



# UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

---

---

## PROGRAMA DE POSGRADO EN CIENCIAS DE LA TIERRA

**ESTRATIGRAFÍA DE LOS FLUJOS DE BLOQUES Y CENIZA ASOCIADOS A LA  
ACTIVIDAD 2005 EN EL VOLCÁN DE COLIMA, MÉXICO**

### **T E S I S**

QUE COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO DE:  
MAESTRO EN CIENCIAS DE LA TIERRA (VULCANOLOGÍA)

P R E S E N T A

VICTOR RAMÓN VARGAS GUTIÉRREZ

#### **JURADO EXAMINADOR**

DR. GERARDO CARRASCO NÚÑEZ (Director de Tesis)

DRA. LUCÍA CAPRA PEDOL

DR. NICK VARLEY

DR. DAMIANO SAROCCHI

DR. SERGIO RODRÍGUEZ ELIZARRARÁS



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

**RESUMEN  
ABSTRACT****CAPÍTULO I****INTRODUCCIÓN**

I.1 Localización.....	1
I.2 Antecedentes.....	1
I.3 Objetivos	
I.3.1 Generales.....	4
I.3.2 Particulares.....	4
I.4 Importancia del trabajo.....	5

**CAPITULO II****MARCO GEOLÓGICO**

II.1 Marco Tectónico y Geología Regional del Sector W de la FVTM.....	6
II.2 Complejo Volcánico de Colima.....	11
II.2.1 Basamento Cretácico-Terciario Inferior.....	11
II.2.2 Volcán El Cántaro.....	13
II.2.3 Volcán Nevado de Colima.....	13
II.2.4 Volcán de Colima (Paleofuego-Actual).....	15
II.3 Historia Eruptiva del Volcán de Colima 1576-2009.....	18

**CAPITULO III****FLUJOS DE BLOQUES Y CENIZAS (FBC)**

III.1 Corrientes de Densidad Piroclásticas (CDPs).....	22
III.1.1 Clasificación Genética de las CDPs.....	25
III.1.2 Modelos Reológicos de las CDPs.....	29
III.2 Introducción a los FBC y Trabajos Previos.....	32
III.3 Caracterización de los FBC.....	36
III.4 Modelos de Emplazamiento de FBC.....	39

**CAPITULO IV****METODOLOGÍA**

IV.1 Recopilación de Información.....	42
IV.2 Trabajo de Campo.....	43
IV.3 Trabajo de Laboratorio.....	45
IV.3.1 Análisis Granulométrico.....	45
IV.3.2 Análisis de Componentes.....	51
IV.3.3 Análisis Petrográfico.....	51
IV.3.4 Análisis Geoquímico.....	52
IV.4 Parámetros Estadísticos.....	53
IV.5 Análisis Dimensional- Volumen.....	55

**CAPITULO V****DESCRIPCIÓN DE EVENTOS PIROCLÁSTICOS**

V.1 Introducción.....	59
V.2 Descripción Detallada de los Principales Eventos.....	62
V.2.1 Septiembre del 2004.....	62
V.2.2 Octubre del 2004.....	62
V.2.3 Noviembre del 2004 – Enero del 2005.....	63
V.2.4 12 de Febrero del 2005.....	63
V.2.5 10 de Marzo del 2005.....	65
V.2.6 13 de Marzo del 2005.....	65



V.2.7	10 de Mayo del 2005.....	65
V.2.8	15 de Mayo del 2005.....	66
V.2.9	23 de Mayo del 2005.....	66
V.2.10	30 de Mayo del 2005.....	69
V.2.11	01 de Junio del 2005.....	69
V.2.12	05 de Junio del 2005.....	71
V.2.13	09 de Junio del 2005.....	72
V.2.14	05 de Julio del 2005.....	72
V.2.15	27 de Julio del 2005.....	73
V.2.16	16 de Septiembre del 2005.....	73
V.2.17	27 de Septiembre del 2005.....	73
<b>CAPITULO VI</b>		
<b><u>ESTRATIGRAFÍA Y DISTRIBUCIÓN DE FACIES</u></b>		
VI.1	Parámetros Descriptivos.....	75
VI.2	Estratigrafía y Distribución Espacial de los Depósitos.....	75
VI.2.1	Identificación de Depósitos Piroclásticos y de Lahar.....	103
VI.2.2	Barranca Montegrande.....	105
VI.2.3	Barranca La Arena.....	108
VI.3	Correlaciones Estratigráficas.....	111
VI.3.1	15 de Mayo del 2005.....	116
VI.3.2	30 de Mayo del 2005.....	116
VI.3.3	05 de Junio del 2005.....	118
VI.3.4	09 de Junio del 2005.....	119
VI.3.5	05 de Julio del 2005.....	120
VI.3.6	16 de Septiembre del 2005.....	122
VI.4	Observaciones Estratigráficas Especiales en los FBC de Colima.....	123
VI.4.1	Oleadas Piroclásticas.....	123
VI.4.2	Léeves y Frentes Lobulados.....	125
VI.4.3	Rasgos de temperatura.....	126
VI.5	Interpretaciones.....	128
<b>CAPÍTULO VII</b>		
<b><u>GRANULOMETRÍA</u></b>		
VII.1	Introducción (Parámetros Estudiados) .....	133
VII.2	Resultados y Correlación Granulométricas.....	135
VII.2.1	Barranca Montegrande.....	135
VII.2.2	Barranca La Arena.....	147
VII.3	Análisis de Componentes.....	156
<b>CAPITULO VIII</b>		
<b><u>PETROGRAFÍA Y GEOQUÍMICA</u></b>		
VIII.1	Análisis Petrográfico.....	160
VIII.1.1	Características Minerales.....	161
VIII.1.2	Significado Petrográfico.....	168
VIII.2	Análisis Geoquímico.....	170
VIII.2.1	Oxidos Mayores.....	170
VIII.2.2	Elementos Traza.....	175
VIII.2.3	Variaciones composicionales a través del tiempo.....	178
<b>CAPITULO IX</b>		
<b><u>DISCUSIONES Y CONCLUSIONES</u></b>		
IX.1	Eventos Piroclásticos 2004-2005.....	181
IX.2	Integración de Datos .....	183
IX.2.1	Estratigrafía y Granulometría.....	183
IX.2.2	Componentes, Petrografía y Geoquímica.....	183



