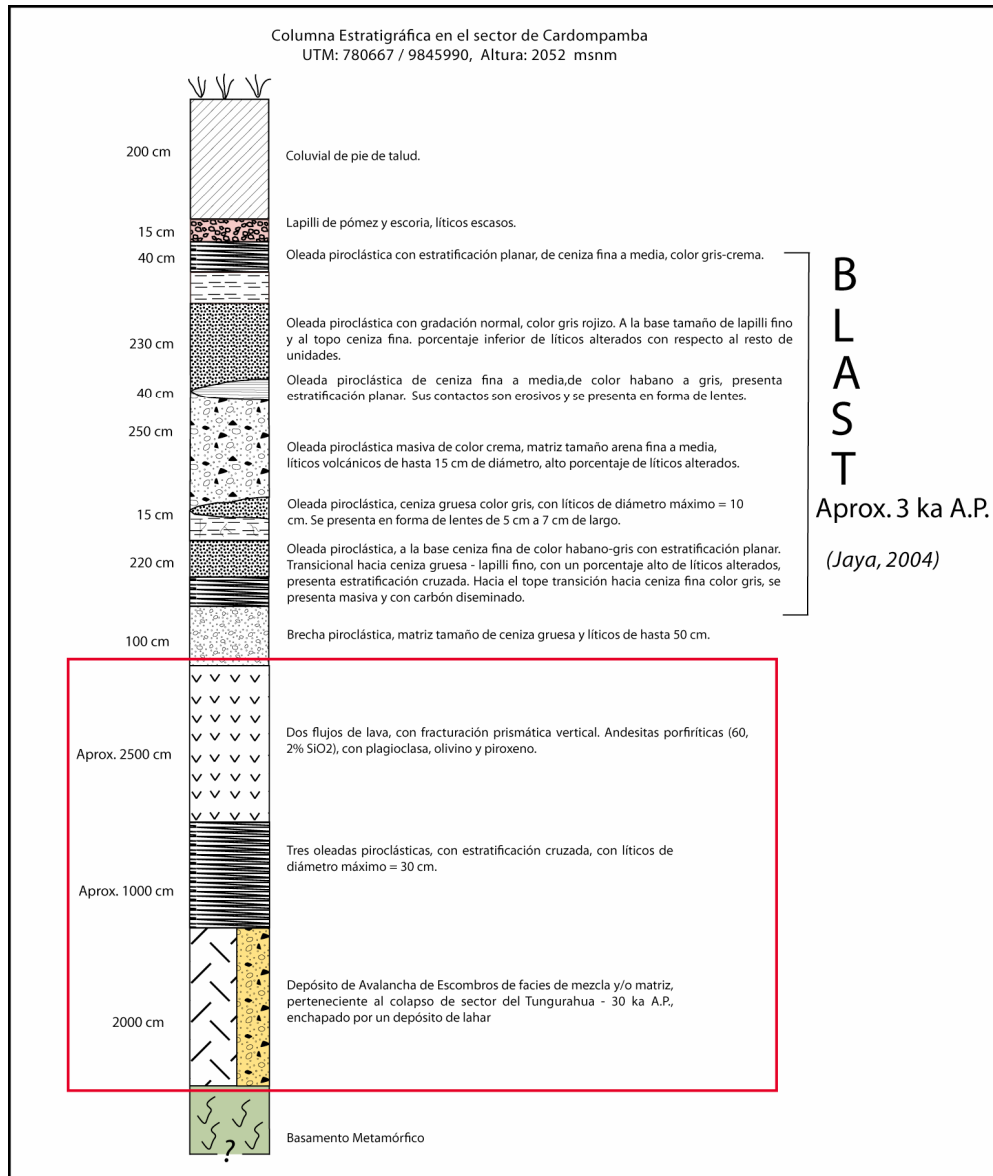
cierta forma afectadas glacialmente (*Mothes, 2006*); esta unidad también pudo dar una edad estratigráficamente relativa, ya que la edad mínima para la Cangahua corresponde a 10 ka. aproximadamente. Esta segundo marcador estratigráfico de aproximadamente 2 m de espesor promedio, en ocasiones se encuentra asentada en forma concordante sobre los depósitos de la DAD-30 ka AP, como en los sectores de Cotaló, Pungal El Quinche, entre otros.



**FIGURA 3.4:** Columna estratigráfica esquemática de los productos del Tungurahua que sobreyacen a la DAD-30 ka AP. En el recuadro en rojo el depósito pliniano a ~ 9700 a AP (*Modificado de Le Penne et al., 2006*).



**FOTO 3.16:** Sector de Cardompamba, puente de Las Juntas, en donde se observa la terraza formada por la **DAD-30 ka AP** a la base; sobreyacida por depósitos de oleadas piroclásticas y un flujo de lava del Tungurahua. Nótese los depósitos de un lahar enchapado en la **DAD-30 ka AP** (UTM: 781170 / 9844880)



**FIGURA 3.5:** Columna estratigráfica en el sector de Cardompamba – Las Juntas. A la base el basamento metamórfico y la **DAD-30 ka AP**, enchapados por depósitos del un lahar conteniendo bloques dacíticos con estructura radial. El recuadro en rojo muestra la **FOTO 3.16** UTM: 780667 / 9845990 (Modificado de Jaya, 2004)

En ocasiones, los depósitos de la **DAD-30 ka AP** se encuentran sobreyacidos por los depósitos del “blast” de 3 ka AP como en el sector de Pillate. Sin embargo, en el sector de Cardompamba, en donde los depósitos de la **DAD-30 ka AP** están en contacto directo con el basamento metamórfico, y sobreyacidos por

un flujo de lava, no sobreyace directamente a la DAD-30 ka AP (FOTO 3.16 y FIGURA 3.5).

### **3.2.4 Avalancha de escombros del Tungurahua-3 ka AP (DAD-3 ka AP)**

#### **Distribución Geográfica y Morfología**

Con relación a los límites originales de los depósitos y realizando la interpolación de la distribución actual se estimó que la DAD se extendió hacia el Nor-Noroccidente del volcán en los sectores de Perespamba (San Juan-Panguilí-Las Queseras) y Chacauco al margen Occidental del río Chambo. Hacia el Occidente del volcán, en la margen derecha del río Chambo, los depósitos ocupan los sectores de Yuibug Grande, Choglontus y El Manzano. Continuando hacia el Sur-Suroccidente, los depósitos se distribuyen desde Puela, Yunguilla hasta Guso Grande (MAPA 3.4).

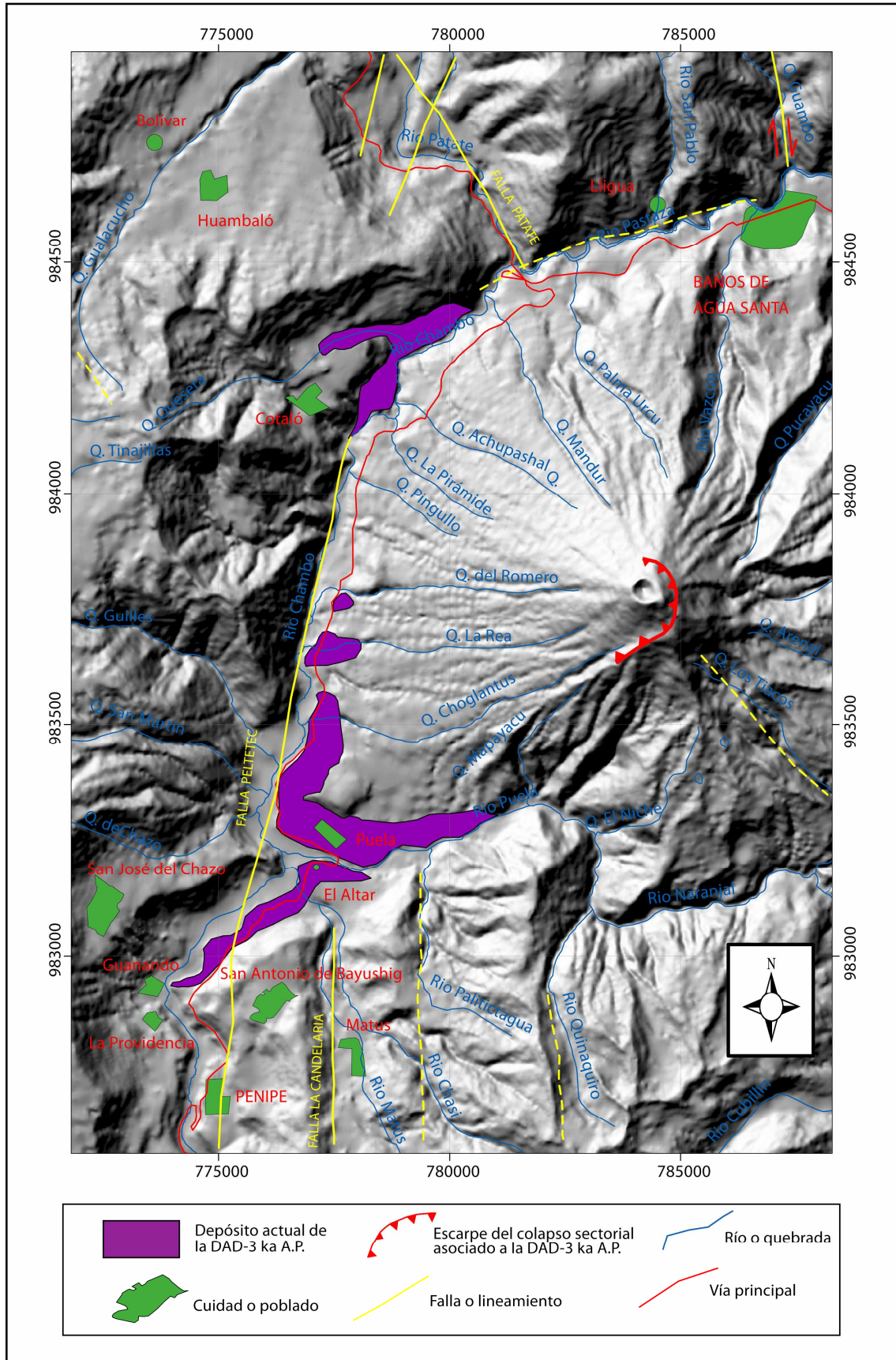
La distribución actual corresponde a un área de  $\sim 10 \text{ km}^2$  (1000 Ha) aproximadamente, pero realizando una estimación cartográfica y una interpretación de los depósitos se obtiene un área total de depósito de  $\sim 23 \text{ km}^2$  (2300 Ha) (MAPA 3.4). Considerando el área original de distribución y cobertura de los depósitos, se calculó un volumen de material correspondiente a  $2,8 \text{ km}^3$  con un 20 % de expansión y con un espesor promedio de 150 metros, calculado utilizando el mismo método que para la DAD-30 ka AP (FIGURA 3.3 ver ubicación en el Mapa 3.5). Tomando en cuenta el trazo inferido de la caldera de colapso (MAPA 3.4), el área, la altura, entre otros; se estima que el material colapsado es de  $3,1 \text{ km}^3$ , cuyo proceso de cálculo está detallado en la FIGURA 3.6

Estos depósitos se caracterizan por mostrar una morfología muy homogénea formando terrazas, distribuidas tanto en la ribera Oriental y Occidental a lo largo del Valle del río Chambo hacia el Nor y Sur-Occidente. Estas terrazas alcanzan una potencia máxima de hasta 200 metros. Algunas poblaciones se asientan en sus planicies, así por ejemplo Chacauco (FOTO 3.17), Panguilí – Las Queseras, El Manzano, Puela y Palitahua como las más principales.

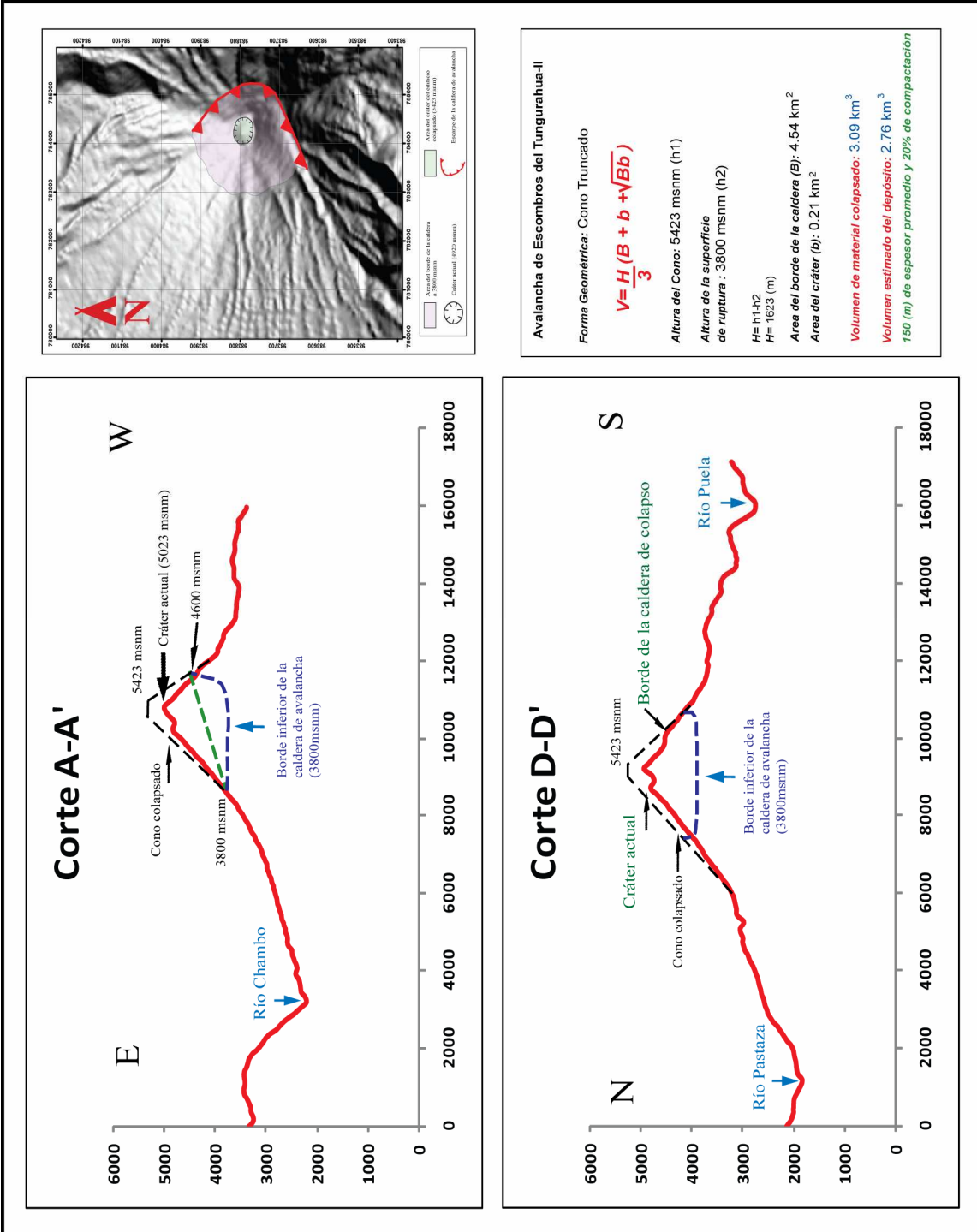
Otra característica morfológica de los depósitos de la DAD-3 ka AP es la presencia de pequeñas colinas, distribuidas en la zona basal del edificio, el de la

quebrada La Rea y Yuibug Grande. Estas colinas alcanza una altura máxima de 150 m (La Rea)





**MAPA 3.4:** Mapa de distribución actual de los depósitos de la DAD-3 ka AP, y las principales estructuras tectónicas presentes en la zona que rodean al Volcán Tungurahua.



**FIGURA 3.6:** Cortes esquemáticos en donde se indica el método para el cálculo de volumen de material colapsado para la **DAD-3 ka A.P.**. (Ubicación ver MAPA 3.5)

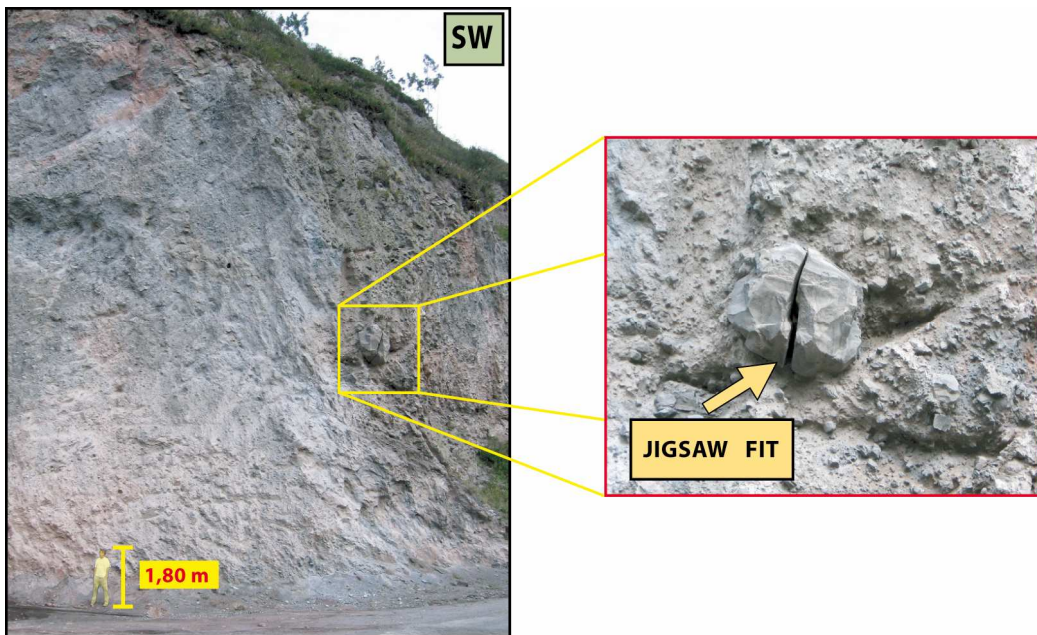
## Facies y Estructuras Internas del depósito

Estructuras formadas por el fenómeno de “cataclasis” como “jigsaw cracks” y/o “jigsaw fit” (FOTO 3.18), también están presentes en los depósitos principalmente en los de facies de bloques.

Con relación a las facies depositacionales que conforman los diferentes depósitos de la avalancha de escombros de la DAD-3 ka AP, se encuentran presentes principalmente y en su mayoría las facies de bloques y la facies de mezcla/matriz. La “facies de bloques”; está constituida por bloques de 5 cm y 50 cm de diámetro mayor, que varían entre 60% y 90% (FOTO 3.19). Algunos bloques presentan estructuras como “jigsaw cracks” y raramente “jigsaw fit”, distribuidos dentro de una matriz intraclástica de tamaño de arena, de color gris a gris oscura. Este tipo de facies, se observan en los depósitos que se encuentran distribuidos tanto al Oeste-Nor-Oeste y Sur-Oeste del volcán. En las zonas distales, al Nor-Oeste del volcán encontramos depósitos de “facies de mezcla/matriz”. Estos consisten en una mezcla de fragmentos +pequeños con un contenido de hasta un 20 % en bloques de tamaño no mayor a 10 cm. Muy raramente se tiene la presencia de bloques de tamaño métrico distribuidos en una matriz de tamaño arcilloso de color gris clara y muchas veces hasta gris oscura (FOTO 3.20).



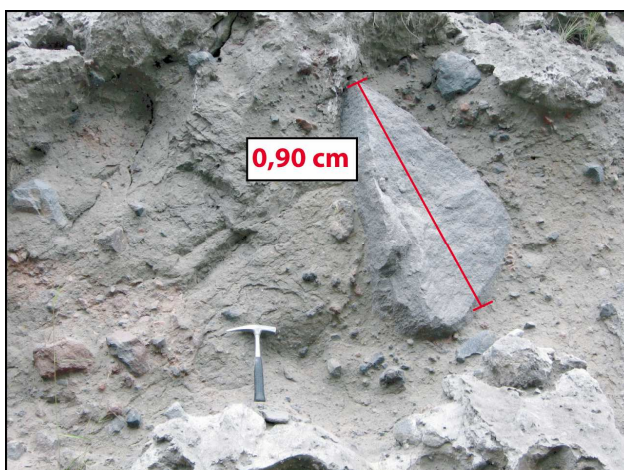
**FOTO 3.17:** Terraza formada por la DAD-3 ka AP en la cual se asienta el poblado de Chacauco. La línea en rojo muestra el contacto entre los depósitos de la DAD-30 ka AP y la DAD-3 ka AP del Tungurahua. (Foto: UTM 779164 / 9841760)



**FOTO 3.18:** Estructuras tipo "jigsaw fit", presente en un bloque de aproximadamente 2 metros de diámetro de la facies de bloques en los depósitos de la **DAD-3 .a AP** (Foto: UTM 776320 / 9833850)



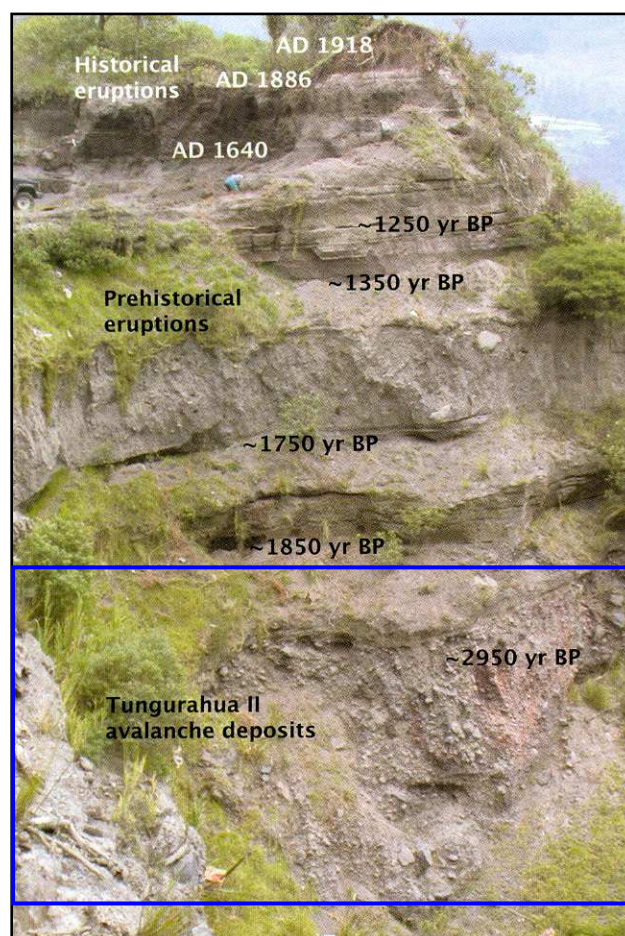
**FOTO 3.19:** "Facies de Bloques" de los depósitos de la avalancha de escombros del Tungurahua de **3 ka AP** (Foto UTM: 777380 / 9836670)



**FOTO 3.20:** "Facies de mezcla / matriz", ocasionalmente la presencia de clastos de hasta tamaño métrico distribuidos en una matriz de tipo arcillo-arenosa de color gris claro. (Foto: Afloramiento # 4 UTM: 776260 / 9833340)

## Relaciones Estratigráficas

Evidencias en el campo, como las unidades que pertenecen a los eventos explosivos de 1850, 1750, 1250 años AP, que consisten principalmente de depósitos pumíticos de caída con bombas juveniles bandeadas (1250 a AP) y xenolitos oxidados (*Le Pennec et al., 2006*), permitieron identificar estratigráficamente a los depósitos de la DAD-3 ka AP utilizándolos como marcadores estratigráficos (FOTO 3.21).



**FOTO 3.21:** Secuencia piroclástica sobre yaciendo a los depósitos de la **DAD-3 ka AP** (recuadro en azul); los cuales forman la terraza de Chacauco. (Afloramiento # 79, UTM: 778644 / 9842451) (*Modificado de Le Pennec et al., 2006*)

La segunda capa guía utilizada, fue la secuencia piroclástica constituida por los depósitos de un “blast volcánico” que estratigráficamente comprende 4 unidades. Dentro del depósito se encuentra material carbonizado, principalmente

pedazos de madera de hasta 1 metro de largo, que analizados a  $^{14}\text{C}$  dan una edad de  $2960\pm 60$  a AP

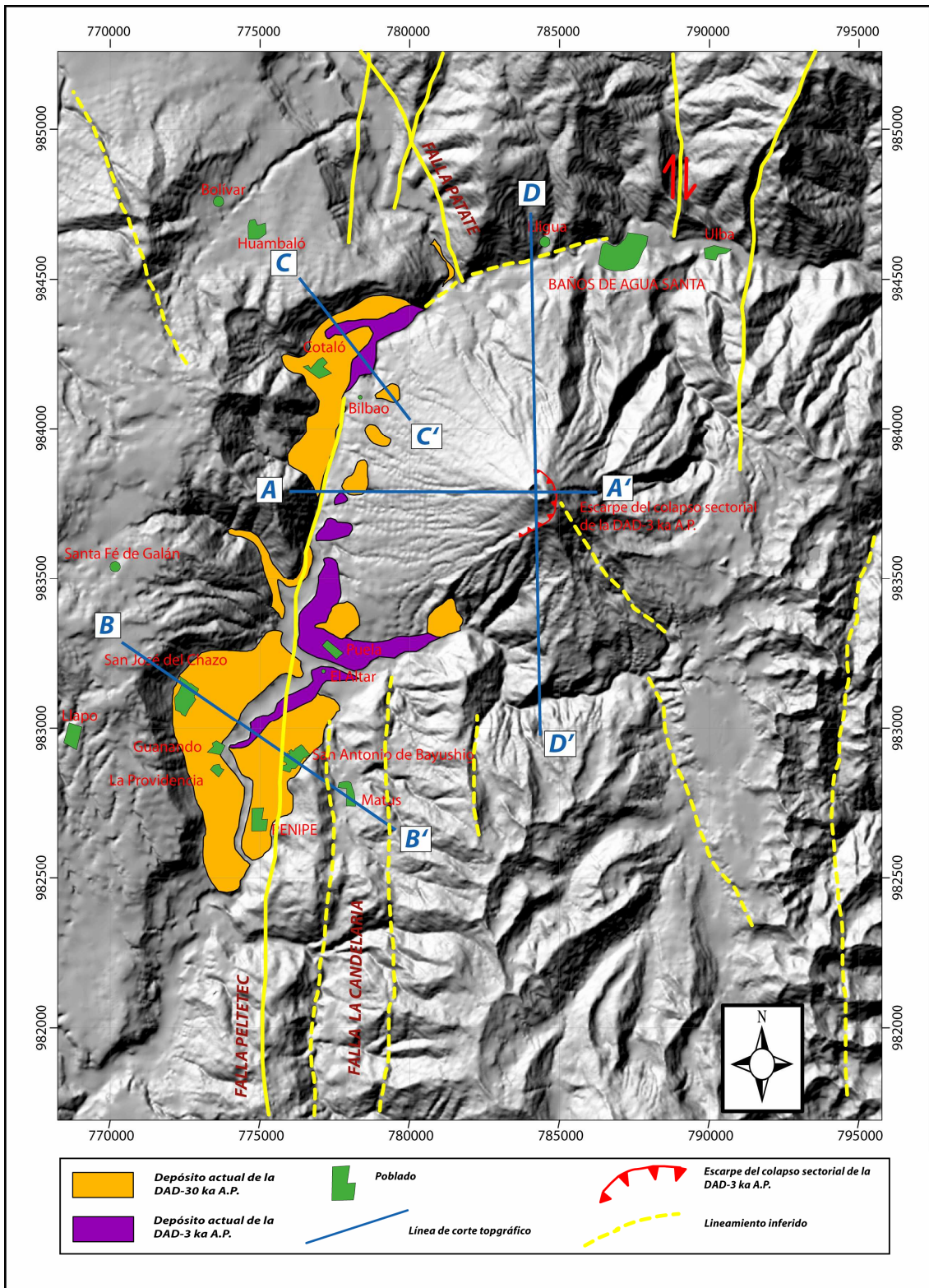
Esta serie de depósitos piroclásticos, como en el caso de las terrazas de Cotaló , y de San Juan-Panguilí en el sector de Las Queseras (Afloramiento # 84, UTM: 778099 /9843685), se encuentra intercalada entre dos depósitos de avalanchas de escombros y según la edad determinada en el presente proyecto de titulación, se le asocia al evento ocurrido que acompañó al segundo colapso del Tungurahua II (FOTO 3.22).



**FOTO 3.22:** Secuencia de depósitos piroclásticos que corresponden al “blast volcánico” que se encuentra intercalado con los depósitos de avalanchas de escombros. Recuadro en rojo representa la sección estratigráfica del blast. (Afloramiento # 84, UTM: 778099 / 9843685)

Las 5 unidades que conforman el depósito en el sector de Cotaló, Panguilí-Las Queseras son:

**Unidad 1:** Depósito de Avalancha de escombros (25 m), con facies de matriz la cual contiene bloques no mayores a 30 cm, ocasionalmente hay bloques hasta 50 cm en su diámetro máximo. Tiene matriz de tamaño de arena color gris-rosada. Los bloques son andesitas porfíricas y afaníticas. El depósito presenta costras de óxidos en superficie muy esporádicamente.



**MAPA 3.5:** Modelo numérico del terreno del Volcán Tungurahua donde se muestra la distribución actual de los depósitos de la DAD-30 ka AP y de la DAD-3 ka AP

**Unidad 2:** Capa aproximadamente de 50 cm de espesor de material medio-fino color gris claro con poco porcentaje de líticos, tiene gradación normal, también presenta fragmentos de pómez; el depósito está en contacto concordante con la avalancha superior.

**Unidad 3:** Espesor aproximado de 2 m, nivel de material grueso, clasto soportado, sorteo moderado a medio. Presenta líticos y clastos de tamaño entre 10-5 cm en su diámetro máximo. Los clastos son andesitas de color grises y negras, algunos clastos presentan alteración hidrotermal con colores crema-verdoso y algunos también se encuentran oxidados. Dentro del depósito hay una intercalación de 2 niveles de ceniza media-fina con un nivel de toba color blanco cremoso.

**Unidad 4:** Espesor aproximado 10 m de material medio, el depósito es muy homogéneo y continuo. El tamaño de grano varía hasta 5 cm como tamaño máximo, son de diferentes colores y algunos presentan alteración hidrotermal y oxidación. Es clasto soportado con un sorteo moderado. El depósito presenta un color crema-verdoso en forma general. Dentro existe material carbonizado de fácil recolección ya que su tamaño varía hasta 1 m en longitud ( $C^{14} 2960 \pm 60$ ). Este depósito presenta además una precipitación hacia el exterior de sales, las mismas que forman una costra de color blanco, la cual está presente en las 3/4 del depósito. (En este nivel hay las muestras de carbón)

**Unidad 5:** Aproximadamente 20 m. no accesible. Depósito de material grueso con bloques de hasta 30 cm. en su diámetro máximo muy esporádicamente y se observa un 40 % de matriz con bloques de menor tamaño. En general es de color habano y presenta también precipitación de sales hacia el exterior que forman una costra color blanco muy homogénea. Presenta también fragmentos de madera carbonizada en menor porcentaje que el nivel superior.

En conclusión se puede decir que los depósitos de las avalanchas de escombros del Tungurahua (DAD-30 ka AP y DAD-3 ka AP) se distribuyeron principalmente a lo largo del valle del río Chambo y únicamente la DAD-30 ka AP dejó un remanente en el valle del río Patate; es decir que los depósitos fluyeron hasta ~ 16 km al SW y 4 km al NW del volcán Tungurahua (ver MAPA 3.5)



## CAPITULO 4

# DESCRIPCION PETROGRAFICA Y GEOQUIMICA DE LOS DEPÓSITOS ESTUDIADOS

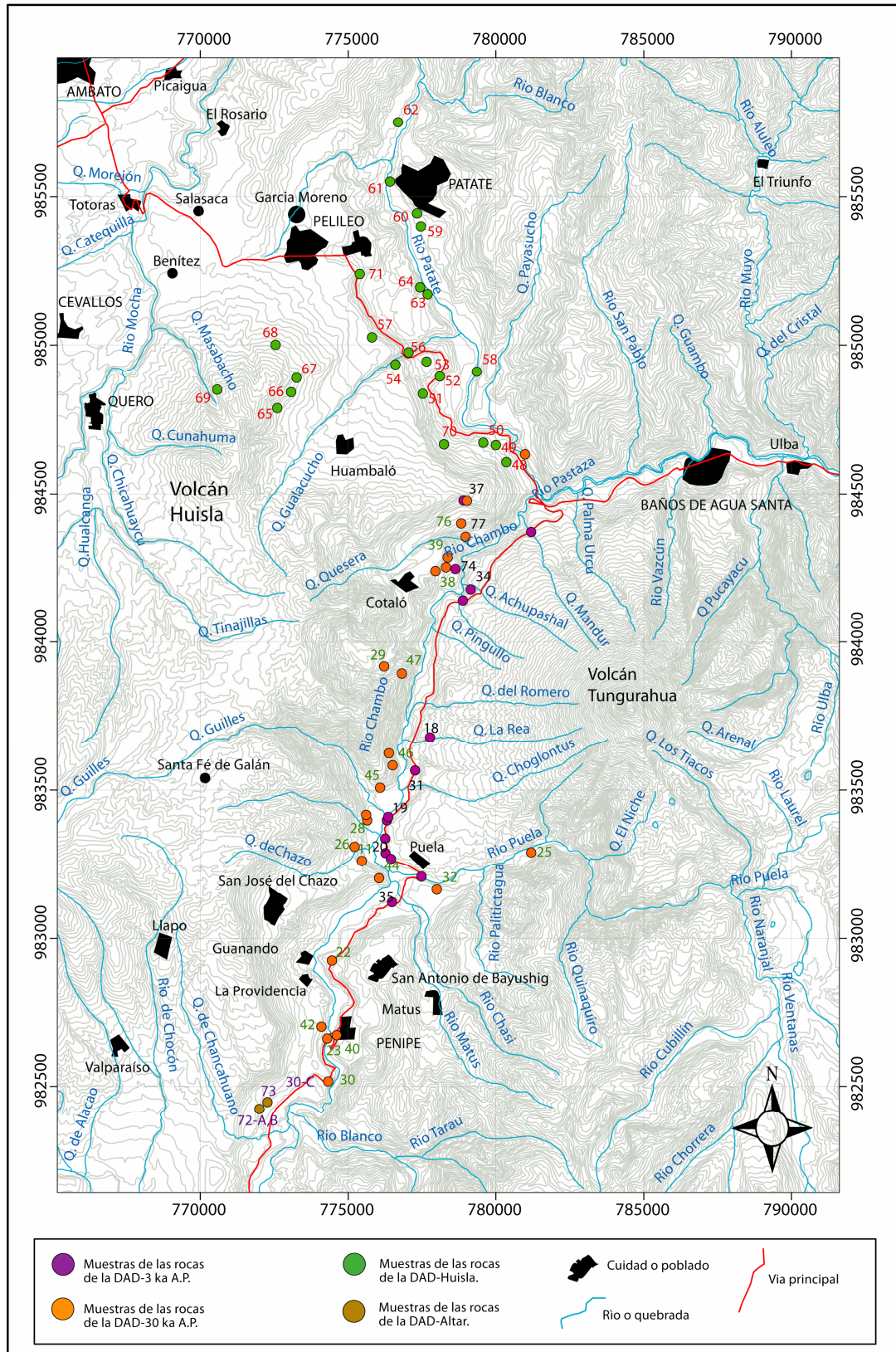
### 4.1 PETROGRAFIA DE LOS DEPOSITOS ESTUDIADOS

Para el presente estudio petrográfico se han seleccionado 67 muestras (MAPA 4.1), las cuales representan los diferentes tipos de rocas involucradas en los depósitos de las avalanchas de escombros identificadas a lo largo de los valles de los ríos Patate y Chambo.

Las láminas delgadas de cada muestra fueron realizadas en el Laboratorio “Magmas et Volcans” (UMR 6524, OPGC) de la Universidad de “Blaise Pascal” en Clermont-Ferrand (Francia). El estudio de las láminas se las realizó en el Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional, utilizando un microscopio petrográfico NIKON Labophot2 –POL. Para Obtener los porcentajes en volumen de los fenocristales y de la matriz en cada lámina, se procedió: **1)** a dividir la lámina delgada en al menos 9 partes iguales (máximo 18); **2)** utilizando el microscopio, en cada parte se estimó el porcentaje en volumen de los principales fenocristales y de la matriz; y **3)** se obtuvo la media aritmética de los porcentajes estimados en todas las partes para cada fenocristal y para la matriz.

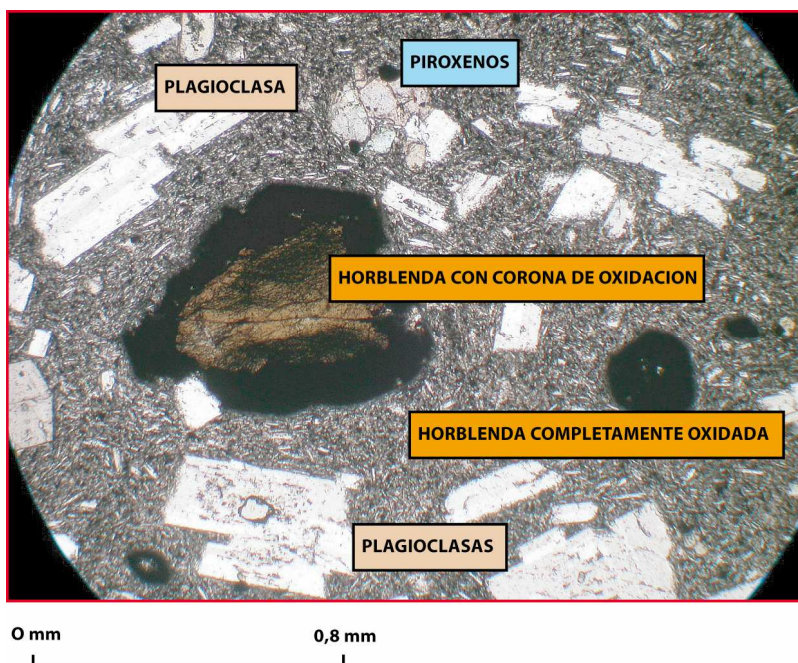
#### 4.1.1 Depósitos de avalancha de escombros del volcán Huisla

Al realizar una primera evaluación petrográfica en muestra de mano, se determinó que los distintos tipos de rocas presentes en los depósitos de la DAD-Huisla son andesitas de color gris claro, las misma que son porfíricas y afaníticas medias. Estas rocas están constituidas por una composición mineralógica de plagioclasas, pocos piroxenos y anfíbol (horblenda), distribuidos en un matriz vítrea de color gris.



**MAPA 4.1:** Mapa de ubicación de muestras de las rocas involucradas en la avalancha de escombros aquí estudiadas. Todas con la nomenclatura TG-JB

Mediante un análisis de microscopía petrográfica, muestra que la característica importante de las rocas de la DAD-Huisla (18 muestras analizadas) es la presencia de anfíbol. **La horblenda**, se presenta en un 10 % vol. con cristales de 0.5 mm de tamaño promedio y generalmente de hábito prismático y alargados. La mayoría de cristales son pseudo-hexagonales y en ocasiones octogonales de color café rojizo con pleocroísmo moderado; algunos de los cuales muestran anillos de oxidación de color negro y en ocasiones los cristales se encuentran totalmente oxidados (negros) producto de la desestabilización de los cristales durante el ascenso del magma.(FOTO 4.1).



**FOTO 4.1:** Horblendas subhedrales de hasta 0.8 mm de tamaño, presente en las rocas de los depósitos de la DAD-Huisla en un 10% vol. promedio de roca; presentan anillos (oxidación) de color negro. (TG-JB-51 A, Afloramiento # 50, UTM: 777542 /9848354)

**La plagioclasa**, con un 37% vol. promedio, se muestra con cristales de hasta 0.9 mm de tamaño con una geometría euهدral, alargados y tabulares; en ocasiones subhedrales con macla polisintética y zonación. Además en algunos fenocristales se observan pequeñas coronas y núcleos de reacción e inclusiones de minerales opacos. Este fenocristal también se encuentra como microlitos (35% vol) formando parte de una matriz microcristalina.

**El clinopiroxeno** (Augita), con 7% vol. promedio de roca y presente con cristales de 0.5 mm de tamaño en su mayoría subhedrales y raramente euhedrales con una ligera tonalidad verdosa y leve pleocroísmo. En ocasiones se encuentran fracturados con inclusiones de minerales opacos muy finos, presentan a más de la macla polisintética la macha tipo “*espada o espiguilla*”, que es una macla que se forma cuando se combina las maclas {100} con las polisintéticas {001} (FOTO 4.2). Conjuntamente y entre-crecidos con plagioclasas y opacos se encuentran formando pequeños aglomerados, así como también en microlitos constituyendo parte de una matriz microcristalina (20%)

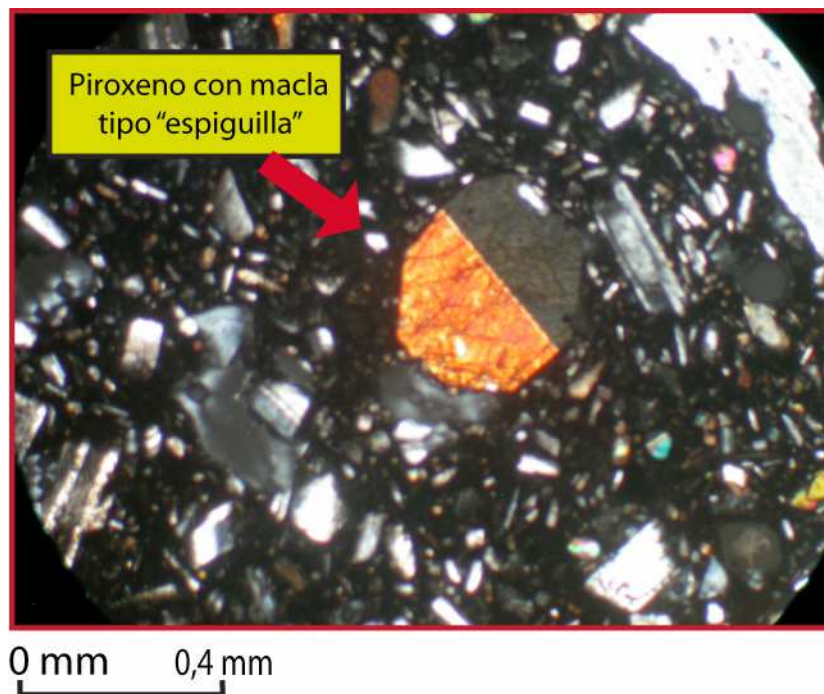


FOTO 4.2:

hasta 0.4 mm de tamaño, los cuales presentan una macla tipo “*espiguilla*” o “*espada*” (TG-JB-60 B, Afloramiento # 61, UTM: 777351 / 9854430. Ubicación ver Mapa 4.1)

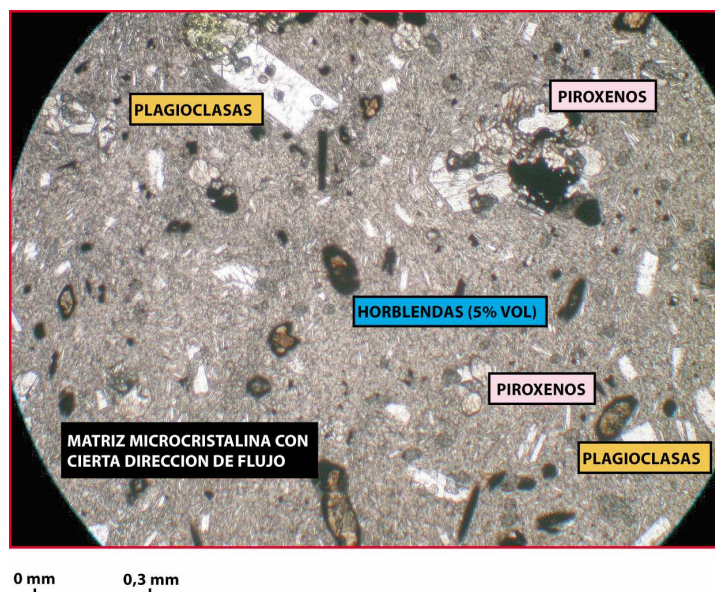
Piroxenos de

**El ortopiroxeno** (Enstatita y/o Hipersteno), en un contenido en volumen de roca de 6% con un promedio de 0.4 mm en tamaño. Los fenocristales se presentan en forma subhedral y ocasionalmente euhedrales de color verde pálido y con pleocroísmo verde-rosado. Además se presentan fracturas y pequeñas inclusiones de minerales opacos. Conjuntamente con las plagioclasas y opacos se encuentran entre-crecidos y formando aglomerados. Al igual que el clinopiroxeno y plagioclasas, están como microlitos (15%) constituyendo una matriz microcristalina. En general, los piroxenos presentes en estas rocas se

muestran relativamente frescos sin muestras de alteración importante, y están usualmente entre-crecidos.

La presencia importante de óxidos de Fe-Ti, como **minerales opacos** (magnetita y/o ilmenita) en un 7% vol. promedio de roca, con cristales anhedrales de tamaño no mayor a los 0.2 mm, también como inclusiones en las plagioclasa y piroxenos.

El grupo de las rocas involucradas en la avalancha de escombros de la DAD-Huisla presentan una **matriz** formada por microlitos de plagioclasas y piroxenos, raramente con minerales opacos. Estos microlitos se encuentran distribuidos en una pasta vítrea de color negro-rojizo a negro-grisáceo como vidrio intersticial, que en ocasiones muestran una cierta dirección de flujo (FOTO 4.3).



**FOTO 4.3:**

Andesita con horblenda (5% vol.), cuya distribución de la matriz representa una textura "Hyalopilitica pilotaxítica" (TG-JB-56, Afloramiento #55, UTM: 777258 / 9850246. Ubicación ver MAPA 4.1)

En resumen se puede decir, que las rocas de los diferentes depósitos de la DAD-Huisla es una andesita con horblenda con una asociación mineral de **plagioclasa + horblenda >> clinopiroxeno > ortopiroxeno y opacos**, los cuales se encuentran distribuidos en una matriz microcristalina. En ocasiones los microlitos indican una cierta dirección de flujo, indicando una textura mayoritaria del tipo porfírica seriada y pilotaxítica. Óxidos de Fe-Ti están como minerales opacos.

#### 4.1.2 Depósitos de avalancha de escombros del volcán El Altar

Al realizar una primera evaluación petrográfica en muestra de mano, las rocas de la DAD-Altar, son andesitas de dos tipos petrográficos: La primera, corresponde a rocas porfiríticas de color gris azulado, con fenocristales de plagioclasa y horblenda de hasta 0.5 cm de tamaño. Los piroxenos son escasos y de grano medio a fino con pequeños fragmentos de vidrio, distribuidos en una matriz vítrea y porosa de color gris claro. El segundo tipo de rocas, comprende andesitas totalmente afaníticas de color negro, con escasos cristales de plagioclasa, constituido con casi el 95% en volumen de roca por material vítreo como matriz. Esta roca se caracteriza por su fractura “concoidea” tipo obsidiana. (FOTO 4.4).



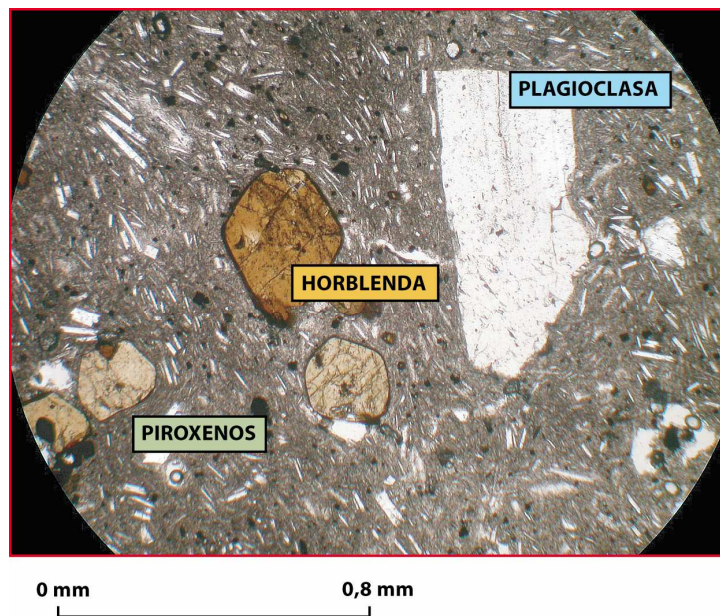
**FOTO 4.4:** Andesitas típicas presentes en los depósitos de la **DAD-Altar**. **Izquierda)** Muestra TG-JB-72 B, Afloramiento # 77, UTM: 772286 / 9824457. **Derecha)** Muestra TG-JB-73, Afloramiento # 78, UTM: 772008 / 9824235.( Ubicación ver MAPA 4.1)

Mediante el análisis en secciones delgadas de las muestras de rocas seleccionadas (en total 4), se establece, que la principal característica de las rocas involucradas en los depósitos de la DAD-Altar es la presencia importante de **horblenda**, que constituye aproximadamente el 10% vol. de roca, con cristales de 2 mm en tamaño promedio, los cuales se presentan con hábito prismático casi

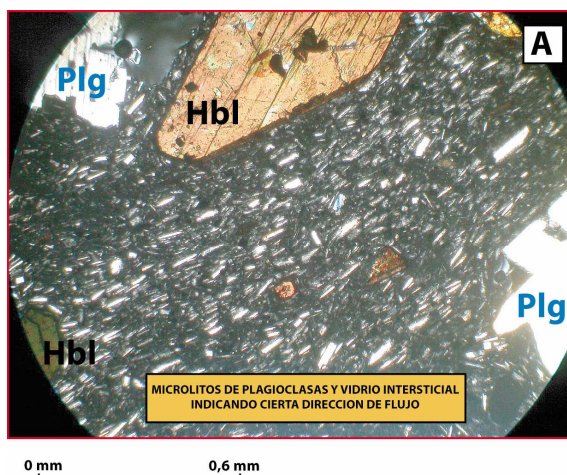
seudo - hexagonales, y en su mayoría subhedrales, muchos de los cuales muestran pequeños anillos de oxidación de color negro, los mismos que se encuentran bordeando al mineral (FOTO 4.5).

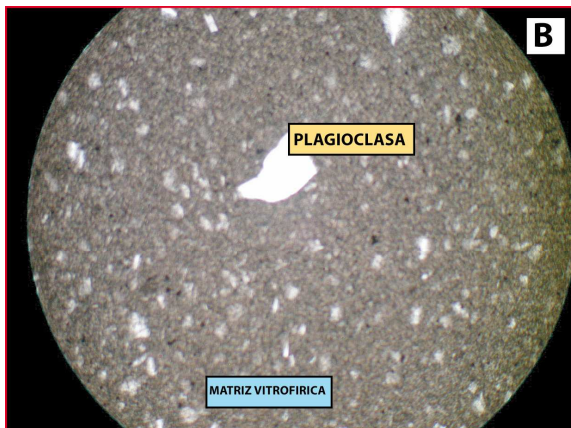
Otro mineral presente es la **plagioclasa**, en un 3% vol. de roca en promedio, con cristales de 0.9 mm de tamaños con un hábito tabular y alargados, muchos de los cuales con geometría euhedral y subhedral con pequeñas inclusiones de minerales opacos muy finos. Algunos fenocristales presentan coronas y núcleos de reacción.

La presencia de piroxenos es muy limitada, únicamente como **mineral accesorio**; con cristales de 0.3 mm en tamaño promedio.



**FOTO 4.5:** Hornblenda de hábito seudo-hexagonal que presenta un ligero anillo de oxidación, algunos microcristales totalmente oxidados (TG-JB-72 A, Afloramiento # 77, UTM: 772286 / 9824457. Ubicación ver Mapa 4.1)





**FOTO 4.6: A)** Fenocristales de horblenda y plagioclasa, distribuidos en una matriz microcristalina cuya disposición de los microlitos de plagioclasa y vidrio intersticial muestran una textura "Pilotaxítica" (TG-JB-72 A, Afloramiento # 77, UTM: 772286 / 9824457. Ubicación Mapa 4.1). **B)** Andesita afanítica con cristales pequeños de plagioclasa que presenta una textura "Vitrofirica" (TG-JB-73, Afloramiento #78, UTM: 772008 / 9824235. Ubicación ver MAPA 4.1)

El grupo de rocas involucradas en los depósitos de la DAD-Altar, presentan dos tipos de matriz relacionados a cada uno de los tipos de rocas analizadas. La

primera, muestra una matriz microcristalina formada por un 80% vol. constituida por microlitos de plagioclasa y vidrio intersticial, definiendo una textura pilotaxítica; las plagioclasas indican cierta dirección de flujo. La segunda, constituida por un 90% vol. de roca de una pasta vítrea de color negro-rojiza, definiendo a la roca una textura afanítica vitrofirica (FOTO 4.6).

Globalmente se puede decir que las rocas de la DAD-Altar están constituidos por dos tipos de rocas: la primera, por una andesita porfirítica-pilotaxítica con una asociación mineral constituida de **horblenda + plagioclasa >> piroxeno**; y la segunda por una andesita afanítica-vitrofirica con cristales finos de plagioclasa.

#### 4.1.3 Los dos depósitos de avalancha de escombros del Tungurahua (30 ka y 3 ka AP).

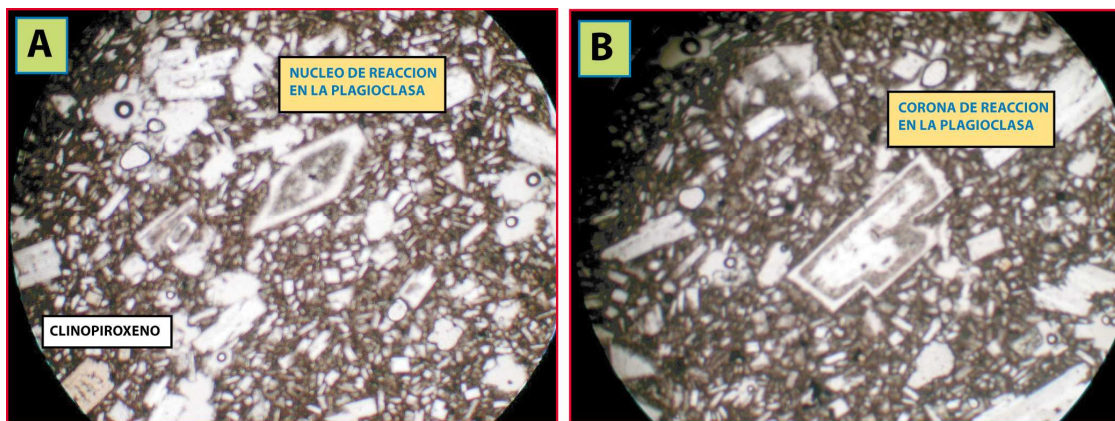
La evaluación microscópica de las muestras de mano de las avalanchas de escombros del volcán Tungurahua se la realiza en forma conjunta por cuanto pertenecen a un mismo edificio volcánico. Estas rocas muestra que los distintos bloques involucrados en la DAD-30 ka AP (26 muestras) son andesitas, en su mayoría porfiríticas y raramente afaníticas, de color gris claro hasta negro. Estas rocas tienen una asociación mineral conformada por plagioclasas, piroxenos, y anfíbol como mineral accesorio. Estos fenocristales se encuentran distribuidos en una matriz vítrea de color negro a gris claro. Las rocas que conforman los



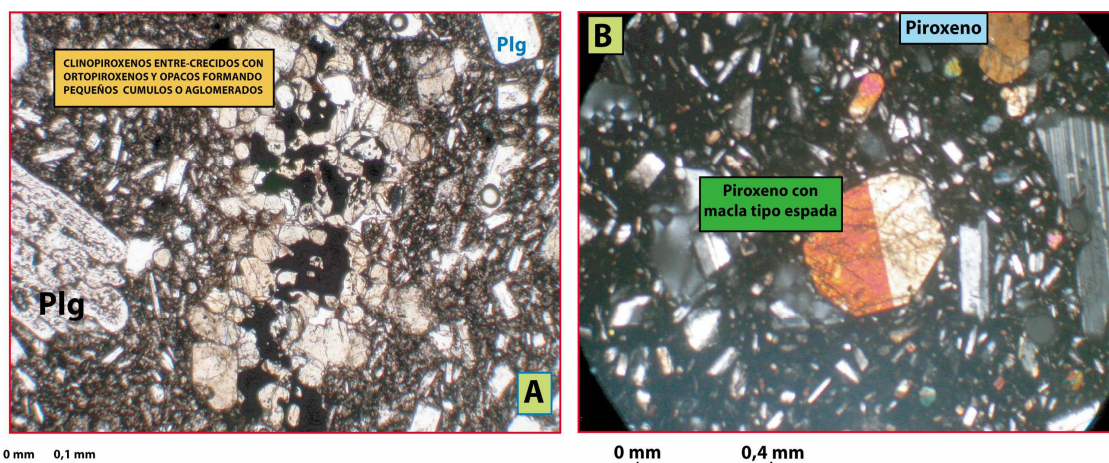
depósitos de la DAD-3 ka AP (14 muestras) se diferencian por la no presencia de anfíbol, y más bien, se caracterizan por que aquí el olivino está presente como mineral accesorio .

**Las plagioclasas**, mediante un análisis microscópicamente más detallado de 26 y 14 rocas de las DAD's del Tungurahua DAD-30 ka AP y DAD-3 ka AP respectivamente, muestra que la característica más importante es la abundancia en este fenocristal. El tamaño varía de 0.2 a 5 mm, con un contenido entre 40 % y 46 % vol. de la roca. Se presentan con macla polisintética y en su mayoría en forma euهدral, muchas veces alargados y prismáticos, así como también en cristales subhedrales, en menor proporción. Muy frecuente se observan coronas y núcleos de reacción (FOTO 4.7).

Adicionalmente las plagioclasas tanto de la DAD-30 ka y DAD-3 ka AP, se encuentran como microlitos dentro de una matriz micro-cristalina en un rango que varía entre 60 -70 % vol.



**FOTO 4.7:** Plagioclasas euهدrales presentes en la DAD-3 ka AP, que evidencian: **A)** Núcleos de reacción y **B)** Coronas de reacción. (TG-JB-74, Afloramiento # 79, UTM: 778644 / 9842451. Ubicación ver MAPA 4.1)



**FOTO 4.8: A)** Pequeños cúmulos formados por cristales de 0,1 mm entre-crecidos de clinopiroxenos y ortopiroxenos con opacos, presentes en las rocas de los distintos depósitos de avalancha de escombros del Tungurahua. (TG-JB-77 A, Afloramiento # 82, UTM: 778986 / 9843532) **B)** Con nicoles, Piroxeno de forma euédral que presenta la macla tipo “espiguilla” o tipo “espada” (TG-JB-34 A, Afloramiento # 35, UTM: 777884 / 9836780. Ubicación ver MAPA 4.1)

**El clinopiroxeno** (Augita), es el segundo fenocristal en abundancia en los diferentes depósitos de las DAD's del Tungurahua; con cristales entre 0.4 a 3.0 mm de tamaño y con un contenido que varía entre 8 % y 12 % vol. Estos fenocristales se presentan principalmente en forma subhedral y a veces redondeados, en ocasiones euédrales. Son de color verdoso con inclusiones de minerales opacos (posiblemente óxidos de Fe-Ti). Los clinopiroxenos también se presentan como microlitos (30% vol. en promedio) formando parte de una matriz microcristalina y en muchas ocasiones formando pequeños aglomerados con entre-crecimiento de ortopiroxenos, plagioclasas y opacos.

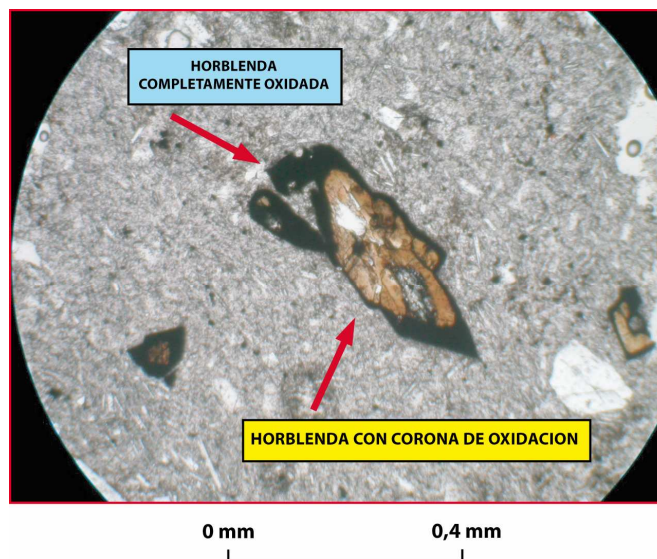
**El ortopiroxeno**, se presenta en cristales de tamaño variable entre 0.2 a 4.0 mm (1mm en promedio) para la DAD-30 ka AP, mientras que para la DAD-3 ka AP con cristales que varían en tamaño desde 0.2 a 0.8 mm (0.4mm en promedio). El porcentaje en volumen es de aproximadamente 8% en promedio. Los fenocristales de ortopiroxeno se presentan de color verdoso con pleocroísmo a rosado, subhedral en su mayoría, pocas veces anhedral y euédrales de forma prismática y tabulares, en ocasiones alargados.

En general los piroxenos presentes en estas rocas se muestran relativamente frescos sin evidencia de alteración, y están usualmente entre-crecidos formando pequeños cúmulos conjuntamente con minerales opacos, también presentan en ocasiones la macla tipo “espiguilla” o tipo “espada” (FOTO 4.8).

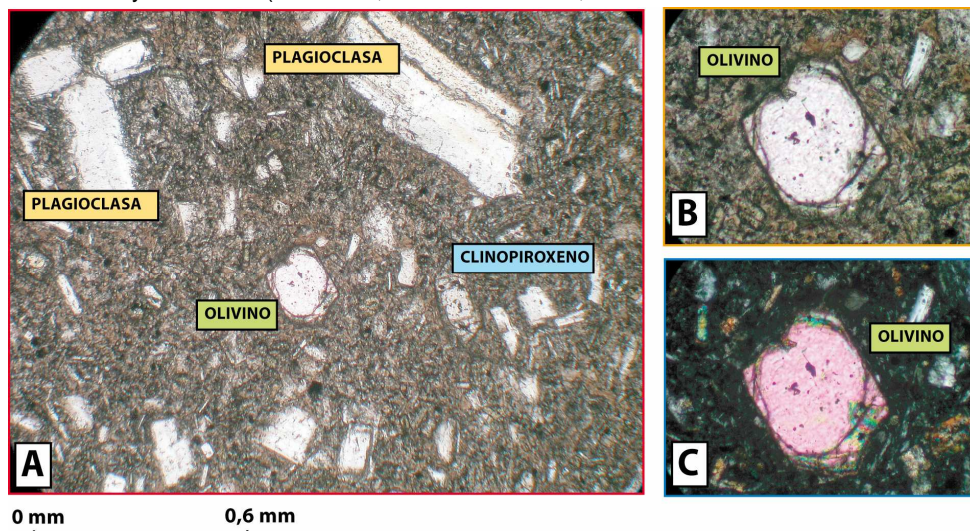
**Los minerales opacos** presentes en las rocas de los diferentes depósitos de las avalanchas de escombros son los óxidos de Fe-Ti. Los mismos que se muestran como cristales anhedral. Su tamaño es menor a 1 mm y en un 5% vol. en promedio de roca; también se presenta con cristales muy finos como inclusiones en las plagioclasas y piroxenos, y como microlitos formando parte de una matriz microcristalina.

Como **mineral accesorio** para las rocas de la DAD-30 ka AP y en ocasiones con hasta un 3% vol. de roca promedio es la horblenda, presente con cristales prismáticos y alargados de color café rojizo. Los fenocristales de horblenda muestran coronas de oxidación de color negro y en ocasiones se encuentran totalmente oxidados. Los fenocristales que en su mayoría son de geometría euhedral, y también subhedral son de un tamaño no mayor a 2 mm. (FOTO 4.9). En ocasiones los microlitos de plagioclasa y piroxenos forman estructuras de flujo bordeando los cristales de horblenda.

Mientras que para las rocas involucradas en los depósitos de la DAD-3 ka AP, como principal mineral accesorio, es el olivino. Este fenocristal se presenta incoloro y con alta birrefringencia, en cristales subhedrales entre 0.2 a 0.3 mm y 1% vol. promedio en la roca (FOTO 4.10). En ocasiones se presentan prismáticos y hexagonales, y entre-crecidos principalmente con los piroxenos.

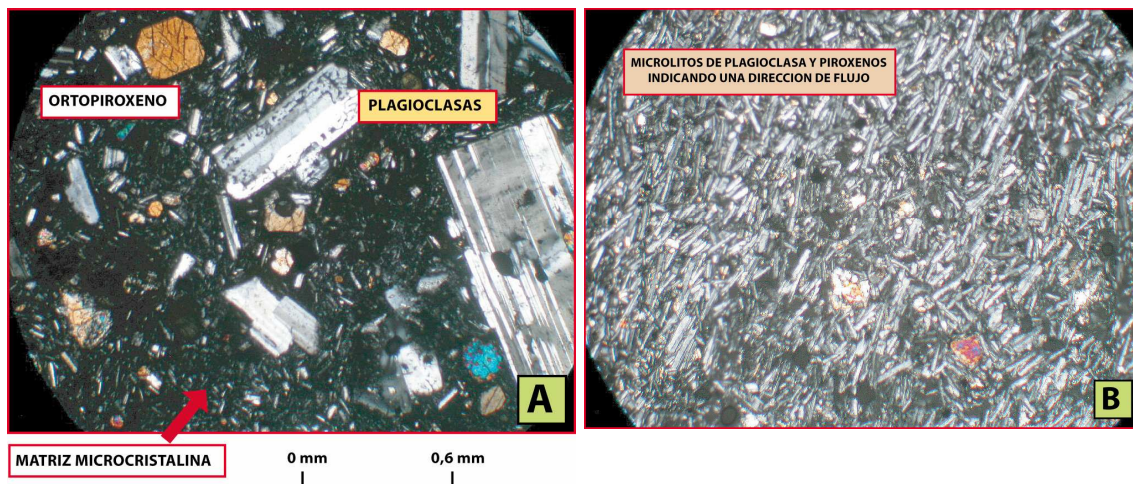


**FOTO 4.9:** Horblendas subhedrales (mineral accesorio en la DAD-30 ka AP) con anillos de oxidación de color negro, también completamente oxidadas. Nótese además el re-emplazamiento de matriz dentro de la horblenda de mayor tamaño. (TG-JB-23, Afloramiento # 18, UTM: 773340 / 9828900. Ubicación ver Mapa 4.1)



**FOTO 4.10:** **A)** Olivino de forma euhedral presente como mineral accesorio en las rocas de la **DAD-3 ka AP B)** y **C)** El fenocristal de olivino sin nicoles y con nicoles respectivamente. (TG-JB-77 A, B; Afloramiento #82, UTM: 778986 / 9843532. Ubicación ver Mapa 4.1)

La matriz en el grupo de rocas de la DAD's del Tungurahua, en su mayoría está constituida por micro-cristales subhedrales a euhedrales de plagioclasa, piroxenos y opacos entre-crecidos. Distribuidos en una pasta vítrea de color negro rojizo. Globalmente se puede decir que las rocas de las DAD's del Tungurahua presentan una textura porfirítica seriada con matriz vitrofídica intersertal y que en ocasiones también presentan una clara estructura fluidal (FOTO 4.11).



**FOTO 4.11:** Andesita de dos piroxenos y anfíbol como accesorio, común en los depósitos de las DAD's del Tungurahua. **A)** Andesita con textura Porfirítica seriada, **B)** Andesita con textura Traquítica.

En resumen, se puede decir, que las rocas de los diferentes depósitos de la DAD-30 ka AP es una andesita ocasionalmente con horblenda y con una asociación mineral compuesta por: ***plagioclasa + clinopiroxeno + ortopiroxeno***

± **opacos** ± **anfíbol**. La DAD-3 ka AP con una asociación mineral de **plagioclasa** + **clinopiroxeno** + **ortopiroxeno** ± **opacos** >> **olivino**. Los cuales se encuentran distribuidos en una matriz microcristalina que en ocasiones los microlitos indican una cierta de dirección de flujo. Los óxidos de Fe-Ti presentes como minerales opacos.

## 4.2 CARACTERIZACIÓN GEOQUÍMICA

En los volcanes que tienen un largo periodo evolutivo y en especial si presentan varias etapas de construcción, las rocas que forman parte de cada uno de sus edificios muestran características geoquímicas y petrográficas distintas entre sí (p.e. Cotopaxi (*Hall et al., 2005*), Huanguillaro (*Beate, 2003*), Imbabura (*Ruiz et al., 2003*), Pichincha (*Geotermia Italiana, 1989; Monzier et al., 2002*), Chimborazo (*Clapperton, 1990; Barba, 2006*), Tungurahua (*Hall et al., 1999, Le Pennec et al., 2006*). Reventador (*INECEL, 1989*); Sangay (*Monzier et al., 1999*), Mojanda Fuya Fuya (*Robin et al., 1997*), Cayambe (*Samaniego et al., 2005*) entre otros). En el caso particular del Tungurahua y considerando su periodo evolutivo, éste ha experimentado cambios petrográficos importantes que a su vez han sido confirmados gracias a estudios geoquímicos. Para el presente estudio geoquímico se han seleccionado las mismas 67 muestras (ver MAPA 4.1). El análisis químico de cada muestra fue realizado en el Laboratorio “Magmas et Volcans” (UMR 6524, OPGC) de la Universidad de “Blaise Pascal” en Clermont-Ferrand (Francia). El estudio y la interpretación de los datos se los realizó utilizando el software Igpét-06.

### 4.2.1 Geoquímica de las avalanchas de escombros de los volcanes Huisla y El Altar

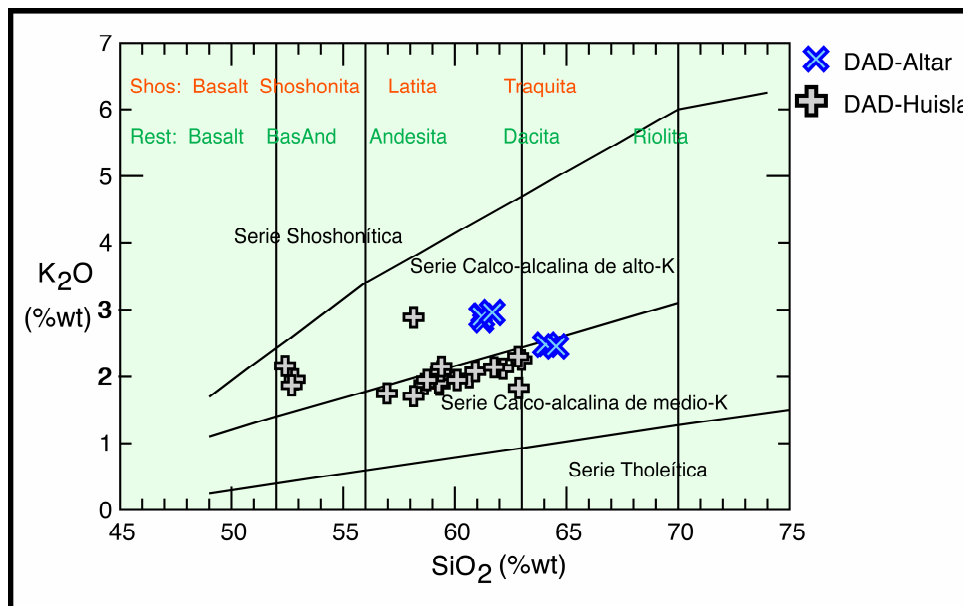
En el análisis de las rocas de la DAD-Huisla se utilizaron un total 22 rocas, mientras que para el análisis geoquímico de los depósitos de la DAD-Altar se utilizaron un total de 4 muestras de rocas recolectadas en las campañas de campo de este proyecto, la TG-JB-30 C, TG-JB-72 A y B y la TG-JB-73. Este

número de muestras representa los dos tipos de rocas encontradas en los diferentes afloramientos de los sectores de Pungal Grande, Río Blanco – El Recreo y Pungal – El Quinche, ubicados al Sur-oeste del volcán Tungurahua.

### Elementos Mayores y elementos en Traza

Analizando las rocas colectadas de la DAD-Huisla se puede decir, que el contenido de sílice varía entre 52% y 63% wt. Para las rocas de la DAD-Altar el rango se encuentra entre 61 y 65 % wt. (FIGURA 4.1). Utilizando el diagrama de clasificación para rocas volcánicas de *Pecerrillo & Taylor (1976)*, nos muestra que las rocas pertenecen a la serie calco-alkalina de medio-K, con una distribución en el campo de las andesitas con algunas andesitas básicas (FIGURA 4.1).

Realizando el mismo análisis para las rocas de la DAD-Altar, se observa que éstas se distribuyen dentro del campo calco-alkalino de alto-K, variando entre andesitas a dacitas subordinadas (FIGURA 4.2)



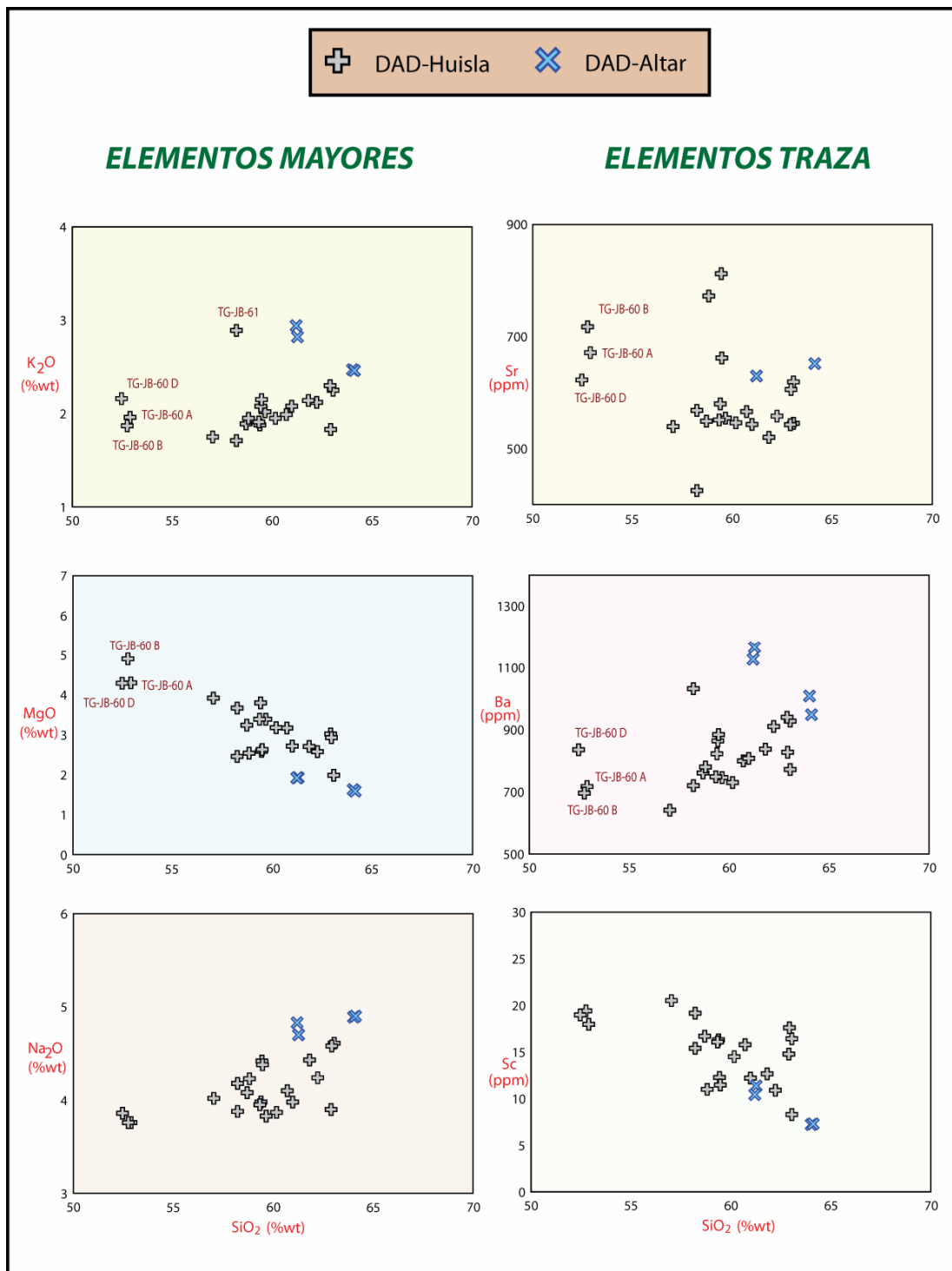
**FIGURA 4.1:** Clasificación de las rocas de la **DAD-Huisla**, y la **DAD-Altar**, utilizando el diagrama de clasificación de rocas volcánicas según *Pecerrillo & Taylor (1976)*.

Al utilizar los diagramas Harker para los elementos mayores y elementos en traza, se puede decir que el grupo principal de las rocas de la DAD-Huisla presentan un empobrecimiento en elementos como  $K_2O$ ,  $NaO_2$  y  $TiO_2$ , así como

también en Sr, Ba y Zr, mostrando enriquecimiento en elementos como MgO, CaO, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Sc, V, Cr, entre otros (FIGURA 4.2).

Muestras como la *TG-JB-60 A, B, D* (Afloramiento # 61, UTM: 777351 / 9854430, Ubicación ver Mapa 5.5) y la *TG-JB-61* (Afloramiento # 62, UTM: 776431 / 985505, Ubicación ver Mapa 4.1) muestran un patrón diferente a la tendencia principal que define el grupo de rocas de la DAD-Huisla, esto posiblemente debido a que la avalancha de escombros haya involucrado más de un edificio volcánico.

De la misma manera, y al utilizar los diagramas Harker, con respecto a las rocas de los diferentes depósitos de la DAD-Altar, se observa que éstas muestran un enriquecimiento en elementos como K<sub>2</sub>O, NaO<sub>2</sub>, Sr, Ba, los más principales y empobrecidas en MgO, CaO, Sc, Co, Ni, entre otros (FIGURA 4.2)



**FIGURA 4.2:** Diagramas Harker para elementos mayores y elementos en traza de las rocas de la DAD-Huisla y la DAD-Altar.

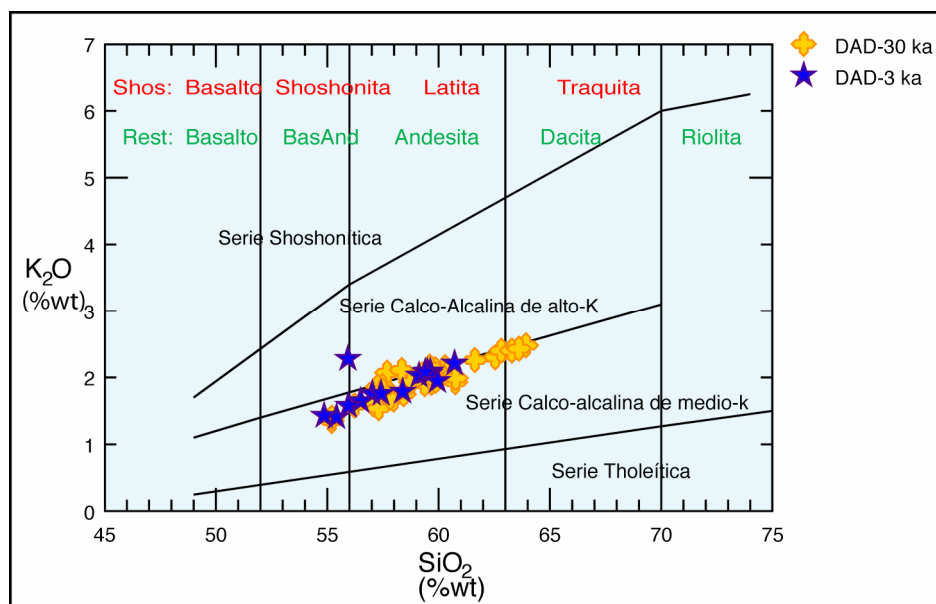


#### 4.2.2 Geoquímica de las dos avalanchas de escombros del Tungurahua (30 ka y 3 ka AP)

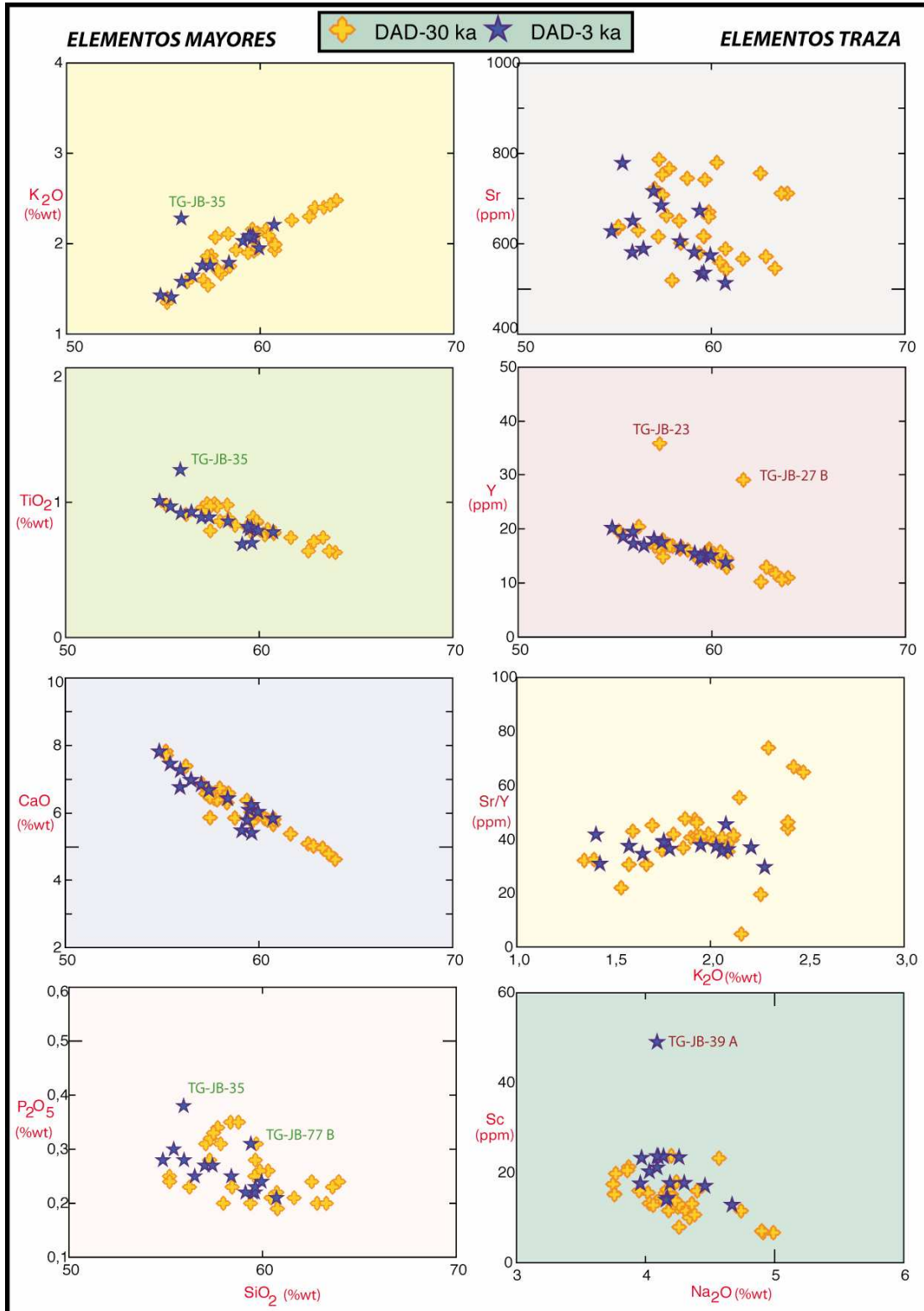
En el análisis de las rocas de las DAD-30 ka AP y DAD-3 ka AP se utilizaron un total de 40 muestras; 26 y 14 respectivamente, las cuales representan los afloramientos tipo de cada uno de los depósitos estudiados en el presente proyecto de titulación.

##### Elementos Mayores y elementos en Traza:

El rango de variación de la sílice en las rocas de la DAD-30 ka AP se encuentra entre 55% y 65% wt; mientras que para las rocas de la DAD-3 ka AP varía entre 54% a 61% wt. Utilizando el diagrama según la clasificación de rocas volcánicas de *Pecerrillo & Taylor (1976)*, estas rocas se encuentran en el campo calco-alcalino de medio-K. Las cuales varían desde andesitas básicas a dacitas subordinadas para la DAD-30 ka AP, y desde andesitas básicas hasta andesitas para la DAD-3 ka AP (FIGURA 4.3)



**FIGURA 4.3:** Clasificación de las rocas de los depósitos de la **DAD-30 ka AP** y la **DAD-3 ka AP**, utilizando el diagrama de clasificación de rocas volcánicas según *Pecerrillo & Taylor (1976)*.



**FIGURA 4.4:** Diagramas Harker y de Variación para elementos mayores y elementos en traza de las rocas de la DAD-30 ka AP y la DAD-3 ka AP

Con respecto a los elementos en traza, las rocas de las DAD's del Tungurahua presentan ligeras diferencias entre ellas. Sin embargo en elementos como el Sr y Sc los cuales, para las rocas de la DAD-30 ka AP se muestran enriquecidos y empobrecidos con respecto a la DAD-3 ka AP respectivamente forman dos tendencias debido principalmente a la cristalización de diferente plagioclasa. (FIGURA 4.4).

Por otro lado, estas rocas, DAD-30 ka AP y DAD-3 ka AP al igual que en los elementos mayores, también muestran una misma afinidad en el contenido de Y (FIGURA 4.4), V, Co, Ba, Zr entre los más importantes.

Cabe mencionar que en el análisis tanto para elementos mayores y elementos traza; algunas rocas como la *TG-JB-35* (Afloramiento # 10, UTM: 776800 / 9831400), *TG-JB-23* (Afloramiento # 15, UTM: 774620 / 9826710) *TG-JB-27 A* (Afloramiento # 23, UTM: 775700 / 9834000), *TG-JB-77 B* (Afloramiento # 82, UTM: 778986 / 9843532) y *TG-JB-39 A* (Afloramiento # 39, UTM: 778385 / 9842843), muestran o presentan un patrón en contenido diferente a la tendencia a la cual corresponde, posiblemente debido a la existencia de dos grupos de rocas en cada volcán (FIGURA 4.4, Ubicación MAPA 4.1), o debido al dinamismo del flujo , éste haya incorporado rocas de depósitos más antiguos.

## CAPITULO 6

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 6.1 CONCLUSIONES:

- El volcán Tungurahua, durante su historia geológica, ha experimentado por lo menos dos colapsos sectoriales, los cuales han generado sendas avalanchas de escombros, cuyos depósitos independientemente han rellanado en parte los valles de los ríos Patate y Chambo.
- Según estudios recientes (*Le Pennec et al., 2006, Jaya, 2004 y Hall et al., 1999*), se conoce que la generación de los dos colapsos sectoriales ocurrieron, uno a ~ 30 ka AP ( $^{14}\text{C}$ , AMS), debido a una desestabilización inducida por una intrusión de un cripto-domo silíceo; y la segunda a ~ 3 ka AP, que estuvo acompañada por un “blast volcánico” y una columna eruptiva de carácter subpliniana de aproximadamente 25 km de altura que según estudios petrológicos fue disparado por un evento de mezcla de magmas .
- Los depósitos de la DAD-30 ka AP cubrieron un área total de ~ 63 km<sup>2</sup> (6300 Ha) y debido a agentes climáticos y volcánicos han sufrido una importante erosión; en la actualidad el área de cobertura corresponde a ~43 km<sup>2</sup> (4300 Ha).
- Considerando el área original de la cobertura del depósito de la DAD-30 ka AP, un 20 % de factor de dilatación y con un espesor promedio del depósito de 200 metros, se estimó que el volumen de éste corresponde a ~ 10 km<sup>3</sup>.
- Debido a la erosión y/o acumulación de material volcánico más reciente que 30 ka AP no es posible conocer o estimar el trazo de la caldera de avalancha correspondiente a este evento.

- El área original correspondiente al depósito de la DAD-3 ka AP es de 23 km<sup>2</sup> (2300 Ha), los mismos que producto de la erosión climática y volcánica, en la actualidad corresponde a ~ 10 km<sup>2</sup> (1000 Ha)
- Considerando el área original de distribución y cobertura de los depósitos de la DAD-3ka AP, se estimó un volumen de material de aproximadamente 2,8 km<sup>3</sup>, (20% de factor de dilatación, 150 metros de espesor promedio); y tomando en cuenta el trazo inferido de la posible caldera de colapso definida por *Molina et al.* (2005) y *Le Pennec et al.* (2006), se calculó que el material colapsado corresponde a 3,1 km<sup>3</sup>.
- Petrográficamente las rocas de la DAD-30 ka AP se distinguen de las rocas de la DAD-3 ka AP en su contenido (% vol) de fenocristales de plagioclasas y piroxenos (clinopiroxenos y ortopiroxenos), ya que los primeros son menos abundantes que en el segundo grupo de rocas. La diferencia petrográfica más clara, es la presencia de horblenda y olivino, a pesar que ambos grupos contienen anfíbol como mineral accesorio, éste es más frecuente en las rocas de la DAD-30 ka AP, mientras que el olivino solo está presente en las rocas de la DAD-3 ka AP
- Geoquímicamente, las rocas de la DAD-30 ka AP y 3 ka AP son rocas calco-alcalinas de medio-K, diferentes en que, el primer grupo llegan desde andesitas básicas hasta dacitas, mientras que el segundo hasta andesitas. Sin embargo ambos grupos de rocas forman una sola serie geoquímica. (Según el gráfico de *Peccerillo y Taylor, 1976*). Utilizando diagramas Harker y diagramas comparativos para elementos mayores y elementos en traza no se observa una diferencia clara entre las rocas de las DAD's del Tungurahua (p.e. K<sub>2</sub>O, TiO<sub>2</sub>, Y, S). Comparando geoquímicamente con las diferentes rocas de los edificios del Tungurahua-I y II; las rocas de las DAD's tienen cierta afinidad con las rocas del Tungurahua-II, y conjuntamente son empobrecidas en K<sub>2</sub>O, TiO<sub>2</sub>, Ba, Y, Zr y enriquecidas en CaO y Y que las rocas del Tungurahua-I.

- Realizando el análisis petrográfico y geoquímico de las rocas involucradas en los depósitos de las avalanchas de escombros en el presente proyecto de titulación se ha determinado que, los depósitos de la DAD-30 ka AP no pertenecen al colapso del Tungurahua-I, y más bien corresponden al colapso del Tungurahua-II.
- Al comparar petrográficamente y geoquímicamente las rocas de los depósitos de avalancha de escombros identificados a lo largo del valle del río Patate con las rocas recolectadas en las paredes del edificio volcánico del Huisla son similares en el contenido de algunos minerales (p.e. Horblenda) y en el contenido (%wt) de varios elementos mayores (óxidos) y elementos en traza. Por lo tanto las rocas de los depósitos de avalancha de escombros a lo largo del valle del Río Patate corresponde a una DAD del volcán Huisla, la cual involucra por lo menos dos edificios volcánicos, según sus series geoquímicas.
- Si comparamos las rocas de la DAD-Huisla y las de las DAD's del Tungurahua se observa diferencias claras, evidenciadas por una importante presencia de horblenda ( $\geq 10\%$  vol) más frecuente en las rocas de la DAD-Huisla. Caso contrario sucede con otros minerales como las plagioclasas, clinopiroxenos, ortopiroxenos, los cuales son más frecuentes en las rocas de los depósitos de las DAD's del Tungurahua.
- Geoquímicamente las rocas de la DAD-Huisla y las DAD's del Tungurahua son rocas de la serie calco-alcalina de medio-K, y comparadas con las rocas de los edificios volcánicos del Tungurahua son diferentes únicamente de las rocas del Tungurahua-I. Con relación a los elementos mayores (óxidos) y elementos en traza, las rocas de la DAD-Huisla son enriquecidas en elementos como  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , Y, y empobrecidas en CaO, Cr, Ba, Zr y Sr con respecto a las rocas del Tungurahua I y II.
- Considerando las diferencias petrográficas y geoquímicas de las rocas involucradas en el presente análisis, se confirma que las rocas de los distintos

depósitos de avalancha de escombros identificados a lo largo del valle del río Patate, no pertenecen a ninguno de los edificios del Tungurahua.

- Conociendo que la DAD-Huisla se extiende a lo largo del valle del río Patate y que originalmente ocupa poblados como Patate, Pelileo, Puñapí, Huambaló los más importantes, se estimó un área de cobertura de ~ 66 km<sup>2</sup> (6600 Ha) y que posiblemente el escarpe de avalancha está formada por la interpolación de las colinas: Loma Arrayán, Padre Loma y Lomoturcu.
- Petrográficamente las rocas del sector de Pungal-Grande (DAD-Altar) corresponden a dos facies diferentes, la primera, una andesita con un % vol de horblenda mayor al 10% con casi nulo contenido de piroxenos, y la segunda, una roca andesita conformada por más de 90% de vidrio con micro-cristales de plagioclasas. Geoquímicamente estas rocas pertenecen a la serie calco-alcalina de alto-K y según el gráfico de clasificación de rocas volcánicas de Peccerillo y Taylor (1976), se encuentran dentro del campo de las dacitas (65% wt SiO<sub>2</sub>), y según los diagramas Harker, éstas presentan un enriquecimiento en elementos como TiO<sub>2</sub>, K<sub>2</sub>O y Co; y un empobrecimiento en CaO, MgO, Ba y Zr con respecto a las rocas de las DAD's del Tungurahua.
- Los depósitos de avalancha de escombros identificados en el valle del río Chambo, a partir del sector del Pungal-Grande, petrográfica y geoquímicamente no corresponde a ningún evento de colapso del Tungurahua, así como también a ninguna de las rocas de los edificios volcánicos; más bien corresponden a un evento relacionado con el volcán El Altar ya que petrográfica y geoquímicamente corresponden a la misma serie geoquímica de las rocas de este edificio, pero a la serie más diferenciada.
- Los depósitos de las DAD's del Tungurahua únicamente se distribuyen a lo largo del valle del río Chambo y parte del valle del río Patate (Las Juntas), los cuales a sus extremos avanzan hasta el sector de Cardompamba al Norte hasta el sector de Pungal-Grande al Sur-occidente.

- La cartografía realizada en el presente estudio de investigación ayuda a definir de mejor manera los límites relacionados a un evento de avalancha de escombros en el volcán Tungurahua, en especial el límite Norte. Con esto se contribuye en la zonificación de futuros mapas de peligros asociados al volcán Tungurahua.

## **6.2 RECOMENDACIONES:**

- ◆ Realizar un estudio petrográfico y geoquímico más detallado de las rocas que conforman los diferentes edificios volcánicos del Tungurahua, así como también determinar edades de los edificios para relacionar con las edades de los colapsos sectoriales aquí estudiados. Este estudio debe ser enfocado más hacia los flancos Oriental y Sur del volcán, ya que en la actualidad solo se conoce la geología de los últimos 3 ka, la cual ha sido estudiada únicamente hacia los flancos Nor-Noroccidental del volcán.
- ◆ Una vez calculado el volumen aproximado del depósito real y del material colapsado del Tungurahua-3 ka AP, se recomienda realizar una modelación de flujo, con el objetivo de comparar volúmenes y áreas cartografiadas en relación a los resultados del modelaje.
- ◆ Debido a la cobertura de material volcánico más reciente que 30 ka AP no fue posible estimar la cicatriz de la avalancha de la DAD-30 ka AP, y conociendo el volumen del depósito real, se propone realizar un modelaje similar al de la DAD-3 ka AP, para poder estimar la forma, dirección y magnitud de la caldera de colapso.
- ◆ Conociendo que los depósitos de avalancha de escombros a lo largo del valle del río Patate pertenecen a un evento del volcán Huisla, se necesita realizar un estudio geológico a mayor detalle para conocer más de la dinámica que presentó este volcán a lo largo de su historia geológica, puesto que, sobreyaciendo a la DAD-Huisla se encuentran unidades de tefra y cenizas que posiblemente también son correlacionables con el volcán Huisla.



- ◆ No se conoce muy bien la evolución de la DAD-Huisla y DAD-Altar, para lo cual se necesita afinar la cartografía, realizar estudios granulométricos, estudios estructurales a más detalle, etc., para determinar, en el caso de El Altar, los posibles causas, drenajes, modo de transporte y emplazamiento de la avalancha de escombros.
- ◆ No se conoce las edades de los colapsos de las DAD-Huisla y DAD-Altar, para lo cual se necesita realizar un estudio de campo a mayor detalle, en el cual se enfoque en encontrar material datable, y así clasificar estratigráficamente los depósitos de avalanchas de escombros identificados a lo largo de los valles de los ríos Patate y Chambo.

## REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS:

- AALTO K. & MILLER W., 1999. Sedimentology of the Pliocene Upper Onzole Formation, an inner-trench slope succession in northwestern Ecuador, J. S. Am. Earth Sci., vol 12, pp 69-85
- ALMEIDA E. & RAMON P., 1991. Las erupciones históricas del Volcán Tungurahua. Boletín de Geología Ecuatoriana, 2 (1), p. 89-138
- ARCULUS, R., LA PIERRE, H. & JAILLARD, E., 1999. Gechemical Window in Subduction and Accretion Processes: Raspas Metamorphic Complex, Ecuador. Geology vol. 27, pp. 547-55.
- ASPDEN, J. & LITHERLAND, M., 1992. The geology and Mesozoic collisional history of the Cordillera Real. Ecuador. Tectonophysics 205; pp 187-204
- ASPDEN, J., FORTEY, N., LITHERLAND, M., VITERI, F. & HARRISON, M., 1992. Regional S-type granites in the Ecuadorian Andes. Possible remnants of the breakup of western Gondwana. Journal of South American Earth Sciences, vol 6, pp. 123-132.
- ASPDEN, J.A., HARRISON, S.H. & RUNDLE, C.C., 1992a. New chronological control for the tectono-magmatic evolution of the metamorphic basement, Cordillera Real and El Oro Province of Ecuador. J. S. Am. Earth Sci, 6(1-2): 77-96.
- ASPDEN, J.A., FORTEY, N., LITHERLAND, M., VITERI, F. & HARRISON, S.M., 1992b. Regional S-type granites in the Ecuadorian Andes: Possible remnants of the breakup of western Gondwana. J. S. Am. Earth Sci, 6(3): 123-132.
- ASPDEN, J., JEMIELITA, R., LITHERLAND, M., BERMUDEZ, R., BOLAÑOS, J., POZO, M., VITERI, F. & CELLERI, M., 1994. Geological and Metal

Ocurrence maps of the Northern Cordillera Real , Metamorphic Belt, Ecuador. Escala 1:500000. Compilado por la BGS y CODIGEM.

- ASPEN, J., BONILLA, W. & DUQUE, P., 1995. The El Oro metamorphic complex, Ecuador: geology and economic mineral deposits., Overseas Geology and Mineral Resources, British Geological Survey, No. 67, 63p.
- BABY, P., RIVADENEIRA, M. & BARRAGÁN, R., 2004. La Cuenca Oriente: Geología y Petróleo, Petroecuador, IRD, IFEA, 1<sup>ra</sup> edición., Petroproducción Quito, 295 p.
- BACHELERY, P., ROBINEAU, B., COURTEAUD, M. & SAVINS, S., 2003. Avalanches de debris sur le flanc occidental du volcán-boulier Piton des Beiges (Reunion). Bull. Soc. Geol. Fr. V, 174; pp. 125-140
- BARBA, D., 2006. Estudio Volcanológico del Complejo Volcánico Chimborazo-Ecuador. Tesis de Grado, Escuela Politécnica Nacional, 216 pp.
- BARBERI, F., COLTELLI, M., FERRARA, G., INNOCENTI, F., NAVARRO, J. M. & SANTACROCE, R., 1988. Plio-Quaternary volcanism in Ecuador. Geol. Mag., v. 125, p.1-14.
- BATES R. L. & JACKSON, J. A., 1980. Glossary of Geology, 2<sup>nd</sup> edition: Falls Church, Virginia, American Geological Institute, 751 pages.
- BEATE, B., MONZIER, M., SPINKIS, R., COTTON, J., SILVA, J., BOURDON, E. & EISSEN, J. P., 2001. Mio-Pliocene adakite generation related to flat subduction in Southern Ecuador. The Quimsacocha volcanic center. Earth and Planetary Sciences Letters, v. 192, p. 561-570
- BEATE, B., 2003. La Avalancha de Escombros del Volcán Huanguillaro, Complejo volcánico Chachimbiro, Cordillera Occidental, Provincia de Imbabura. Quintas Jornadas en Ciencias de la Tierra. Pp 8.

- BELOUSOV, A., BELOUSOVA, M. & VOIGTH, B., 1999. Multiple edifice failures, debris avalanches and associated eruptions in Holocene history of Shiveluch volcano, Kamchatka, Russia. Bull. Vol, 66; pp. 324-342
- BENITEZ, S., ORDOÑEZ, M. & VILLACRES, J., 1991. Estratigrafía de la Cuenca de Manabí: Nuevas dataciones y definiciones formacionales. Memorias VI Congreso Ecuatoriano en Geología, Minas, Petróleos y Geotécnia.
- BENITEZ, S., JAILLARD, E., ORDOÑEZ, M. & JIMENEZ, M., 1993. Late Cretaceous to Eocene tectonic sedimentary evolution of southern coastal Ecuador: Geodynamic implications, paper presented at 2<sup>nd</sup> International Symposium of Andean Geodynamics, Inst de Rech. Pour le Dev., Oxford, U.K., 21-23 Sept.
- BENITEZ, S., 1995. Evolution géodynamique de la Province Cotiere Sud-équatorienne au Crétacé supérieure-Tertiaire., Géologie Alpine, tomo 71, Université Joseph Fourier, Grenoble, Francia, 173p.
- BERNARD, B., 2005. Structural analysis and experimental investigation of the Perrier debris avalanche deposits (French Massif Central). MASTER RECHERCHE « MAGMAS et VOLCANS ». Université Blaise Pascal – Clermont Ferrand II; 49 pp.
- BOURDON B., EISSEN J. P., MONZIER M., ROBIN C., MARTIN H., COTTON J. & HALL M.L., 2002. Adakite-like Lavas from Antisana Volcano (Ecuador): Evidence for Slab Melt Metasomatism beneath the Andean Northern Volcanic Zone. J. Petrol. Vol. 43, pp. 199-217.
- BOURDON B., EISSEN J. P., GUTSCHER M.-A., MONZIER M., HALL M.L. & COTTEN J., 2003. Magmatic Response to Early Aseismic Ridge Subduction:

the Ecuadorian Margin Case (South America). *Earth Planet Sci. Lett.* Vol. 205 pp. 123-138.

- BOURGOIS, J., CALLE, B., TOURNON, J. & TOUSSAINT J.-F., 1982. The Andean ophiolitic megastructures on the Buga-Buenaventura transverse (Western Cordillera- Valle, Colombia). *Tectonophysics*, vol. 82, p. 207-229.
- BOURGOIS, J., TOUSSAINT, J.-F., GONZALES, H., AZEMA, J., CALLE, B., DESMET, A., MURCIA, A. L., ACEVELO, P. A., PARRA, E. & TOURNON, J., 1987. Geological history of the Cretaceous ophiolitic complexes of northwestern South America (Western and Central Codilleras of the Colombia), *Tectonophysics*, vol. 143, p. 307-327
- BOURGOIS, J., EGÜEZ, A., BUTTERLIN, J. & De WEVER, P., 1990. Evolution géodynamique de la Coridillère Occidentale des Andes d'Equateur: La découverte de la Formation éocène d'Apagua, *C. R. Acad. Sci.*, 311 (2), pp.173-180
- CANTALAMESA, G. & DI CELMA, C., 2004. Origin and chronology of the Pleistocene marine terranes of Isla de la Plata and of flat, gently dipping surfaces of the southern coast of Cabo San Lorenzo (Manabí, Ecuador), *J. S. Am. Earth Sci.*, vol. 16, p. 633-648
- COLLOT, J., CHARVIS, P., GUTSCHER, M. & OPERTO, S., 2002. Exploring the Ecuador-Colombia Active Margin and interplate seismogenic Zone. *EOS, Transactions, AGU*; vol. 83; N° 17; pp. 185-190.
- COSMA, L. LAPIERRE, H., JAILLARD, E., LAUBACHER, G., BOSCH, D., DESMET, A., MABERTI, M. & GABRIELE, P., 1998. Pétrographie et géochimie des unites magmatiques de la Cordillère Occidentale d'Equateur (0°30' S): implication tectoniques., *Bull. Soc. Geol.*, France, t. 169, No. 6. pp. 739-751.

- CLAPPERTON, CH., 1990. Glacial and volcanic geomorphology of the Chimborazo and Carihuairazo Massif, Ecuadorian Andes. Transactions of the Royal Society of Edinburgh: Earth Science; Vol. 81; pp 91-116.
- CLAPPERTON, CH. & MCEWAN C., 1993. The Quaternary Geology and Geomorphology of South America. Elsevier, Amsterdam, 779 pp.
- CRANDELL, D. R., 1971. Postglacial lahars from Mount Rainer Volcano, Washington: U.S. Geological Survey Professional Paper 667, 73 p.
- CRANDELL, D. R., 1989. Gigantic debris avalanche of Pleistocene age from ancestral Mount Shasta volcano, California, and debris-avalanche hazard zonation. U.S. Geological Survey Professional Paper, 1861, 32 pp.
- CRUZ-MERMY, D., 2002. L'avalanche de debris. 3000 ans BP, au volcan Tungurahua (Equateur). Mémoire d' Ingénieur Géologue de l'IGAL, núm. 162; 163 pp.
- DALY, M. C., 1989. Correlation between Nazca Farallon plate kinematics and forearc basin evolution in Ecuador. Tectonics, vol. 8, p. 769-790
- DAVISON, J. P., REED, WALTER E. & DAVIS PAUL M., 2001. Exploring Earth: An Introduction to Physical Geology. New Jersey, Prentice Hall.
- DUNKLEY, P. & GAIBOR, H., 1997. Geology of the Cordillera Occidental of Ecuador between 2° S y 3°S. PRODEMINDA; Report N° 2 ; CODIGEM-BGS.
- EGO, F., 1995a. Accommodation de la convergence oblique dans une chaîne de type cordillère: Les Andes d'Equateur. These de Doctorat. Université Paris XI Orsay; 281 pp

- EGO, F., SEBRIER, M., LAVENU, A., YEPEZ, H. & EGÜEZ A., 1996. Quaternary state of stress in the Northern Andes and the restraining bend model for the Ecuadorian Andes., *Tectonophysics*, 259, p. 101-136.
- EGÜEZ, A. & POMA, O., 2001, La Cuenca Alamor-Lancones en el contexto geodinámico de los Andes de Huancabamba, SW Ecuador., IV Jorn. Ciencias de la Tierra, EPN, Quito, pp. 19-22.
- EISSEN, J. P., BEATE, B., HALL, M. LARAQUE, A., FRANCOU, B., CACERES, B., MONZIER, M., COTTEN, J., ANDRADE, D., CERON, C., HIDALGO, S. & MUÑOZ, T., 2004. El deslave del 13 de octubre del 200 del volcán El Altar. *Investigaciones en Geociencias*, Instituto Geofísico – Escuela Politécnica Nacional. Vol 1, pp. 44-50.
- FEININGER, T., 1980. La Geología Histórica del Cretácico y Paleógeno de la Costa Ecuatoriana. *Rev. Politécnica*, Vol V, N°2, P. 7-46.
- FRANCIS, P. W. & WELLS, G. L., 1988. Landsat thematic mapper observations of debris avalanche deposits in the Central Andes, *Bulletin Volcanology.*, v. 50, p. 258-278.
- GARRISON J. M., DAVISON J.P., MOTHESS P. & HALL M. L., 2000. An Alternative to Slab Melting in the NVZ: Amphibolite Melting at Cotopaxi Volcano, Ecuador. *Eos, Transaction, American Geophysical Union* Rev.81 vol.48: 1309
- GILL J. G., 1981. *Orogenic Andesites and Plate Tectonics*. Berlin, Heidelberg, New York, Springer-Verlag. 390
- GLICKEN H. X., 1991. Sedimentary architecture of large volcanic-debris avalanches. In *Sedimentation in Volcanic Settings*. SEPM Spec. Publication, v., 45, p. 99-106.

- GLICKEN, H. X., 1996. Rockslide-debris avalanche of May 18, 1980. Mount St. Helens volcano. Washington. U. S. Geological Survey, Open File Report 96-677, 90 pp.
- GRAINDORGE, D., CALAHORRANO, A., CHARVIS, P., COLLOT, J-Y. & BETHOUX, N., 2004. Deep structures of the Ecuador convergent margin and the Carnegie Ridge, possible consequence on great earthquakes recurrence interval. *Geophys. Res. Lett.*, 31 (L04603, doi: 10.1029/2003GL018803)
- GUILLER, B., CHATELAIN, J. L., JAILLARD, E., YEPES, H., POUPINET, G. & FELS, J. F., 2001. Seismological evidence of the geometry of the orogenic system in central-northern Ecuador (South America), *Geophys. Res. Lett.*, 28 (19), 3749-3752
- GUTSCHER, M., MALAVIEILLE, J., LALLEMAND, S. & COLLOT, J., 1999. Tectonic segmentation of the North Andean margin: impact of the Carnegie Ridge collision., *Earth and Planetary Science Letters* 168, pp. 255-270.
- HALL, M. & BEATE, B., 1991. El volcanismo Plio-Cuaternario en los Andes de Ecuador., *Estudios de Geografía*, v. 4, Corporación Editora Nacional-Colegio de Geógrafos del Ecuador, p. 5-17.
- HALL, M., ROBIN, C., BEATE, B., MOTHE, P. & MONZIER, M., 1999. Tungurahua Volcan, Ecuador: structure eruptive history and hazards. *Journal of Volcanology and Geothermal research*, v. 91, p. 1-21.
- HUNGERBÜHLER, D., STEINMANN, M., WINKLER, W., SEWARD, D., EGÜEZ, A., PETERSON, D., HELG, U. & HAMMER, C., 2002. Neogene stratigraphy and Andean geodynamics of southern Ecuador., *Earth Sci. Rew.*, 57, p. 75-124.



- INECEL, 1989. Proyecto hidroeléctrico San Francisco: informe Final de Vulcanología, Reporte no publicado. República del Ecuador, Ministerio de Energía y Minas. 123p.
- INSTITUTO ECUATORIANO DE MINERIA-GEOTERMIA ITALIANA-ESCUELA POLITECNICA DEL EJERCITO, 1989. Mapa Geológico del volcán Guagua Pichincha (escala 1:50000), (F. Barberi, Supervisor); Convenio de Cooperación Técnica Ecuador-Italia
- JAILLARD, E., ORDOÑEZ, M., BENITEZ, S., BERRONES, G., JIMENEZ, N., MONTENEGRO, G. & ZAMBRANO, I., 1995. Basin development in an accretionary, oceanic-floored fore-arc setting; southern coastal Ecuador during Late Cretaceous-late Eocene time., In: A. J. Tankard, R. Suárez S., and H. J. Welsink, petroleum basins of South America., AAPG, Memoir 62, pp. 615-631.
- JAILLARD, E., ORDOÑEZ, M., BERRONES, G., BENGTON, P., BONHOMME, M., JIMENEZ, N. & ZAMBRANO, I., 1996. Sedimentary and tectonic evolution of the arc zone of southwestern Ecuador during late Cretaceous and early Tertiary times. J. S. Am. Earth Sci, v. 9, p. 131-140.
- JAILLARD, E., BENITEZ, S. & MASCLE, G., 1997. Les deformations paléogènes de la zone d'avant-arc sub-équatorienne en relation avec l'évolution géodynamique. Bull. Soc. Geol. Fr., 168(4), 403-412
- JAILLARD, E., LAUBACHER, G., BENGTON, P., DHONDT, A. & BULOT, L., 1999. Stratigraphy and evolution of the Cretaceous forearc Celica-Lancones basin of southwestern Ecuador., J. S. Am. Earth Sci, v. 12, p. 51-68.
- JAILLARD, E., ORDÓÑEZ, M., SUÁREZ, J., TORO, J., IZA, D. & LUGO, W., 2004. Stratigraphy of the late Cretaceous-Paleogene deposits of the Cordillera Occidental of central Ecuador: geodynamic implications. J. S. Am. Earth Sci, 17(1): 49-58.

- JAILLARD, E. & TORO, J., 2005. Provenance of the Upper Cretaceous to upper Eocene clastic sediments of the Western Cordillera of Ecuador: Geodynamic implications. *Andean Geodynamics*, 399(1-4): 279-292.
- JAYA, D., LE PENNEC, J.-L., TRONCOSO, L. & SAMANIEGO, P., 2003. Depósito y magnitud de un evento explosivo mayor asociado al colapso del volcán Tungurahua en el Holoceno. *Quintas Jornadas en Ciencias de La Tierra, Quito, Extended Abstracts volumen*, 82-84.
- JAYA, D., 2004. El Colapso del volcán Tungurahua en el Holoceno Superior: Análisis de estabilidad y dinámismos explosivos asociados. Tesis de Grado. Escuela Politécnica Nacional-Quito., 140p.
- JAYA, D., LE PENNEC., J.-L., SAMANIEGO, P. & TRONCOSO, L., 2006. A stability analysis of Tungurahua volcano (Ecuador) prior to its 3,000 y B.P. flank failure: implication for hazard assessment. *International Conference "Cities on Volcanoes 4"*, January 23-27 2006, Quito. Abstracts volume.
- KERLE, N. & van WYK deVRIES, B., 2001. The 1998 debris avalanche at Casita volcano, Nicaragua- investigation of structural deformation as the cause of slope instability using remote sensing. *J. Vol. Geoth. Res. V*, 105; pp. 49-63.
- KILIAN R., HEGNER E., FORTIER S. & SATIR M. 1995. Magma Evolution within the Accretionary Mafic Basement of the Quaternary Chimborazo and Associated Volcanoes (Western Ecuador). *Revista Geológica Chile. Vol.22/2* pp. 203-218
- LA PIERRE, H., 2000. Multiple plume events in the genesis of the of the peri-Caribbean Cretaceous oceanic plateau province. *J. Geophys. Res.*, 105, 8403-8421
- LAVENU, A., NOBLET, CH., BONHOMME, M., EGÜEZ, A., DUGAS, F. & VIVIER, G., 1992. New K/Ar age dates of Neogene and Quaternary volcanic

rocks from the Ecuadorian Andes: Implications for the relationship between sedimentation, volcanism and tectonics., *Journal of South America Earth Sciences*, Vol. 5, No. 3/4 p. 309-320.

- LE PENNEC, J.-L., JAYA, D., SAMANIEGO, P., VAN DER PLICHT, J., YEPES, H., HALL, M. L., RAMON, P., MOTHESE, P. & EGRED, J., 2004 a. A reconstruction of the historical eruptions of Tungurahua volcano, Ecuadorian Andes. "IAVCEI General Assembly", Pucón, Chile, abstracts CD.
- LE PENNEC, J. L., SAMANIEGO, P., EISSEN, J. P., HALL, M., MOLINA, I., ROBIN, C., MOTHESE, P. YEPEZ, H., RAMÓN, P., MONZIER. M. & EGRED, J., 2005. Los Peligros Volcánicos asociados con el Tungurahua. Serie: Los Peligros Volcánicos en el Ecuador., Corporación Editora Nacional. No 1, Segunda Edición., IG-EPN, IRD., 114p.
- LE PENNEC, J. L., HALL, M., ROBIN, C. & BARTOMIOLI, E., 2006. Tungurahua Volcano, Late Holocene Activity. Field Guide, Fourth Conference Cities on Volcanoes 4. Quito-Ecuador.
- LE PENNEC, J.-L., JAYA, D. & VAN DER PLICHT, J., 2006 a. Recurrence pattern of Late Holocene eruptions al Tungurahua volcano (Ecuador) revealed by radio-carbon dating of charcoal in pyroclastic flow deposits. International Conference "Cities on Volcanoes 4" January 23-27 2006, Quito. Abstracts volume.
- LEYRIT, H. & MONTENEAT, C., 2000. "Volcaniclastic rocks from magmas to sediments, Flank collapse and debris avalanches deposits", Gordon and Breach Science Publishers, p. 111-129.
- LITHERLAND, M., ASPEN, J., & JEMIELITA, R., 1994. The Metamorphic Belts of Ecuador., British Geological Survey, Overseas Memoir 11, 147p.

- LONSDALE, P. 1978. Ecuadorian Subduction System., Bull. Am. Assoc. Pet. Geol., 62, pp. 2454-2477.
- LONSDALE, P. & KLITSGORT, K., 1978. Structure and tectonic history of the eastern Panama basin. Geol. Soc. Of America; Bull. 89 pp.1-9
- LUTGENS, T., 1999. Una introducción a la Geología Física. Madrid
- MAMBERTI, H., LAPIERRE, H., BOSH, D., JAILLARD, E., ETHIEN, R., HERNANDEZ, J. & POLVÉ, M., 2003. Accreted fragments of the Late Cretaceous Caribbean-Colombia Plateau in Ecuador, Lithos. Vol. 66, p. 173-199
- McCOURT, W., DUPE, P. & PILATASIG, B., 1998. PRODEMINCA, Report N°3: Geology of the Cordillera Occidental of Ecuador between 1° y 2° S. CODIGEM-Quito. BGS-Nottingham.
- McGUIRRE, 1996. Volcano instability: a review of contemporary themes. In Volcano Instability on the Earth and Other Planets, edited by W. J. McGuirre, A. P. Jones and J. Neuberg. Geol Soc. Spec. Publication, v. 110, p. 1-23.
- MICHAUD, F., CHABERT, A., COLLOT, J.-Y., SALLARÈS, V., FLUEH, E.R., CHARVIS, P., GRAINDORGE, D., & GUSTCHER, M.-A. ET BIALAS, J., 2005. Fields of multi-kilometer scale sub-circular depressions in the Carnegie Ridge sedimentary blanket: Effect of underwater carbonate dissolution? Marine Geology, 216: 205-219.
- MINURA, K. & KAWACHI, S., 1981. Nirasaki debris avalanche, a catastrophic event at the Yatsugatake volcanic chain, central Japan (abstract). Abstr, 1981 IAVCEI Symposium, Tokyo and Hakone, p. 237.
- MOLINA, C. I., KUMAGAI, H., LE PENNEC, J., L. & HALL, M., 2005. Three-dimensional P-wave velocity structure of Tungurahua volcano, Ecuador. J.

Volcanol Geotherm Res, 147; p. 144-156. doi  
10.1016/j.jvolgeores.2005.03.011.

- MONZIER M., ROBIN C., SAMANIEGO P., HALL M. L., COTTON J., MOTHES P. & ARNAUD N., 1999. Sangay Volcano, Ecuador: Structural Development, Present Activity and Petrology. *J. Volcanol Geotherm Res.* Vol. 90, pp. 49-79
- MONZIER M., BOURDON E., SAMANIEGO P., EISSEN J.P., ROBIN C., MARTIN H., & COTTEN J., 2003. Slab Melting and Nb-enriched Mantle beneath NVZ. EGS-AGU-EUG joint meeting. Nice, April 2003: VGP7-1Fr1P-0621
- MURAI, I., 1961. A study of the textural characteristics of pyroclastic flow deposits in Japan: *Tokyo University Earthquake Research Institute Bulletin*, v. 39, p. 133-248.
- NAKAMURA, Y., 1978. Geology and petrology of Bandai and Nekoma volcanoes. *Sci. Rep., Tohoku Univ., Ser. 4*, 13, p. 68-119.
- NOBLE, S., ASPDEN, J., & JEMIELITA, R., 1997. Northern Andean crustal evolution: new U-Pb geochronological constrains from Ecuador., *GSA Bulletin*, v. 109, N° 7 pp. 789-798.
- PECCERILLO, P. & TAYLOR, S.R., 1976. Geochemistry of Eocene calc-alkaline volcanic rocks from the Kastamonu area, northern Turkey. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 58: 63-81.
- PEDOJA, K., 2003. Les terrasses marines de la marge Nord Andine (Equateur et Nord Péroa): Relations avec le contexte géodynamique, Ph.D, thesis, 413 pp. Univ. parís VI. Paris.

- PENNINGTON, W., 1981. Subduction of the Eastern Panamá Basin and Seismotectonic of Northwestern South America., J. Geophys. Research., 86, No. B11, p. 10753-10770.
- REYNAUD, C., JAILLARD, E., LAPIERRE, H., MAMBERTI, M. & MASCLE, G., 1999. Oceanic plateau and island arcs of southwestern Ecuador: their place in the geodynamic evolution of northwestern South America, Tectonophysics 307, pp. 235-254.
- RIVADENEIRA, M. & BABY, P., 1999. Los principales campos de Petroproducción: estilo tectónico, etapas de deformación y características geológicas., Petroproducción-IRD (OSTROM), Petroproducción Quito, 88p.
- ROBIN, C., HALL, M., JIMENEZ, M., MONZIER, M. & ESCOBAR, P., 1997. Mojanda Volcanic Complex (Ecuador): development of two adjacent contemporaneous volcanoes contrasting eruptive styles and magmatic suites; Journal of South America Earth Sciences, Vol 10 N° 5-6, pp 345-359.
- ROBIN, C., KOMOROWSKI, J. C., BOUDAL, C. & MOSSAND, P., 1990. Mixed magma pyroclastic surge deposits associated with debris avalanche deposits at Colima volcanoes, Mexico. Bulletin Volcanology, v. 52, p. 391-403.
- RUIZ, G., 2003. Estudio Geovolcanológico del Complejo Volcánico Imbabura. Tesis de Grado. Escuela Politécnica Nacional-Quito., pp. 16-20.
- SALAZAR, E., 1977. La geología del flanco septentrional del volcán Tungurahua. Tesis de Grado, Escuela Politécnica Nacional.
- SAMANIEGO, P., MARTIN, H., ROBIN, C. & MONZIER, M., 2002. Transition from Classical Calc-Alkalic to Adakitic Magmatism in the Cayambe Volcano, Ecuador: Insights into Slab Melts and Mantle Wedge Interactions. Geology vol. 30, pp. 967-970

- SAMANIEGO, P., MONZIER, M., EISSEN, J-P., BOURDON, E., ROBIN, C., HALL, M-L., MARTIN, H., FORNARI, M., & COTTON, J., 2004. El magmatismo cuaternario del arco volcanico ecuatoriano: un ejemplo atípico de génesis de magmas en contexto de subducción. Actas de Seminarios y Talleres Científicos. IRD. Quito-Ecuador. Pp, 321-329.
- SAMANIEGO, P., MARTIN, H., MONZIER, M., FORNARI, M., ESISSEN, J.-P. & COTTON, J. 2005. Temporal Evolution of Magmatism at Northern Volcanic Zone of the Andes: the Geology and Petrology of the Cayambe Volcanic Complex (Ecuador)., J. Petrology 46(11), 2225-2252, doi: 10.1093/petrology/egi053
- SIEBERT, L., KOMOROWSKI, J. C. & SHERIDAN, M. F., 1992. Morphology and emplacement of an unusual debris-avalanche deposit at Jocotitlan volcano, central Mexico. Bulletin Volcanology, v. 54, p. 573-589.
- SIEBERT, L., & KIENLE J., 1983. Volcanogenic tsunamis produced by large volcanic debris avalanches (abstr). IUGG, 18<sup>th</sup> General Assembly, Hamburg, Programme and Abstracts 1: 314.
- SIEBERT, L., 1984. Large volcanic debris avalanche: characteristics of source areas, deposits and associated eruption. J. Volcanol. Geotherm. Res. 22, p. 163-197.
- SIEBERT, L., GLICKEN H. & Ui T., 1987. Volcanic hazards from Bezymianny and Bandai type eruptions. Bulletin Volcanology, v. 49, 435-459.
- SIEBERT, L., GLICKEN, H. & KIENLE J., 1989. Debris avalanches and lateral blasts at Mount St. Augustine Volcano, Alaska: National Geographic Research, v. 5, p. 232-249.
- SIEBERT, L., 1996. Hazards of large volcanic debris avalanches and associated eruptive phenomena. En: Scarpa R, Tilling RI (eds) Monitoring and

mitigation of volcano hazards. Springer, Berlin Heidelberg New York. Pg 541-572.

- SOULAS, J. P., EGÜEZ, A., YEPEZ, H. & PERZ, V. H., 1991. Tectónica activa y riesgo sísmico en los Andes ecuatorianos y el extremo Sur de Colombia., Bol. Geol. Ecuat, 2, 1, p. 3-11.
- SPIKINGS, R., SEWARD, D., WINKLER, W. & RUIZ, G., 2000. Low-temperature thermochronology of the Northern Cordillera Real, Ecuador: Tectonic insights from zircon and apatite fission track analysis., Tectonics, v. 19, p. 649-668.
- SPIKINGS, R., WINKLER, A., SEWARD, D. & HANDLER, R., 2001. Along-strike variations in the thermal and tectonic response of the continental Ecuadorian Andes to the collision with heterogeneous oceanic crust. Earth Planet. Sci. Lett., vol. 186, 57-73
- STEINMANN, M., HUNGERBÜHLER, D., SEWARD, D. & WINKLER, W., 1999. Neogene tectonic evolution and exhumation of southern Ecuadorian Andes: a combined stratigraphy and fission-track approach., Tectonophysics, 307, p. 255-276.
- STÜBEL, A., 1886. Skizzen aus Ecuador. Asher Edition, Berlin, 176 pp.
- TORO, J. & JAILLARD, E., 2005. Provenance of the Upper Cretaceous to upper Eocene clastic sediments of the Western Cordillera of Ecuador: Geodynamic Implications. Tectonophysics, 399(1-4): 279-292.
- TRENKAMP, R., KELLOG, N. J., FREYMULLER, T. & MORA, P. H., 2002. Wide plate margin deformation, southern Central America and northwestern South America, CASA GPS observations. J., South Am. Herat Sci., vol. 15, p. 157-171



- TSCHOPP, H., 1953. Oil exploration in the Oriente of Ecuador. AAPG Bulletin, vol. 37, p. 2303-2347
- Ui T., 1983. Volcanic dry avalanche deposits: identification and comparison with nonvolcanic debris stream deposits. J. Volc. Geotherm. Res., 18, p. 135-150.
- UI, T. & GLICKEN, H. X., 1986. Internal structural characteristics of a debris avalanche from Mount Shasta, California, U.S.A. Bulletin Volcanology, v. 48, p. 189-194.
- Ui T., TAKARADA S. & YOSHIMOTO M., 2000. Debris Avalanches In: Encyclopedia of Volcanoes, Academic Press eds, London, 617, 628
- VIDAL, N., 1998. Les avalanches de debris volcaniques: etude des depositions et nouveau schéma de destabilisation de flanc a partir de l'exemple du strato-volcan du Cantal (Massif-Central, France) (Modelisation analogique et geomecanique), Ph.D Thesis, 200p, Clermont-Ferrand.
- VIDAL, N. & MERLE, O., 2000. Reactivation of basement faults beneath volcanoes: a new model of flank collapse. J. Volc. Geoth. Res., v. 99: pp. 9-26.
- VOIGTH, B., & ELSWORTH, D., 1997. Failure of volcano slopes. Géotechnique 47: 1-31 pp.
- WAITT, R. B., HOBLITT, R. P., CRISWELL, C. W., SCOTT, K. M., GLICKEN, H. & BRANTLEY, S. R., 1989. Excursion 2A: Recent volcanoclastic deposits and processes at Mount St. Helens Volcano, Washington, in Chapin, C. E., and Zidek, J., eds., International Association of Volcanology and Chemistry of the Earth's Interior General Assembly, Field Excursions to Volcanic Terranes in the Western United States, Volume II: Cascades and Intermountain West: New Mexico Bureau of Mines and Mineral Resources Memoir 47, p. 51-88.

- WINTER, T., LAVENU, A., 1989, Morphological and microtectonic evidence for a major active right-lateral strike-slip fault across central Ecuador (South America), *Ann. Tect.*, 3(2), 123-139
- WITT, C., BOURGOIS, J., MICHAUD, F., ORDOÑEZ, M., JIMENEZ, M., SOSSON, M., 2006. Development of the Gulf of Guayaquil (Ecuador) during the Quaternary as a response to the North Andean Block tectonic escape. . *Tectonics*, 25, TC 3017, doi: 10.1029/2004TC001723, 2006.

## **ANEXO 1**

### **NOMENCLATURA UTILIZADA EN LA IDENTIFICACION DE MUESTRAS**

## NOMENCLATURA:

Para la identificación de las muestras del presente trabajo se utilizó las siglas TG-JB (Tungurahua-Jorge Bustillos) acompañadas del número que corresponda. Para nombrar los diferentes depósitos de las avalanchas de escombros se utiliza las siglas DAD y acompañada por la edad o nombre del edificio volcánico.

Adicionalmente, para complementar la caracterización se incluyó las rocas colectadas por Michel Monzier (+) en varias campañas de campo, las cuales incluyen rocas del volcán Tungurahua, Huisla y El Altar tanto de los edificios volcánicos como de los diferentes depósitos de avalancha, algunas de las mismas fueron reubicadas estratigráficamente de acuerdo a lo cartografiado en el presente estudio. Las rocas son:

- TUN-50
- TUNG-32
- TUNG-38 A
- TUNG-38 B
- TUNG-31 A
- TG-31 B

Muestras incorporadas al depósito de avalancha de escombros de **30 ka A.P.**  
(M. Monzier (+)).

- TUNG-46
- TUNG-45

Muestras incorporadas al depósito de avalancha de escombros del volcán Huisla.  
(M. Monzier (+)).

- TUNG-44 B
- TUNG.44 A
- TUNG-39

- ❖ TG-JB-65
- ❖ TG-JB-66
- ❖ TG-JB-67
- ❖ TG-JB-68
- ❖ TG-JB-69



Muestras incorporadas al edificio  
del volcán Huisla.  
(J. Bustillos, este trabajo).

Para la caracterización geoquímica y petrográfica de los diferentes depósitos de las avalanchas de escombros se analizó un total de 67 muestras, las mismas que incluyen rocas de todos los depósitos de avalanchas identificados en el presente estudio.

## **ANEXO 2**

# **AFLORAMIENTOS DE LOS DEPÓSITOS DE LAS AVALANCHAS DE ESCOMBROS Y UBICACIÓN DE LAS MUESTRAS ANALIZADAS PETROGRAFICA Y GEOQUÍMICAMENTE**

## AVALANCHA DE ESCOMBROS DAD-Huisla

AFLORAMIENTO	X	Y	ALTURA(m)	MUESTRAS	OBSERVACIONES
AFLORAMIENTO-047	780368	9846049	1968	TG-JB-048	Depósito de DAD ( <b>HUISLA</b> ), en contacto con el basamento metamórfico. Carretera Pte. Las
AFLORAMIENTO-048	780005	9846628	2013	TG-JB-049-A TG-JB-049-B TG-JB-049-C TG-JB-049-D TG-JB-049-E	Depósito de DAD ( <b>HUISLA</b> ), facies de mezcla o matriz, se tien todas la facies de rocas del depósito. Carretera Pte. Las Juntas-Pelileo.
AFLORAMIENTO-049	779584	9846703	2018	TG-JB-050	Depósito de DAD ( <b>HUISLA</b> ), facies de mezcla o matriz. Carretera Pte. Las Juntas-Pelileo.
AFLORAMIENTO-050	777542	9848354	2163	TG-JB-051-A TG-JB-051-B	Depósito de DAD ( <b>HUISLA</b> ), facies de mezcla o matriz. Carretera Pte. Las Juntas-Pelileo, sector viveros.
AFLORAMIENTO-051	778118	9848938	2224	TG-JB-052	Depósito de DAD ( <b>HUISLA</b> ), ya que el depósito se encuentra sobreyacido por un estrato de cangahua. Carretera Pte. Las Juntas-Pelileo.
AFLORAMIENTO-052	777663	9849437	2272	TG-JB-053-A TG-JB-053-B	Depósito de DAD ( <b>HUISLA</b> ), facies de mezcla o matriz. Carretera Pte. Las Juntas-Pelileo.
AFLORAMIENTO-053	776614	9849333	2369	TG-JB-054	Depósito de DAD ( <b>HUISLA</b> ), facies de mezcla o matriz. Carretera Pte. Las Juntas-Pelileo. En el afloramiento hay un monumento a una virgen o
AFLORAMIENTO-054	776668	9849589	2395	TG-JB-055-A TG-JB-055-B TG-JB-055-C TG-JB-055-D	Depósito de DAD ( <b>HUISLA</b> ), facies de mezcla o matriz. Carretera Pte. Las Juntas-Pelileo. El depósito está sobreyacido por depósitos históricos
AFLORAMIENTO-055	777058	9849746	2270	TG-JB-056	Depósito de DAD ( <b>HUISLA</b> ), facies de mezcla o matriz. Carretera Pte. Las Juntas-Pelileo. Cantera de explotación de material pétreo, es la parte baja del afloramiento-054.
AFLORAMIENTO-056	775820	9850254	2396	TG-JB-057-A TG-JB-057-B TG-JB-057-C	Depósito de DAD ( <b>HUISLA</b> ), . Carretera Pte. Las Juntas-Pelileo. Sector del Hotel Express.
AFLORAMIENTO-057	775473	9850746	2418		Depósito de DAD ( <b>HUISLA</b> ), . Carretera Pte. Las Juntas-Pelileo. Similar al afloramiento-056
AFLORAMIENTO-059	779365	9849094	2082	TG-JB-058-A TG-JB-058-B	Depósito de DAD ( <b>HUISLA</b> ), con pequeñas bombas con estructuras de corteza de pan (Bred Crust) dentro del depósito y sobreyacido por depósitos de caída del Tungurahua III
AFLORAMIENTO-060	777478	9854002	2103	TG-JB-059-A TG-JB-059-B TG-JB-059-C TG-JB-059-D	Depósito de la DAD ( <b>HUISLA</b> ), en la carretera OVT-Patate, al frente de la Hosteria Viña del Río que esta formando una pequeña terraza.
AFLORAMIENTO-061	777351	9854430	2139	TG-JB-060-A TG-JB-060-B TG-JB-060-C TG-JB-060-D	Depósito de la DAD ( <b>HUISLA</b> ), en la carretera OVT-Patate, el depósito está sobreyacido por coluviales metamórficos.
AFLORAMIENTO-062	776431	9855505	2091	TG-JB-061	Depósito de DAD ( <b>HUISLA</b> ), siguiendo por un sendero a la izquierda de la carretera Patate-Pelileo-Píllaro. El sendero llega hasta el Río Patate.
AFLORAMIENTO-063	776703	9857501	2180	TG-JB-062	Depósito de DAD ( <b>San Miguelito</b> ), está enchapada contra la Ignimbrita del Chalupas (200 Ka).

<b>AFLORAMIENTO</b>	<b>X</b>	<b>Y</b>	<b>ALTURA(m)</b>	<b>MUESTRAS</b>	<b>OBSERVACIONES</b>
AFLORAMIENTO-064	777775	9851701	2011	TG-JB-063-A TG-JB-063-B TG-JB-063-C	Depósito de DAD ( <b>HUISLA</b> ), ribera occidental del río Patate, facies de matriz, a la base el basamento mtm
AFLORAMIENTO-065	777705	9851706	2015	TG-JB-064-A TG-JB-064-B	Depósito de DAD ( <b>HUISLA</b> ), formando una terraza en la ribera occidental del río Patate. En el sector hay deslizamientos de los bloques de la
AFLORAMIENTO-066	77536	9851956	2022		Depósito de DAD ( <b>HUISLA</b> ), siguiendo la ribera occidental del río Patate, es un megabloque que tiene estructura en lajas y a los lados facies de matriz.
AFLORAMIENTO-067	777449	9851930	2134		Depósito de DAD ( <b>HUISLA</b> ), es en la parte superior de la terraza en la ribera occidental del río Patate, la terraza es la avalancha removida pero que conserva la estructura de lajas en los bloques, pero en ocasiones
AFLORAMIENTO-068	777274	9849898	2127		Depósito de DAD ( <b>HUISLA</b> ), es en la parte inferior de la Qbda. Gualacucho debajo de la carretera Las Juntas-Pelileo, hay depósitos de caída sobre
AFLORAMIENTO-069	775620	9848893	2569		Sector Qbda. Gualacucho entrando por La Florida, no se evidencia un depósito de DAD, parece un deslizamiento que contiene clastos de
AFLORAMIENTO-070	772455	9847223	3065	TG-JB-065	Depósito de DAD ( <b>HUISLA</b> ), no parece un depósito clásico de DAD, pero en los bloques se puede fracturamiento tipo jigsaw, tiene facies de matriz.
AFLORAMIENTO-071	772614	9847862	3062	TG-JB-066	Depósito de avalancha ( <b>HUISLA</b> ), presenta una estructura en forma de lajas, y está sobreyacido por una
AFLORAMIENTO-072	773268	9848889	3068	TG-JB-067	Depósito de DAD ( <b>HUISLA</b> ), es siguiendo la carretera San Alfonso-Quinchibana, presenta en los bloques cataclasis, el depósito está formando
AFLORAMIENTO-073	771741	9849852	3073	TG-JB-068	Depósito de avalancha ( <b>HUISLA</b> ), en el sector de la Qbda. Del Pogyo. Hay bloques que presenta jigsaw con facies similares a las encontradas a lo largo de la carretera Las Juntas-
AFLORAMIENTO-074	770583	9848492	3400	TG-JB-069	Sector Qbda. Masabacho. Al parecer es parte del edificio del volcán Huisla. El depósito tiene estructura de
AFLORAMIENTO-076	775411	9852380	2455	TG-JB-071	Afloramiento muy maciso, en la parte superior tiene estructura muy compacta con algunos fracturamientos, a la base presenta

<b>AVALANCHA DE ESCOMBROS DAD-Altar</b>					
<b>AFLORAMIENTO</b>	<b>X</b>	<b>Y</b>	<b>ALTURA(m)</b>	<b>MUESTRAS</b>	<b>OBSERVACIONES</b>
AFLORAMIENTO-077	772286	9824457	2588	TG-JB-072-A TG-JB-072-B	Depósito de avalancha ( <b>ALTAR</b> ), en el sector de Pungal Grande en una cantera de explotación. Se puede observar un megabloque con estructura en lajas. Esta formando
AFLORAMIENTO-078	772008	9824235	2595	TG-JB-073	Depósito DAD ( <b>ALTAR</b> ), es más al sur del afloramiento anterior, aquí se encuentra otra facies de roca más



<b>AVALANCHA DE ESCOMBROS DEL TUNGURAHUA-30 ka A.P.</b>					
<b>AFLORAMIENTO</b>	<b>X</b>	<b>Y</b>	<b>ALTURA(m)</b>	<b>MUESTRAS</b>	<b>OBSERVACIONES</b>
AFLORAMIENTO-012	774463	9829234	2488		Canal de riego <b>(30 Ka)</b> en la carretera Baños-Penipe
AFLORAMIENTO-013	774410	9829098	2507	TG-JB-022A TG-JB-022B TG-JB-022C	Cantera de explotación <b>(30Ka)</b>
AFLORAMIENTO-014	774544	9828632	2508		Columna estratigráfica
AFLORAMIENTO-015	774621	9826712	2439	TG-JB-023	Una curav antes del puente del Río Chambo (Penipe). Pared de contención de deslizamientos <b>(30Ka)</b>
AFLORAMIENTO-016	774306	9826593	2381	TG-JB-042	300m al sur del puente de Penipe sobre el Río Chambo
AFLORAMIENTO-017	774334	9825162	2494		Termina afloramiento DAD Tungurahua I <b>(30Ka)</b> . Sobre la carretera Penipe-Riobamba. El depósito continua más al Sur.
PANORAMICA	774107	9827000	2543		Panorámica del contacto o alcance del depósito de la DAD del Tungurahua I <b>(30Ka)</b> . Camino a la Providencia
AFLORAMIENTO-018	773348	9828876	2447	TG-JB-024	En el camino a la Providencia <b>(30Ka)</b>
AFLORAMIENTO-019					La DAD está sobreyacida por una capa de caídas plinianas.
AFLORAMIENTO-020-021	781202	9832876	2022	TG-JB-025	Afloramiento en el flanco Norte del Río Puela <b>(30Ka)</b>
AFLORAMIENTO-022	775235	9833076	2511	TG-JB-026A TG-JB-026B TG-JB-026C	Camino a Pillate desde Guanando-La Providencia. <b>(30Ka)</b>
AFLORAMIENTO-023	775663	9833962	2431	TG-JB-027A TG-JB-027B	Camino a Pillate, pasando Guso Chico-Guayaquil <b>(30Ka)</b>
AFLORAMIENTO-024	775626	9834147	2397	TG-JB-028	Siguiendo el camino Guyo Chico-Pillate <b>(30Ka)</b>
AFLORAMIENTO-025	776518	9835826	2518	TG-JB-046A TG-JB-046B	Siguiendo el camino Guyo Chico-Pillate
AFLORAMIENTO-026	776396	9836233	2532	IG-001	Contacto entre las lavas del Igualata y la DAD de (30Ka), en el camino a Pillate
	776593	9837835	2539	IG-002A IG-002B	Lavas del Igualata con estructura de diaclasas
AFLORAMIENTO-027	776828	9838922	2632	TG-JB-047	Siguiendo el camino Guyo Chico-Pillate
AFLORAMIENTO-028	776233	9839170	2667	TG-JB-029	Cantera de explotación en el camino Guanando-Pillate <b>(30)</b>
AFLORAMIENTO-029	774133	9824621	2492	TG-JB-030A TG-JB-030B TG-JB-030C	Terraza del Río Chambo en el lado occidental en la carretera Penipe-Riobamba <b>(30Ka)</b>
	774177	9824634	2506		Bloque que muestra el contacto entre dos DAD diferentes, encima una capa de cangahua. Flanco occidental del Río
AFLORAMIENTO-033	778010	9831619	2424	TG-JB-032	NO HAY MUCHA CONFIANZA CON LA RECOLECCION DE LA
AFLORAMIENTO-036	774960	982830	2488	TG-JB-036A TG-JB-036B	Depósito de la DAD <b>(30Ka)</b> en la carretera Baños-Penipe, antes de llegar a Penipe, depósito de facies de bloques.

<b>AFLORAMIENTO</b>	<b>X</b>	<b>Y</b>	<b>ALTURA(m)</b>	<b>MUESTRAS</b>	<b>OBSERVACIONES</b>
AFLORAMIENTO-038	777966	9842380	2485	TG-JB-038	Depósito de DAD <b>(30Ka)</b> , en el camino Cotaló-Chacauco
AFLORAMIENTO-039	778385	9842843	2480	TG-JB-039A TG-JB-039B	Depósito de DAD <b>(3Ka)</b> , en el camino Cotaló-Chacauco
AFLORAMIENTO-040	778319	9842511	2334		Depósito de DAD <b>(3Ka)</b> , en el camino Cotaló-Chacauco, Mis fotos son del hummock de
AFLORAMIENTO-041	774591	9826611	2374	TG-JB-040-A TG-JB-040-B	Depósito de DAD <b>(3Ka)</b> , en el sector de Penipe. Fasies de bloques con cataclasis.
AFLORAMIENTO-044	776055	9832008	2517	TG-JB-044A TG-JB-044B	Depósito de DAD <b>(30Ka)</b> , en el sector de la carretera La Providencia- Pillate.
AFLORAMIENTO 45	775478	9832583	2517	TG-JB-011A TG-JB-011B	Depósito de DAD <b>(30Ka)</b> , en el sector de la carretera La Providencia- Pillate. En el depósito hay un megabloque de piroclastos como inclusión.
AFLORAMIENTO-046	776094	9835073	2421	TG-JB-045A TG-JB-045B	El depósito es similar a los afloramientos 24 y 26
AFLORAMIENTO-080	778834	9843974	2500	TG-JB-075A TG-JB-075B TG- JB-075C	Depósito de DAD <b>(30 Ka)</b> en el camino bajando desde la carretera Cotaló-Panguilí hacia
AFLORAMIENTO-081	778986	9843532	2253		Depósito más hacia la base de la terraza de San Juan.

<b>AVALANCHA DE ESCOMBROS DEL TUNGURAHUA-3 ka A.P.</b>					
<b>AFLORAMIENTO</b>	<b>X</b>	<b>Y</b>	<b>ALTURA(m)</b>	<b>MUESTRAS</b>	<b>OBSERVACIONES</b>
AFLORAMIENTO-001	781201	9843688	2173		Jean-Luc dijo que aquí empezaba a aflorar la DAD <b>(30 Ka)</b>
AFLORAMIENTO-002	777378	9836667	2284	TG-JB-018	Qbda. La Rea <b>(3Ka)</b>
AFLORAMIENTO-003	776325	9833961	2334	TG-JB-019	Frente al puente sobre un ramal del Río Chambo, pasando un deslizamiento con depósitos a la vía <b>(3Ka)</b>
AFLORAMIENTO-004	776265	9833342	2371		Aproximadamente una 4 curvas al sur del afloramiento anterior (003)
AFLORAMIENTO-005	776282	9832852	2394		Aproximadamente una 4 curvas al sur del afloramiento anterior (004)
AFLORAMIENTO-006	776462	9832656	2409	TG-JB-020	Pasando la entrada a la hostería de color blanco iniciando el camino
AFLORAMIENTO-007	777278	9835648	2398		pavimentado
AFLORAMIENTO-008	776371	9834082	2324		Sobre el puente de madera en el Río Chambo
AFLORAMIENTO-009	777490	9832062	2407	TG-JB-021A TG-JB-021B TG-JB-021C	500m al Norte de la entrada a Palitahua. Carretera Baños-Penipe <b>(3Ka)</b>
AFLORAMIENTO-010	776790	9831389	2392	TG-JB-035	A un lado de la pared blanca, encima pasa la tubería de agua. <b>(3Ka)</b>
AFLORAMIENTO-011	776500	9831200	2385	TG-JB-003	Al frente de la parada de bus, camino vecinal al río Chambo <b>(3Ka)</b>
	778900	9841390	2213		Sitio en donde se recolectó la muestra
AFLORAMIENTO-032	775920	9834870	2377	TG-JB-031	Sobreyacido por la pliniana de 1250. DAD <b>(3 Ka)</b>
AFLORAMIENTO-034	779164	9841760	2238	TG-JB-033	Sector Qbda. Achupashal, hummock entre Achupashal y la Piámide. DAD <b>(3 Ka)</b>
AFLORAMIENTO-035	778900	9841390	2213	TG-JB-034A TG-JB-034B TG-JB-034C	Siguiendo aguas arriba de la Qbda. La Rea. La morfología de la DAD <b>(3 Ka)</b> controla la topografía
	777884	9836780	2345		Panorámica de la DAD <b>(3Ka)</b> siguiendo aguas arriba en la Qbda. La Rea
	777779	9836781	2444		La muestra fue recolectada aguas arriba en la Qbda. La
AFLORAMIENTO-037	778917	9844742	2773	TG-JB-037A TG-JB-037B	Depósito de DAD <b>(3Ka)</b> o Huisla, sector Cruz de
AFLORAMIENTO-079	778644	9842451	2140	TG-JB-074	DAD de <b>(3 Ka)</b> en el sector de la terraza de Chacaucu
AFLORAMIENTO-082	778986	9843532	2253	TG-JB-077-A TG-JB-077-B	Depósito de DAD <b>(3Ka)</b> en el camino a la terraza de

**UBICACIÓN DE MUESTRAS ANALIZADAS EN EL PRESENTE PROYECTO DE TITULACION**

DAD 30 Ka	TG-JB-11A	UTM 755 326
DAD 30 Ka	TG-JB-11B	UTM 755 326
DAD 30 Ka	TG-JB-18	UTM 773 367
DAD 30 Ka	TG-JB-22A	UTM 744 291
DAD 30 Ka	TG-JB-22C	UTM 744 291
DAD 30 Ka	TG-JB-23	UTM 746 267
DAD 30 Ka	TG-JB-24	UTM 733 289
DAD 30 Ka	TG-JB-25	UTM 812 329
DAD 30 Ka	TG-JB-26A	UTM 752 331
DAD 30 Ka	TG-JB-27A	UTM 757 340
DAD 30 Ka	TG-JB-27B	UTM 757 340
DAD 30 Ka	TG-JB-28	UTM 756 341
DAD 30 Ka	TG-JB-29	UTM 762 392
DAD 30 Ka	TG-JB-30A	UTM 741 246
DAD 30 Ka	TG-JB-30B	UTM 741 246
DAD 30 Ka	TG-JB-33	UTM 789 414
DAD 30 Ka	TG-JB-42	UTM 743 266
DAD 30 Ka	TG-JB-36A	UTM 749 283
DAD 30 Ka	TG-JB-36B	UTM 749 283
DAD 30 Ka	TG-JB-75A	UTM 788 439
DAD 30 Ka	TG-JB-75B	UTM 788 439
DAD 30 Ka	TG-JB-75C	UTM 788 439
DAD 30 Ka	TG-JB-38	UTM 779 424
DAD 30 Ka	TG-JB-40A	UTM 746 266
DAD 30 Ka	TG-JB-40B	UTM 746 267
DAD 30 Ka	TG-JB-76	UTM 789 435

DAD HUISLA	TG-JB-48	UTM 804 460
DAD HUISLA	TG-JB-55A	UTM 767 496
DAD HUISLA	TG-JB-55B	UTM 767 496
DAD HUISLA	TG-JB-55C	UTM 767 496
DAD HUISLA	TG-JB-55D	UTM 767 496
DAD HUISLA	TG-JB-56	UTM 771 497
DAD HUISLA	TG-JB-57C	UTM 758 503
DAD HUISLA	TG-JB-59C	UTM 775 540
DAD HUISLA	TG-JB-65	UTM 725 472
DAD HUISLA	TG-JB-66	UTM 726 478
DAD HUISLA	TG-JB-67	UTM 733 489
DAD HUISLA	TG-JB-68	UTM 717 499
DAD HUISLA	TG-JB-69	UTM 706 485
DAD HUISLA	TG-JB-70	UTM 782 467
DAD HUISLA	TG-JB-60A	UTM 774 544
DAD HUISLA	TG-JB-60B	UTM 774 544
DAD HUISLA	TG-JB-60D	UTM 774 544
DAD HUISLA	TG-JB-51A	UTM 775 484
DAD HUISLA	TG-JB-50	UTM 796 467
DAD HUISLA	TG-JB-71	UTM 754 524
DAD HUISLA	TG-JB-61	UTM 764 555
DAD HUISLA	TG-JB-58B	UTM 794 491

DAD 3 Ka	TG-JB-34A	UTM 778 368
DAD 3 Ka	TG-JB-34B	UTM 778 368
DAD 3 Ka	TG-JB-34C	UTM 778 368
DAD 3 Ka	TG-JB-35	UTM 768 314
DAD 3 Ka	TG-JB-19	UTM 763 340
DAD 3 Ka	TG-JB-20	UTM 765 326
DAD 3 Ka	TG-JB-21A	UTM 775 321
DAD 3 Ka	TG-JB-37A	UTM 789 447
DAD 3 Ka	TG-JB-37B	UTM 789 447
DAD 3 Ka	TG-JB-39A	UTM 784 428
DAD 3 Ka	TG-JB-77A	UTM 789 435
DAD 3 Ka	TG-JB-77B	UTM 789 435
DAD 3 Ka	TG-JB-74	UTM 786 425
DAD 3 Ka	TG-JB-17	UTM 792 418

DAD ALTAR	TG-JB-72B	UTM 723 245
DAD ALTAR	TG-JB-73	UTM 720 242
DAD ALTAR	TG-JB-30C	UTM 741 246
DAD ALTAR	TG-JB 72A	UTM 723 245

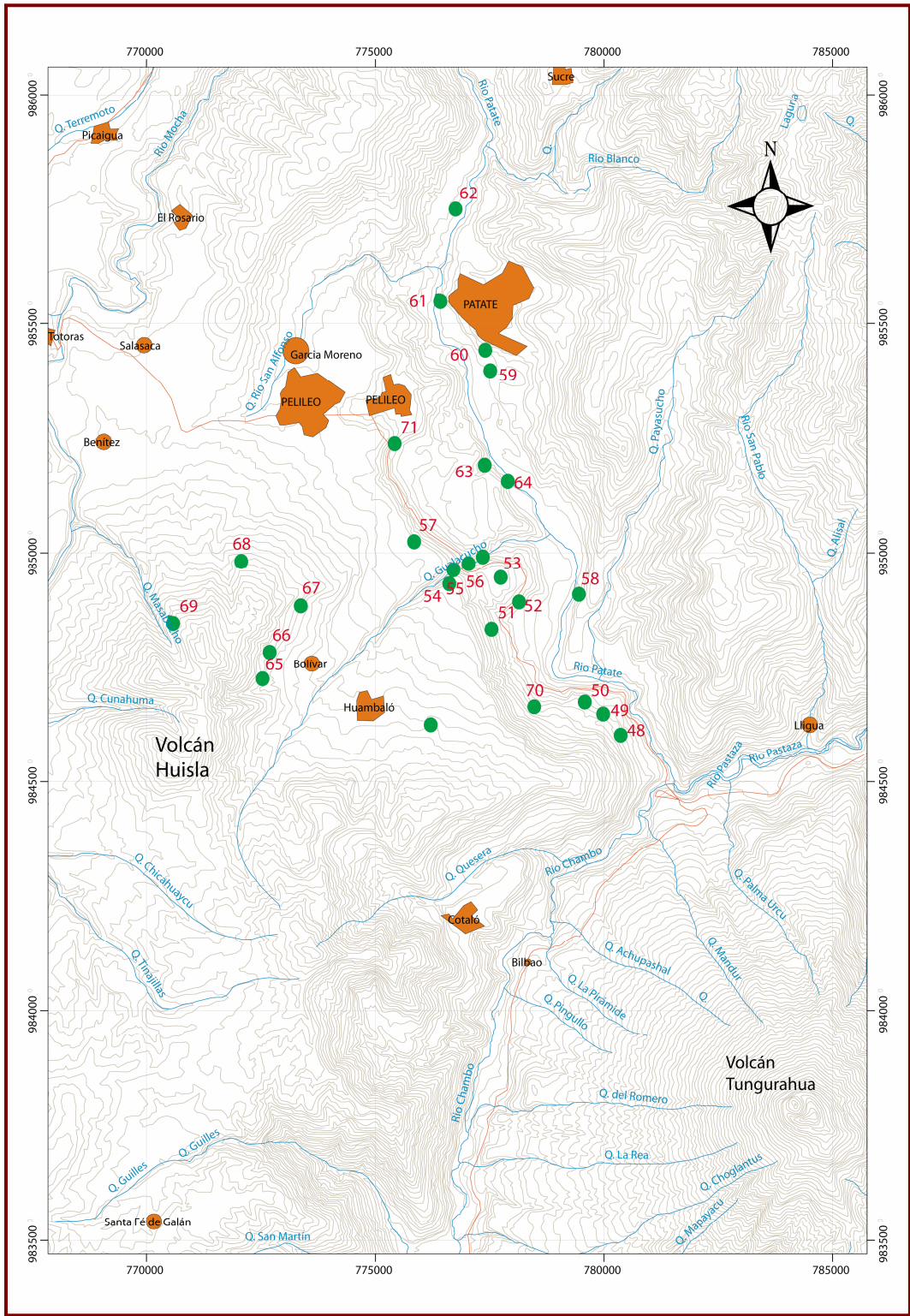
DAD SAN MIGUELITO	TG-JB-62	UTM 767 575
-------------------	----------	-------------

Tungurahua I	TUN 53	UTM 878 458
Tungurahua I	TUN 50	UTM 791 414
Tungurahua I	TUN 51	UTM 822 431
Tungurahua I	TUN 41	UTM 892 455
Tungurahua I	TUN 27B	UTM 834 427
Tungurahua I	TUN 35	UTM 796 411
Tungurahua I	TUN 24	UTM 841 448
Tungurahua I	TUN 42	UTM 880 449
Tungurahua I	TUN 25	UTM 829 445
Tungurahua I	TUN 36	UTM 792 398
Tungurahua I	TUN 34	UTM 800 416
Tungurahua I	TUN 33C	UTM 800 421
Tungurahua I	TUN 33B	UTM 800 421
Tungurahua I	TUN 33A	UTM 800 421
Tungurahua I	TUN 320	UTM 879 358
Tungurahua I	TUN 22	UTM 873 429
Tungurahua I	TUN 27A	UTM 834 427
Tungurahua I	TUN 21	UTM 887 454
Tungurahua II	TUN 149	UTM 815 344
Tungurahua II	TUN 140	UTM 835 343
Tungurahua II	TUN 151	UTM 818 335
Tungurahua II	TUN 145	UTM 823 341
Tungurahua II	TUN 144	UTM 825 336
Tungurahua II	TUN 313	UTM 856 354
Tungurahua II	TUN 319	UTM 854 356
Tungurahua II	TG-JB-16	UTM 781 452

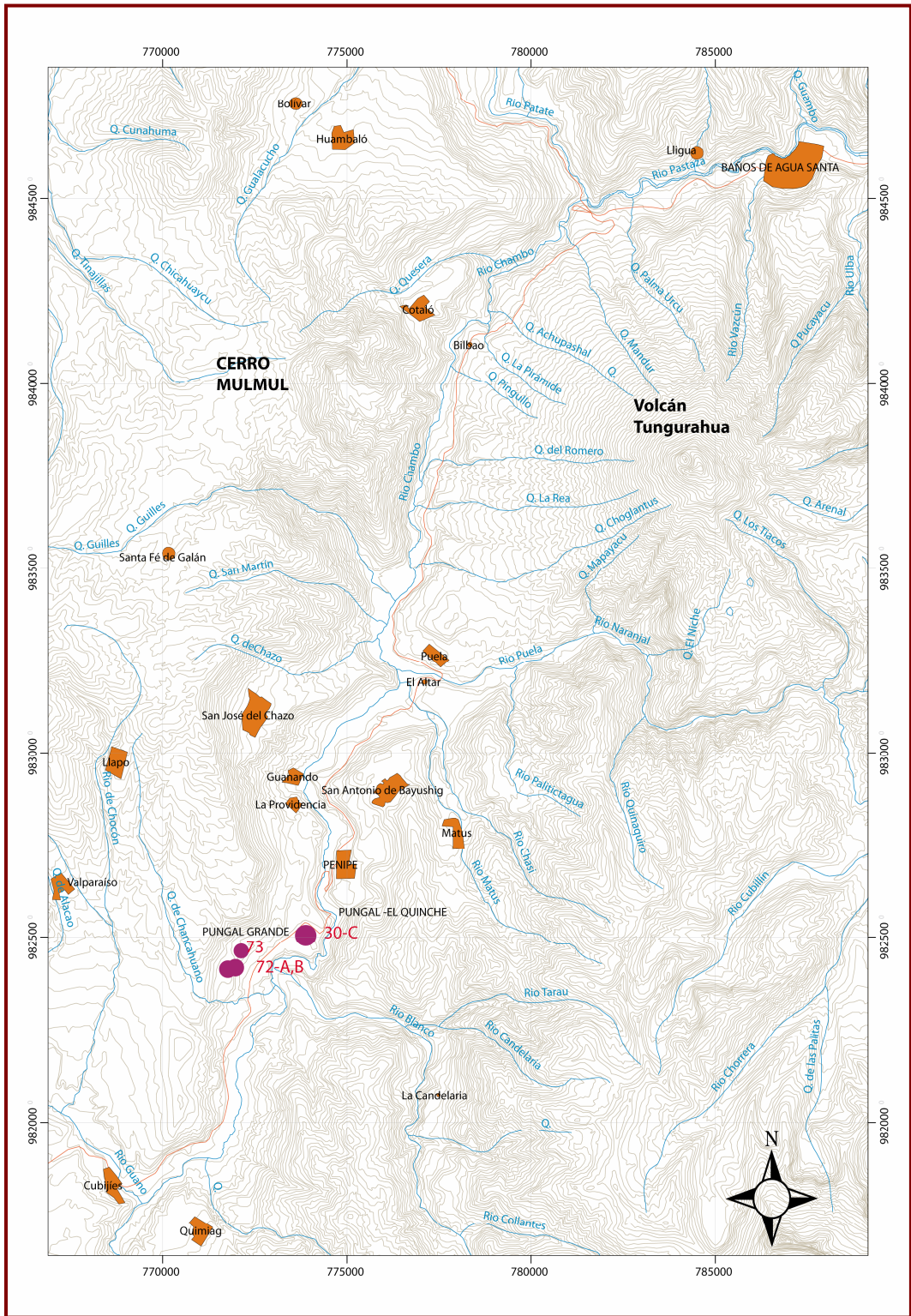
## **ANEXO 3**

### **MAPAS DE UBICACIÓN DE MUESTRAS DE LAS AVALANCHAS DE ESCOMBROS ESTUDIADAS**

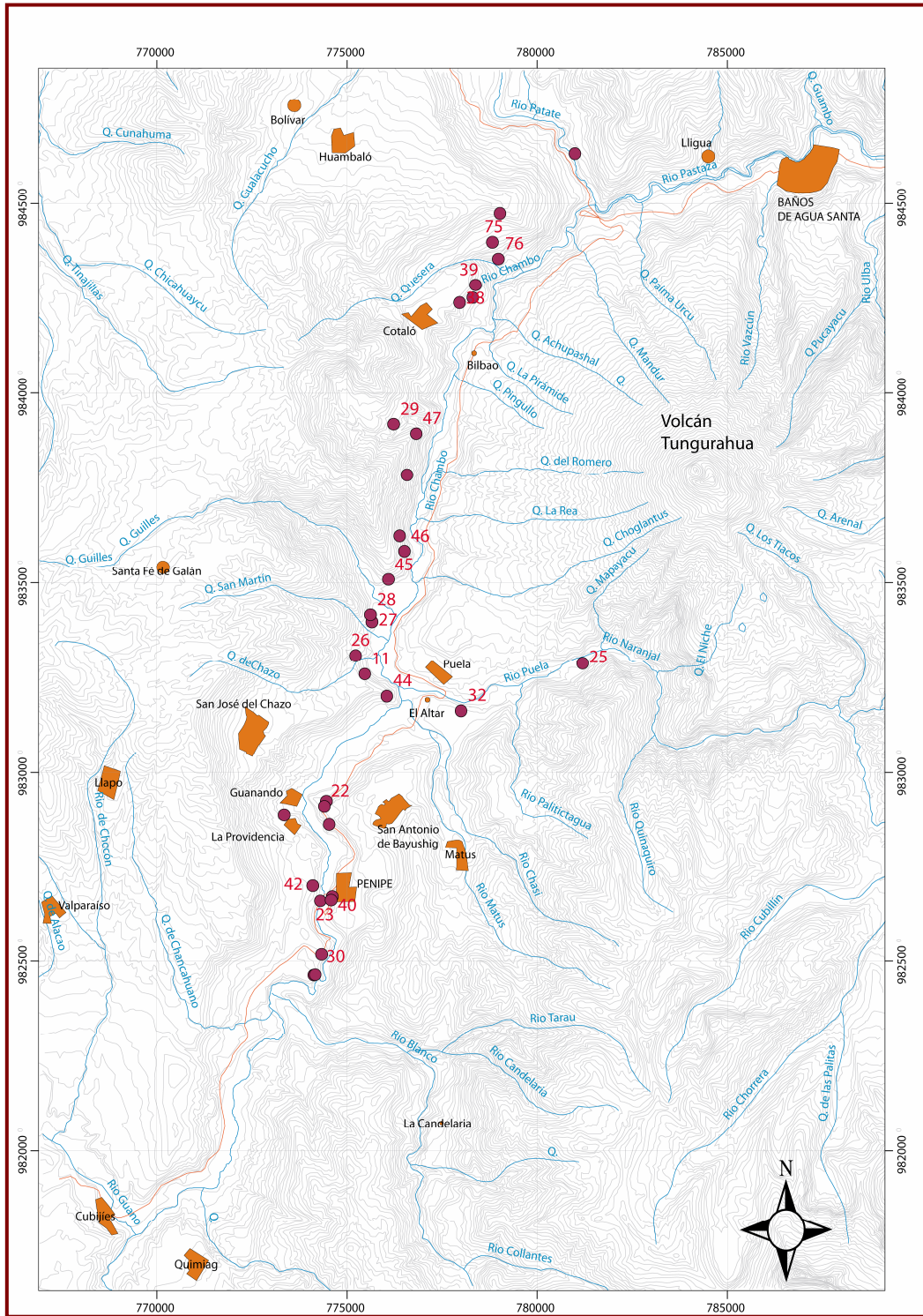
- ◆ DAD-Huisla
- ◆ DAD-Altar
- ◆ DAD-30 ka A.P.
- ◆ DAD-3 ka A.P.



**MAPA DE UBICACIÓN DE LAS MUESTRAS DE LA DAD-Huisla**

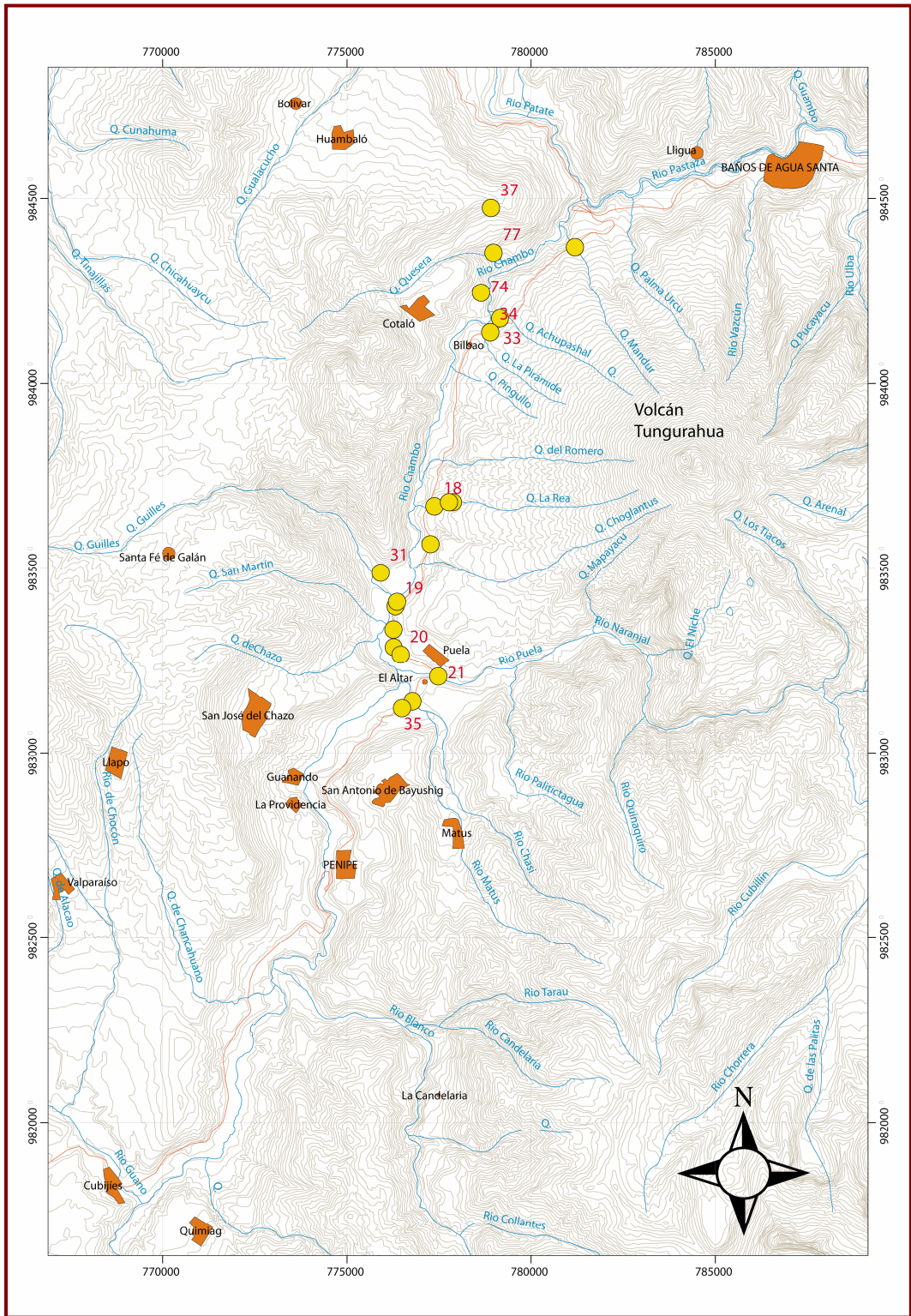


**MAPA DE UBICACIÓN DE LAS MUESTRAS DE LA DAD-Altar**



**MAPA DE UBICACIÓN DE LAS MUESTRAS DE LA DAD-30 ka A.P.**





**MAPA DE UBICACIÓN DE LAS MUESTRAS DE LA DAD-3 ka A.P.**

## **ANEXO 4**

### **RESUMEN DE LAS PRINCIPALES CARACTERISITICAS PETROGRAFICAS DE LAS MUESTRAS ESTUDIADAS.**

DAD	MUESTRA	ROCA	% vol para cada una de las fases minerales y matriz							TEXTURA	TAMAÑO de XX (mm)				
			Plag	Cpx	Opx	Hbda	Olivino	Opacos	Matriz		Plag	Cpx	Opx	Hbda	Olivino
DAD 30 Ka	TG-JB-11A	Andesita	80	7	0	0	0	3	10	Pofirítica	3	2	0	0	0
DAD 30 Ka	TG-JB-11B	Andesita	80	5		0	0	0	5	Afanítica-Hyalopilitica	Microlitos			0	0
DAD 30 Ka	TG-JB-22A	Andesita	15	8	5		0	0	72	Hyalopilitica	7	2	2	0	0
DAD 30 Ka	TG-JB-22C	Andesita	20	10	7	0	0	0	63	Glomeroporfirítica	3	2	4	0	0
DAD 30 Ka	TG-JB-23	Andesita	3	1		0	0	0	90	Afanítica-Hyalopilitica-Traquitica	0,4			0	0
DAD 30 Ka	TG-JB-24	Andesita	10	2	5	5	0	1	67	Glomeroporfirítica	3	0,4	0,8	2	0
DAD 30 Ka	TG-JB-25	Andesita	45	10	5	0	0	3	37	Pofirítica-Seriada	3	2	2	0	0
DAD 30 Ka	TG-JB-26A	Andesita	30	15	5	0	0	3	47	Porfirítica-Seriada	3	3	1.5	0	0
DAD 30 Ka	TG-JB-27A	Andesita	60	4	6	0	0	3	27	Glomeroporfirítica	2	0,8	0,8	0	0
DAD 30 Ka	TG-JB-27B	Andesita	25	9	6	0	0	6	60	Glomeroporfirítica	0,4	0,2	0,3	0	0
DAD 30 Ka	TG-JB-28	Andesita	50	10	15	0	0	0	25	Pofirítica-Seriada	1	< 0,5	<0,5	0	0
DAD 30 Ka	TG-JB-29	Andesita	40	10	15	1	0	3	36	Glomeroporfirítica	2	0,8	0,8	Tr	
DAD 30 Ka	TG-JB-30A	Andesita	20	0	3	10	0	5	62	Glomeroporfirítica	3	0	0,8	3	0
DAD 30 Ka	TG-JB-30B	Andesita con Hbl.	10	0	Trazas	7	0	0	80	Glomeroporfirítica	2	0	0,8	0,4	0
DAD 30 Ka	TG-JB-33	Andesita	60	7	3	0	0	1	19	Porfirítica-Seriada-Equigranular	0,8	0,8	0,5	0	0
DAD 30 Ka	TG-JB-36A	Andesita	80	10		0	0	7	3	Afanítica-Hyalopilitica	2			0	0
DAD 30 Ka	TG-JB-36B	Andesita	80	10		0	0	7	3	Hyalopilitica-Traquitica					
DAD 30 Ka	TG-JB-38	Andesita	10	3	5	0	0	2	80	Hyalopilitica	1,5	0,4	1	0	0
DAD 30 Ka	TG-JB-40A	Andesita	90	7		0	0	3	0	Afanítica-Hyalopilitica	< 2mm			0	0
DAD 30 Ka	TG-JB-40B	Andesita	90	7		0	0	3	0	Afanítica-Hyalopilitica	< 2mm			0	0

DAD	MUESTRA	ROCA	% vol para cada una de las fases minerales y matriz							TEXTURA	TAMAÑO de XX (mm)				
			Plag	Cpx	Opx	Hbda	Olivino	Opacos	Matriz		Plag	Cpx	Opx	Hbda	Olivino
DAD-Huisla	TG-JB-48	Andesita	50	12	8	0	0	2	23	Porfirítica-Pilotaxítica	0,8	0,2	0,3	0	0
DAD-Huisla	TG-JB-50	Andesita con Hbl.	25	5		15	0	3	52	Hyalopilítica-Intersertal	0,2	0,2		0,4	0
DAD-Huisla	TG-JB-51A	Andesita con Hbl.	15	5	3	10	0	3	60	Hyalopilítica-Intersertal	0,6	0,8	0,6	0,4	0
DAD-Huisla	TG-JB-55A	Andesita con Hbl.	25	6	9	3	0	15	40	Intergranular	0,3	0,2	0,2	0,4	0
DAD-Huisla	TG-JB-55B	Andesita con Hbl.	60	6	4	1	0	5	24	Intergranular	1	0,2	0,2	0,3	0
DAD-Huisla	TG-JB-55C	Andesita con Hbl.	20	5	7	5	0	2	61	Glomeroporfirítica	1	0,4	0,3	0,7	0
DAD-Huisla	TG-JB-55D	Andesita con Hbl.	30	9	6	1	0	5	20	Intergranular	0,4	0,4	0,3	0,2	0
DAD-Huisla	TG-JB-56	Andesita con Hbl.	20	5	7	7	0	15	46	Hyalopilítica	0,8	0,6	0,4	0,2	0
DAD-Huisla	TG-JB-57C	Andesita	40	5	15	0	0	0	40	Intersertal	0,4	0,2		0	0
DAD-Huisla	TG-JB-59C	Andesita con Hbl.	30	10		1	0	5	54	Glomeroporfirítica	0,5	0,2		0,3	0
DAD-Huisla	TG-JB-60A	Andesita con Hbl.	10	3	2	Trazas	0	0	65	Afanítica-Vitrofídica	1	0,5	0,3	Tr	0
DAD-Huisla	TG-JB-60B	Andesita con Oliv.	25	7	3	0	1	Trazas	60	Glomeroporfirítica	1	0,6	0,4	0	Tr
DAD-Huisla	TG-JB-60D	Andesita con Hbl.	25	3		10	0	0	65	Porfirítica-Microcristalina	3	Microlitos		0,8	0
DAD-Huisla	TG-JB-61	Andesita	20	Microlitos		0	0	0	80	Afanítica-Traquítica	0,1	Microlitos		0	0
DAD-Huisla	TG-JB-65	Andesita	80	4	1	0	0	0	15	Traquítica	0,8	0,4	0,3	0	0
DAD-Huisla	TG-JB-66	Andesita	60	10	5	0	0	10	15	Glomeroporfirítica	0,5	0,4	0,3	0	0
DAD-Huisla	TG-JB-67	Andesita	40	5	10	0	0	2	45	Porfirítica-Seriada	0,2	0,5	0,6	0	0
DAD-Huisla	TG-JB-68	Andesita	60	12	8	0	0	5	15	Glomeroporfirítica-Pilotaxítica	0,6	1	0,8	0	0

DAD	MUESTRA	ROCA	% vol para cada una de las fases minerales y matriz							TEXTURA	TAMAÑO de XX (mm)				
			Plag	Cpx	Opx	Hbda	Olivino	Opacos	Matriz		Plag	Cpx	Opx	Hbda	Olivino
DAD 30 Ka	TG-JB-42	Andesita	90	7		0	0	0	3	Afanítica-Hyalopilitica-Traquítica	Microlitos			0	0
DAD 30 Ka	TG-JB-75A	Andesita con Hbl.	10	5		2	0	Trazas	80	Glomeroporfírica	1	0,4		0,6	0
DAD 30 Ka	TG-JB-75B	Andesita	80	3	2	0	0	0	15	Porfírica-Hyalopilitica	2	1	1	0	0
	TG-JB-75C	Andesita	40	20	10	Trazas	0	Trazas	30	Porfírica-Seriada	0,5	0,5	0,5	0	0
DAD 30ka	TG-JB-76	Andesita	45	7	3	0	0	5	40	Glomeroporfírica	1,5	0,4	0,2	0	0
DAD 3 ka	TG-JB-18	Andesita	60	10	5	0	0	3	22	Glomeroporfírica	1	0,6	0,4	0	0
DAD 3 ka	TG-JB-19	Andesita	60	20	10	0	0	5	5	Glomeroporfírica	1	0,6	0,4	0	0
DAD 3 ka	TG-JB-20	Andesita	45	22	8	0	0	7	18	Glomeroporfírica	1	0,4	0,4	0	0
DAD 3 ka	TG-JB-21A	Andesita	45	15	10	0	0	5	25	Porfírica-Seriada	0,8	0,4	0,6	0	0
DAD 3 ka	TG-JB-34A	Andesita	35	15	10	0	0	0	40	Subofídica-Intergranular					
DAD	TG-JB-34B	Andesita	5	3		0	0	0	90	Hyalopilitica	0,4	0,2		0	0
	TG-JB-34C	Andesita	45	15	5	0	0	2	33	Porfírica-Equigranular	1	0,6	0,4	0	0
DAD 3 ka	TG-JB-35	Andesita	30	12	8	0	0	3	47	Pilotaxítica	4	0,5	0,4	0	0
DAD 3 ka	TG-JB-37A	Andesita con Hbl.	40	12	8	3	0	5	32	Porfírica-Seriada	0,5	0,2	0,2	0,4	0
DAD 3 ka	TG-JB-37B		40	12	8	3	0	5	32	Porfírica-Seriada	0,5	0,2	0,2	0,4	0
DAD 3 ka	TG-JB-39A	Andesita	30	15	10	0	0	Trazas	45	Porfírica-Seriada	1	0,4	0,3	0	0
DAD 3 ka	TG-JB-74	Andesita con Oliv-Hbl	65	7	3	Trazas	1	3	21	Glomeroporfírica-Pilotaxítica	1,5	0,4	0,4		
DAD 3 ka	TG-JB-77A	Andesita con Oliv-Hbl	65	10	5	Trazas	5	3	17	Glomeroporfírica-Seriada	0,6	0,4	0,3	Tr	0,3
DAD 3 ka	TG-JB-77B	Andesita con Oliv-Hbl	70	10	5	Trazas	1	3	20	Glomeroporfírica	0,6	0,5	0,4	0,4	0,2

DAD	MUESTRA	ROCA	% vol para cada una de las fases minerales y matriz							TEXTURA	TAMAÑO de XX (mm)				
			Plag	Cpx	Opx	Hbda	Olivino	Opacos	Matriz		Plag	Cpx	Opx	Hbda	Olivino
DAD-Huisla	TG-JB-69	Andesita con Oliv.	70	10	5	0	Trazas	0	15	Glomeroporfirítica	0,5	0,4	0,3	0	0,2
DAD-Huisla	TG-JB-70	Andesita	30	9	6	0	0	3	50	Glomeroporfirítica	0,5	0,4	0,3	0	0
DAD-Huisla	TG-JB-71	Andesita con Hbl.	Microlitos			25	0	0	75	Porfirítica-Pilotaxítica	Microlitos			0,1	0
DAD-Altar	TG-JB-30C	Andesita	1	Trazas		0	0	0	90	Vitrofídica	0,4	0,3	0,4	0	0
DAD-Altar	TG-JB-72B	Andesita con Hbl	5	Trazas		10	0	0	80	Porfirítica-Pilotaxítica	1,4	Trazas		1,6	0
DAD-Altar	TG-JB 72A	Andesita con Hbl	5	Trazas		10	0	0	80	Porfirítica-Pilotaxítica	1,4	Trazas		1,6	0
DAD-Altar	TG-JB-73	Andesita	1	Trazas		0	0	0	90	Vitrofídica	0,4	0,3	0,4	0	0

## **ANEXO 5**

# **ANÁLISIS QUIMICO DE LAS ROCAS DE LOS DEPÓSITOS DE AVALANCHA DE ESCOMBROS ESTUDIADOS (TG-JB) Y OTRAS ROCAS INCORPORADAS**

ANÁLISIS QUÍMICOS DE LAS ROCAS DE LOS DIFERENTES DEPOSITOS DE LAS DAD'S

VOLCÁN	MUESTRA	SiO2	TiO2	Al2O3	Fe2O3*	MnO	MgO	CaO	Na2O	K2O	P2O5	Sc	V	Cr	Co	Ni	Sr	Y	Zr	Ba										
Tungurahua I	TUN 53	55,41	1,14	18,13	8,34	0,12	3,5	6,83	4,28	1,86	0,38	15,3	190	13	21	14	726	22	153	825										
Tungurahua I	TUN 51	56,34	1,03	17,49	8,12	0,12	3,91	6,62	3,99	2,1	0,29	15,4	185	81	23	39	642	23	184	860										
Tungurahua I	TUN 41	56,6	0,88	16,3	7,9	0,12	5,58	7,16	3,72	1,51	0,23	18	196	238	27	89	600	14	111	664										
Tungurahua I	TUN 27B	56,62	1,04	17,29	8,06	0,13	4,08	6,56	3,91	2	0,3	16	170	84	24	39	630	22	183	775										
Tungurahua I	TUN 35	57,4	0,87	16,72	7,59	0,12	4,69	6,88	3,88	1,62	0,23	17,8	174	132	25	51	610	15,3	125	755										
Tungurahua I	MUESTRA	SiO2	TiO2	Al2O3	Fe2O3*	MnO	MgO	CaO	Na2O	K2O	P2O5	Sc	V	Cr	Co	Ni	Sr	Y	Zr	Ba										
DAD 30 Ka	TG-JB-30B	65,76	0,09	17,46	4,24	0,06	1,52	8,4	8,6	4,2	0,4	1,9	14,84	9,3	158,39	38,02	199,7	241,65	610,63	102,45	1542,89									
DAD 30 Ka	TG-JB-30C	58,928	0,882	17,2508	6,8559	0,119	1,23	7,2	4,76	3,95	0,56	4	23,75	1,753	0,23	0,417	0,515	5,5155	6	176,61	576,82	28,04	801,76	476,59	2935,8	2804,87				
DAD 30 Ka	TG-JB-30D	55,836	0,086	16,995	6,6807	0,09	1,13	7,8	1,15	8,8	4,94	2,64	12,92	1,69	3,1	15,5	150,01	166,17	0,5	10,67	1,3	20,33	741,97	695,63	148,47	1252,8				
DAD 30 Ka	TUN 54	56,927	0,087	17,106	7,967	0,14	1,14	8,13	9,7	3,8	2,73	7,7	1,58	1,9	2,3	15,7	20,3	151	60	100,30	21,36	38,30	592,04	17,40	15,20	890				
DAD 30 Ka	TUN 33E	59,388	0,068	16,829	6,816	0,10	1,3	4,76	3,8	5,13	3,53	2,1	14,2	0,17	16	16,3	160	131	56	179,05	21,56	7,580	45,42	16,28	15,830	900				
DAD 30 Ka	TUN 33A	66,345	0,099	16,567	6,557	0,09	0,93	4,2	1,35	8,4	2,4	0,34	14,9	2,38	1,9	0,24	13,2	9,3	13,8	106,96	21,19	12,38	8,543	53,31	17,63	18,10	1020			
DAD 30 Ka	TUN 33A	60,77	0,081	16,36	6,476	0,12	1,3	5,4	3,5	8,2	2,6	0,63	12,9	1,56	1,9	0,24	13,2	18,4	13,7	188,100	118,19	24,39	49,44	604,29	17,36	13,812	710			
DAD 30 Ka	TUN 33A	64,71	0,066	16,673	8,3367	0,14	1,4	11,53	7,3	3,83	3,74	1,8	3,35	3,23	2,5	0,23	21,3	7,8	21,8	76	34	16	23	8,13	8,635	435,96	20,55	29,647	1250	
DAD 30 Ka	TUN 32	64,78	0,064	16,695	8,3367	0,14	1,4	11,53	7,3	3,83	3,74	1,8	3,35	3,23	2,5	0,23	21,3	7,8	21,8	76	34	16	23	8,13	8,635	435,96	20,55	29,647	1250	
DAD 30 Ka	TG-JB-27A	56,67	0,064	16,107	6,443	0,10	1,3	7,6	1,4	5,8	3,29	4	2,4	8,5	0,5	3,25	2,6	0,23	15,23	7,7	16,2	67	96,8	8,8	15,7	75,33	60,81	425,26	203,78	290,68
DAD 30 Ka	TG-JB-32B	56,69	0,048	16,6	6,343	0,10	1,3	7,6	1,4	5,8	3,29	4	2,4	8,5	0,5	3,25	2,6	0,23	15,23	7,7	16,2	67	96,8	8,8	15,7	75,33	60,81	425,26	203,78	290,68
DAD 30 Ka	TG-JB-75A	57,48	0,79	16,93	9,49	0,11	2,76	5,87	4,38	1,87	0,33	10,68	140,26	47,14	14,69	7,85	708,06	14,83	155,26	868,42										
Tungurahua II	TUN 149	58,1	0,94	16,97	7,1722	0,11	0,1	2,8	4,07	5,86	6	4,7	1,9	1,63	0,24	11,55	15,2	130,99	173	102	22	471,86	696	13	131	13	131	690		
DAD 30 Ka	TG-JB-75B	58,76	0,93	17,12	7,1722	0,11	0,1	2,8	4,07	5,86	6	4,7	1,9	1,63	0,24	11,55	15,2	130,99	173	102	22	471,86	696	13	131	13	131	696,04		
Tungurahua II	TUN 140	59,9	0,85	17,61	5,18	0,11	0,09	4,2	3,85	6,42	4,24	1,8	2,08	0,29	0,21	17,97	16,6	166,24	184	122	18,5	43	742	15,6	12,9	129	784,19			
DAD 30 Ka	TG-JB-75C	57,27	0,94	16,66	7,78	0,11	0,1	4,2	3,85	6,42	4,24	1,8	2,08	0,29	0,21	17,97	16,6	166,24	184	122	18,5	43	742	15,6	12,9	129	784,19			
Tungurahua II	TUN 151	59,9	0,78	17,38	6,65	0,11	0,1	2,4	2,98	5,74	5,7	4,24	1,96	0,23	13,13	12,5	141,97	152	11,08	29	15,77	16,5	11,5	668	15,3	14,9	790,04			
DAD 30 Ka	TG-JB-30	59,63	0,83	17,45	6,62	0,11	0,1	2,4	2,98	5,74	5,7	4,24	1,96	0,23	13,13	12,5	141,97	152	11,08	29	15,77	16,5	11,5	668	15,3	14,9	790,04			
Tungurahua II	TUN 145	60,12	0,78	17,26	6,59	0,11	0,1	2,4	2,98	5,74	5,7	4,24	1,96	0,23	13,13	12,5	141,97	152	11,08	29	15,77	16,5	11,5	668	15,3	14,9	790,04			
DAD 30 Ka	TG-JB-40A	57,84	0,97	16,67	7,55	0,11	0,1	2,4	2,98	5,74	5,7	4,24	1,96	0,23	13,13	12,5	141,97	152	11,08	29	15,77	16,5	11,5	668	15,3	14,9	790,04			
Tungurahua II	TUN 144	60,72	0,79	16,65	6,51	0,11	0,1	3,34	3,55	4,4	4,4	1,8	2	0,33	0,19	15,99	11,6	179,76	130,91	00	18,5	34	565	17,92	135,55	146	765,37			
DAD 30 Ka	TG-JB-40B	57,47	0,97	16,65	7,37	0,11	0,1	4,4	3,4	6,8	4,4	1,8	2	0,33	0,19	15,99	11,6	179,76	130,91	00	18,5	34	565	17,92	135,55	146	765,37			
Tungurahua II	TUN 313	61	0,72	16,28	6,4	0,11	0,1	3,3	3,5	3,9	3,8	1,9	1,9	0,18	0,18	13,2	15,4	146,36	154	83	19	33	535	14,2	12,4	767,79				
DAD 30 Ka	TG-JB-319	59,6	0,78	16,24	5,57	0,08	0,1	3,5	3,5	3,9	4,23	2,16	1,3	0,25	0,31	13,31	14,6	146,36	154	83	19	33	535	14,2	12,4	767,79				
Tungurahua II	TUN 319	54,22	1,03	17,07	8,84	0,13	0,13	5,53	7,83	3,73	1,36	0,26	20	212	20	146,36	154	83	19	33	535	14,2	12,4	767,79						
DAD 30 Ka	TG-JB-16	60,36	0,73	15,5	6,73	0,11	0,1	4,58	5,76	3,86	3,2	0,19	18,86	131,85	194,24	17,01	63,86	470,1	14,62	170,25	829,13									
DAD 3 Ka	TG-JB-34A	57,02	0,89	17,08	7,31	0,11	0,1	4,42	6,85	4,3	1,76	0,27	17,71	168,92	119,62	19,45	44,99	716,12	18,11	138,15	782,34									
DAD 3 Ka	TG-JB-34B	55,42	0,97	18,28	7,75	0,12	0,1	3,83	7,46	4,46	1,41	1,67	0,8	17,06	192,22	36,92	19,85	18,88	77,868	18,57	123,92	688,01								
DAD 30 Ka	TG-JB-26A	57,99	0,86	16,22	7,35	0,11	0,1	5,12	6,74	3,75	1,1	1,67	0,2	17,06	174,45	169,3	230,7	10,99	37,19	519,37	16,8	29,42	16,8	29,42	16,8	29,42	714,77			
DAD 3 Ka	TG-JB-34C	57,42	0,89	17,02	7,33	0,11	0,1	4,4	5,88	4,19	1,76	0,27	17,88	183,15	123,2	19,89	18,88	685,06	17,52	126,89	780,14									
DAD 30 Ka	TG-JB-27A	62,82	0,74	16,33	5,32	0,09	0,09	2,7	5,93	4,4	1,76	0,27	17,88	183,15	123,2	19,89	18,88	685,06	17,52	126,89	780,14									
DAD 3 Ka	TG-JB-35B	55,93	1,24	16,33	8,29	0,12	0,1	4,3	6,7	5,9	4,93	2,29	0,38	0,24	20,29	11,6	121,73	87,59	181,78	21,4	55,99	581,32	19,45	210,31	834,02	875,13				
DAD 30 Ka	TG-JB-35B	61,83	0,74	16,22	8,29	0,12	0,1	4,3	6,7	5,9	4,93	2,29	0,38	0,24	20,29	11,6	121,73	87,59	181,78	21,4	55,99	581,32	19,45	210,31	834,02	875,13				
DAD 3 Ka	TG-JB-18	59,59	0,8	16,55	6,59	0,1	0,07	3,9	2,2	6,1	4,97	4,26	2,09	4,22	0,2	23,41	7,93	138,02	96,19	38,89	18,2	56,17	532,73	14,58	113,75	776,61	941,52			
DAD 30 Ka	TG-JB-18	63,29	0,74	16,48	5,15	0,1	0,07	2,2	4,1	4,97	4,26	2,09	4,22	0,2	23,41	7,93	138,02	96,19	38,89	18,2	56,17	532,73	14,58	113,75	776,61	941,52				
DAD 3 Ka	TG-JB-20	60,74	0,78	16,247	6,22	0,1	0,1	3,3	4,5	5,84	5,8	4,1	4,2	2,21	2,0	23,55	2,3	130,25	30	74,2	2,0	16,29	15,96	45,33	45	59,13	15,50	94		
DAD 30 Ka	TG-JB-20	60,74	0,78	16,247	6,22	0,1	0,1	3,3	4,5	5,84	5,8	4,1	4,2	2,21	2,0	23,55	2,3	130,25	30	74,2	2,0	16,29	15,96	45,33	45	59,13	15,50	94		
DAD 3 Ka	TG-JB-21A	58,61	0,81	16,228	6,64	0,1	0,1	3,8	4,6	5,84	5,8	4,1	4,2	2,21	2,0	23,55	2,3	130,25	30	7										



VOLCÁN	MUESTRA	SiO2	TiO2	Al2O3	Fe2O3*	MnO	MgO	CaO	Na2O	K2O	P2O5	Sc	V	Cr	Co	Ni	Sr	Y	Zr	Ba
Huisla	HUI 107	55,05	0,96	18,31	8,18	0,13	4,44	6,81	4,24	1,56	0,31	15,8	208	80	27	54	978	15	115	820
Huisla	HUI 113	55,19	1,02	18,55	8,25	0,13	4	7,25	4,07	1,31	0,24	18,2	206	33	24	30	728	16,5	106	625
Huisla	HUI 108	55,78	1,03	18,93	8,04	0,12	3,43	6,65	4,32	1,43	0,27	16	192	17	22	25	742	17,9	125	670
Huisla	HUI 93C	55,8	0,88	16,94	8,43	0,13	5,3	7,16	3,66	1,46	0,25	17,3	194	100	32	75	742	13,4	108	632
Huisla	HUI 93A	55,85	0,96	17,64	8,46	0,12	4,19	6,96	3,89	1,63	0,29	13	188	57	24	43	772	12,5	112	702
Huisla	HUI 91	55,97	0,94	18,56	7,82	0,12	3,55	6,54	4,45	1,72	0,32	11,8	176	66	24	47	992	14,2	118	876
Huisla	HUI 116	56,34	0,97	17,57	8,18	0,13	4,49	6,88	3,8	1,39	0,25	18,4	190	71	25	41	710	15,5	114	710
Huisla	HUI 112	56,66	0,89	20,11	6,79	0,1	2,17	6,33	4,78	1,83	0,34	9,6	155	18	18	20	1130	17	135	940
Huisla	HUI 115	56,85	0,89	17,17	7,59	0,11	4,68	7,18	3,79	1,51	0,24	17	182	96	25	60	785	15	115	885
Huisla	HUI 93E	56,95	0,91	18,14	7,74	0,12	3,34	6,67	4,12	1,69	0,3	13,8	185	27	22	32	838	13,5	128	775
Huisla	HUI 114	57,7	0,89	18,96	6,71	0,09	2,76	6,3	4,49	1,84	0,25	11,6	166	23	18,5	26	877	14,6	120	885
Huisla	HUI 93B	57,8	0,85	18,41	7,18	0,11	2,96	6,54	4,26	1,61	0,27	12,8	163	28	21	30	765	12,8	132	775
Huisla	HUI 110	58,34	0,82	19,51	6,39	0,1	2,23	5,77	4,68	1,86	0,28	10	136	15,5	16	20	785	17,3	137	825
Huisla	HUI 93D	59,18	0,81	17,94	6,72	0,11	2,77	5,8	4,43	1,96	0,28	12	155	29	21	25	750	15,2	148	900
Huisla	HUI 109	65,05	0,53	17,24	4,49	0,08	1,37	4,3	4,39	2,34	0,19	6,7	75	12	10	10	596	13,4	158	1000
Huisla	HUI 111	66,2	0,54	16,25	4,24	0,07	1,76	3,96	4,04	2,78	0,16	7,5	76	25	11	16	516	12,5	175	1070
Huisla	TG-JB-65	56,68	0,93	17,13	7,05	0,11	4,99	7,45	3,93	1,44	0,29	18,96	173,37	110,22	20,28	55,86	781,7	17,39	112,74	752,98
Huisla	TG-JB-66	57,59	0,92	18,78	6,64	0,09	2,95	6,48	4,46	1,79	0,29	13,74	153,31	26,39	17,68	30,72	779,96	14,83	119,63	824,25
Huisla	TG-JB-67	55,56	1,06	18,45	7,3	0,13	4,24	7,67	4,02	1,3	0,27	21,1	208,08	39,91	23,84	39,56	749,04	18,64	109,81	618,45
Huisla	TG-JB-68	56,14	0,91	17,35	7,3	0,13	4,95	7,27	3,85	1,78	0,33	17,67	178,14	133,66	22,47	66,73	958,52	17,3	108,67	886,7
Huisla	TG-JB-69	57,38	0,87	17,64	6,46	0,11	4,33	6,93	4,13	1,84	0,31	16,39	166,68	93,91	20,9	64,33	859,1	16,99	111,44	807,63
DAD HUISLA	TG-JB-48	59,39	0,84	16,56	6,91	0,1	3,8	6,31	3,98	1,88	0,22	16,31	155,2	94,78	17,53	30,71	579,81	16,65	138,27	822,52
DAD HUISLA	TG-JB-55A	63,05	0,63	17,08	5,3	0,11	1,99	4,7	4,61	2,25	0,28	8,3	88,29	13,83	10,61	4,52	618,91	12,14	172,81	927,84
DAD HUISLA	TG-JB-55B	63,05	0,63	17,08	5,3	0,11	1,99	4,7	4,61	2,25	0,28	16,43	159,26	28,08	17,28	15,14	545,14	15,55	126,32	771,85
DAD HUISLA	TG-JB-55C	59,65	0,86	16,97	6,8	0,11	3,39	6,16	3,83	2,02	0,23	286,11	161,09	30,62	17,96	12	554,42	14,47	123,68	745,84
DAD HUISLA	TG-JB-55D	59,34	0,85	17,15	6,79	0,11	3,39	6,27	3,95	1,91	0,23	16,07	174,16	22,45	15,34	13,8	551,11	14,83	121,6	748,64
DAD HUISLA	TG-JB-56	58,7	0,84	17,11	7,62	0,11	3,24	6,17	4,08	1,89	0,22	16,69	156,56	23,53	17,98	16,83	548,83	15,25	133,54	761,22
DAD HUISLA	TG-JB-57C	60,71	0,76	16,73	6,51	0,09	3,17	5,74	4,1	1,99	0,21	15,79	140,98	49,89	15,08	24,11	566,11	13,82	131,53	799,58
DAD HUISLA	TG-JB-59C	59,44	0,96	17,33	7,27	0,1	2,59	5,46	4,42	2,08	0,35	12,26	144,61	4,7	15,91	9,43	811,9	15,19	183,43	864,11
DAD HUISLA	TG-JB-70	62,9	0,72	16,22	5,27	0,09	3,02	5,38	3,9	2,3	0,2	14,77	129,56	55	14,9	24,49	542,81	13,6	140,9	939,85
DAD HUISLA	TUNG 46	58,82	0,85	18,54	6,4	0,1	2,54	6,32	4,23	1,95	0,25	11	133	12	17	15	772	14,3	122	780
DAD HUISLA	TUNG 45	60,17	0,82	17	6,7	0,11	3,18	5,99	3,87	1,95	0,21	14,5	168	20	18	13	546	16,2	110	730
DAD HUISLA	TUNG 44B	60,98	0,75	17,11	6,37	0,11	2,72	5,68	3,98	2,08	0,22	12,2	127	18	17	12	543	16,4	131	808
DAD HUISLA	TUNG 44A	58,22	0,89	17,21	7,44	0,12	3,67	6,63	3,88	1,71	0,23	15,4	160	40	20	22	568	16,8	101	720
DAD HUISLA	TUNG 39	62,23	0,72	16,68	5,84	0,1	2,58	5,29	4,24	2,12	0,2	10,9	125	45	15	20	558	15,2	150	910
DAD HUISLA	TG-JB-60A	52,9	1,31	16,2	12,04	0,12	4,3	6,95	3,76	1,96	0,45	17,97	200,13	101,04	24,98	55,78	671,04	151,29	213,7	717,37

VOLCÁN	MUESTRA	SiO2	TiO2	Al2O3	Fe2O3*	MnO	MgO	CaO	Na2O	K2O	P2O5	Sc	V	Cr	Co	Ni	Sr	Y	Zr	Ba
DAD HUISLA	TG-JB-60B	52,76	1,18	16,31	11,58	0,12	4,9	7,13	3,76	1,87	0,39	19,4	206,04	118,35	23,22	49,47	717,1	19	180,85	696,21
DAD HUISLA	TG-JB-60D	52,47	1,61	15,33	13,16	0,12	4,29	6,41	3,86	2,16	0,57	18,98	221,86	94,31	25,82	46,11	622,29	20,69	271,13	835,69
DAD HUISLA	TG-JB-51A	57,03	0,95	17,14	7,95	0,12	3,92	6,86	4,02	1,75	0,25	20,51	169,81	23,98	18,4		539,28	17,38	146,06	641,27
DAD HUISLA	TG-JB-50	61,82	0,76	16,47	6,2	0,1	2,71	5,15	4,43	2,14	0,23	12,66	120,72	25,88	15,64		520,13	13,4	155,32	837,47
DAD HUISLA	TG-JB-71	62,93	0,57	16,26	5,29	0,1	2,93	5,31	4,58	1,83	0,2	17,59	169,46	128,47	21,65	49,24	605,45	16,54	150,65	827,48
DAD HUISLA	TG-JB-61	58,22	1,73	15,41	9,17	0,12	2,46	5,25	4,18	2,89	0,56	19,15	247,73		22,2	11,5	425	22,21	315,18	1031,78
DAD HUISLA	TG-JB-58B	59,47	0,79	17,75	6,75	0,11	2,63	5,66	4,38	2,15	0,3	11,47	143,87	4,1	12,83	3,77	661,65	15,51	152,49	884,64

DAD ALATAR	TG-JB-72B	64,02	0,63	17,26	4,23	0,06	1,63	4,59	4,89	2,47	0,22	7,22	81,4	29,2	8,25	14,32		10,69	212,42	1008,41
DAD ALATAR	TG-JB-73	61,27	1,16	16,64	6,33	0,09	1,93	4,6	4,7	2,82	0,45	11,37	142,46	6,99	16,06	7,36		15,99	264,61	1165,51
DAD ALATAR	TG-JB-30C	61,2	1,15	16,7	6,21	0,09	1,92	4,51	4,83	2,94	0,45	10,44	134,36	22,16	15,65	12,39	629,39	14,61	265,99	1126,38
DAD ALATAR	TG-JB 72A	64,12	0,62	17,25	4,28	0,06	1,59	4,51	4,9	2,46	0,23	7,3	78,5	5,75	9,9		651,48	9,94	219,03	948,3
El Altar	RIO 35	51,94	0,97	17,22	9,29	0,15	6,59	9,27	3,24	1,09	0,25	27	255	187	34	88	700	18,4	100	570
El Altar	RIO 123	53,43	0,95	16,71	8,59	0,14	6,55	8,57	3,41	1,4	0,25	24	228	190	32	88	770	16,5	103	660
El Altar	RIO 127B	53,73	0,96	16,71	8,76	0,14	6,16	8,66	3,31	1,3	0,26	23	228	177	32	84	765	16,3	103	690
El Altar	RIO 36A	54,55	0,99	18,08	8,29	0,13	4,55	7,69	3,81	1,62	0,29	17,7	210	60	26	38	835	16,5	114	785
El Altar	RIO 36B	54,67	0,98	18,39	8,22	0,12	4,17	7,84	3,7	1,64	0,26	17,8	210	42	25	35	824	17,8	107	745
El Altar	ALT 152	54,82	0,9	16,68	8,26	0,17	6,05	7,56	3,93	1,37	0,26	19	200	210	30	97	800	15,3	42	780
El Altar	RIO 122B	55,24	0,94	17,75	8,13	0,13	4,76	7,26	3,76	1,71	0,31	16,5	189	90	27	60	850	16,9	115	820
El Altar	RIO 47C	55,25	0,9	17,88	7,95	0,13	4,55	7,07	4,09	1,88	0,3	14,7	181	93	27	57	875	15,4	37	905
El Altar	RIO 56A	55,83	0,93	17,9	7,69	0,12	4,13	7,38	4,05	1,7	0,28	15,3	194	113	29,5	75	850	15	125	820
El Altar	RIO 40	56,12	0,89	17,03	7,86	0,12	4,88	7,46	3,6	1,78	0,27	18,9	206	125	26	63	770	16,5	118	810
El Altar	RIO 38	56,52	0,9	17,51	8,02	0,13	3,9	7,17	3,77	1,81	0,27	18	200	100	28	64	780	16,1	125	855
El Altar	RIO 31E	56,59	0,95	18,39	7,02	0,12	2,59	8,19	4,02	1,76	0,37	18,2	210	94	16	27	1055	17	120	950
El Altar	RIO 57A	56,68	0,84	17,45	7,46	0,12	4,1	7,21	3,9	1,97	0,26	15,2	182	85	27	60	795	15,3	115	910
El Altar	RIO 31D	57,23	0,99	19,5	6,6	0,14	1,73	6,83	4,37	2,28	0,35	11,8	165	8	16	12	808	19,5	161	930
El Altar	RIO 39B	57,28	1	18,04	7,09	0,1	2,9	7,82	3,76	1,7	0,31	18,7	221	205	16	38	1005	16	112	835
El Altar	RIO 33D	57,66	0,83	17,7	7,12	0,11	3,62	6,68	3,94	2,08	0,25	15,4	182	46	22	37	815	14,6	120	980
El Altar	RIO 41	58,03	0,76	18,47	7,22	0,13	2,42	6,26	4,22	2,16	0,34	9,8	158	4	18	9	890	15,4	136	1000
El Altar	RIO 37	58,27	0,73	18,42	7,2	0,12	2,55	5,79	4,35	2,23	0,35	9,1	147	3	17	8	885	15,5	138	990
El Altar	RIO 39A	58,46	0,89	19,62	5,31	0,09	2,11	6,61	4,35	2,22	0,34	10,5	142	10	12	14	982	18	130	1075
El Altar	RIO 31C	58,79	0,7	17,84	6,84	0,12	3,07	5,98	4,26	2,09	0,31	10,8	132	29	18	24	845	15,5	135	970
El Altar	RIO 31A	58,95	0,8	18,56	6,22	0,1	2,33	5,97	4,35	2,35	0,38	10,2	135	13	15	16	880	18,4	155	1100
El Altar	RIO 33B	59,03	0,87	18,48	6,38	0,1	2,54	6,02	3,98	2,35	0,25	12,3	165	4	17	7	781	17	142	980
El Altar	RIO 33C	59,05	0,91	18,66	6,27	0,1	2,26	6,39	3,94	2,16	0,25	13,8	180	5	16	7	793	16,5	139	980
El Altar	RIO 31B	59,48	0,67	17,84	6,72	0,13	2,62	5,75	4,28	2,18	0,32	9,2	122	13	16	14	860	15,8	136	1035

<b>VOLCÁN</b>	<b>MUESTRA</b>	<b>SiO2</b>	<b>TiO2</b>	<b>Al2O3</b>	<b>Fe2O3*</b>	<b>MnO</b>	<b>MgO</b>	<b>CaO</b>	<b>Na2O</b>	<b>K2O</b>	<b>P2O5</b>	<b>Sc</b>	<b>V</b>	<b>Cr</b>	<b>Co</b>	<b>Ni</b>	<b>Sr</b>	<b>Y</b>	<b>Zr</b>	<b>Ba</b>
<i>El Altar</i>	<b>ALT 153</b>	59,8	0,81	18,9	5,22	0,27	2,34	5,32	4,95	2,16	0,23	10	140	42	13	22	705	14,7	88	940
<i>El Altar</i>	<b>RIO 56C</b>	60,09	0,8	19,3	4,63	0,07	2,08	6,54	4,03	2,22	0,22	9,5	142	44	14	25	775	17,2	135	1000
<i>El Altar</i>	<b>RIO 121A</b>	60,63	0,69	17,89	6,13	0,09	2,38	4,71	4,55	2,56	0,36	8	98	15	14	11	744	16,5	146	1130
<i>El Altar</i>	<b>ALT 154</b>	61,01	0,52	18,26	5,26	0,16	1,71	4,6	5,24	2,84	0,38	5	80	3	11	4	980	14,9	77	1350
<i>El Altar</i>	<b>RIO 33A</b>	61,31	0,66	17,65	6,02	0,12	1,77	4,55	4,85	2,67	0,4	6,8	90	3	13	4	753	17	182	1220
<i>El Altar</i>	<b>RIO 32</b>	61,44	0,66	17,81	6,02	0,11	1,66	4,41	4,79	2,69	0,41	7	92	3,5	13	5	745	19	184	1225
<i>El Altar</i>	<b>RIO 39C</b>	61,93	0,65	17,77	5,77	0,09	1,55	4,61	4,66	2,57	0,39	6,8	90	2,5	12	9	760	17,5	168	1245
<i>El Altar</i>	<b>RIO 34</b>	62,42	0,64	17,32	5,56	0,12	1,53	4,06	4,91	3,07	0,36	6,9	70	2	10	2	630	18,8	182	1280
<b>DAD-SM</b>	<b>TG-JB-62</b>	58,67	1,5	16,1	8,47	0,1	2,26	5,63	4,18	2,56	0,53	18,29	230,74	4,65	18,98	7,48	527,2	21,72	282,71	994,55