IX.3 Mecanismos de Emplazamiento.....	186
IX.3.1 Desarrollo de los FBC en el Volcán de Colima (2005) .....	187
IX.3.2 Dinámica de transporte.....	189
IX.3.3 Discusión con respecto a los mecanismos de emplazamiento.....	191
IX.4 Cálculo de Volúmenes.....	192
<b>APÉNDICES</b> .....	
APENDICE 1 Trabajo de Campo.....	193
APENDICE 2 Trabajo de Laboratorio.....	195
APENDICE 3 Estratigrafía y Distribución de Facies.....	200
AP.3.1 Color.....	200
AP.3.2 Rango de Estratificación.....	200
AP.3.3 Espesor.....	201
AP.3.4 Estructura.....	201
AP.3.5 Compactación.....	202
AP.3.6 Variaciones Verticales-Laterales.....	202
AP.3.7 Contactos.....	203
AP.3.8 Estructuras de Desgasificación.....	204
AP.3.9 Vegetación.....	204
AP.3.10 Componentes Principales.....	204
AP.3.11 Tamaño de las Partículas .....	205
AP.3.12 Redondez.....	205
AP.3.13 Gradación.....	206
APENDICE 4 Parámetros Granulométricos.....	207
APENDICE 5 Análisis de Componentes.....	209
APENDICE 6 Análisis Petrográfico.....	213
APENDICE 7 Cálculo de Volúmenes.....	217
<b>BIBLIOGRAFÍA</b> .....	219



INDICE DE FIGURAS

<b>Figura I.1.</b> Ubicación del área de Estudio en diferentes escalas.....	<b>2</b>
<b>Figura II.1</b> Situación tectónica general de México y la Faja Volcánica Trans-Mexicana.....	<b>7</b>
<b>Figura II.2A</b> Tectónica general del oeste de México.....	<b>9</b>
<b>Figura II.2B</b> Rasgos tectónicos-estructurales más importantes de la region de estudio.....	<b>9</b>
<b>Figura II.3</b> Columnas cronológicas de los eventos principales en el CVC.....	<b>12</b>
<b>Figura II.4</b> Imágen LANDSAT (falso color), sobre la cual se muestran rasgos topográficos (Estructura de Caldera del Volcán de Colima Ancestral -EC-), así como la distribución generalizada de los flujos de lava desde 1869 al presente, modificado de <a href="#">Luhr (2002)</a> . Asimismo, las principales barrancas de emplazamiento de los Flujos de Bloques y Ceniza del 2005.....	<b>17</b>
<b>Figura II.5 (A-E)</b> Imágenes históricas del Volcán de Colima, extraídas de <a href="#">Bretón et al.,(2002)</a> <b>(F)</b> Descripción esquemática de las 5 etapas principales en los últimos dos ciclos del Volcán de Colima.....	<b>19</b>
<b>Figura III.1A.</b> Principales tipos de Corrientes de Densidad Piroclástica <b>B.</b> Clasificación genética de los principales tipos de Corriente Piroclásticas Concetradas (CPC).....	<b>23</b>
<b>Figura III.2</b> Diagrama ilustrando diferentes mecanismos propuestos para la generación de Corrientes de Densidad Piroclásticas (CDPs).....	<b>26</b>
<b>Figura III.3A</b> Proceso de Formación y las unidades idealizadas para los depósitos de Ignimbritas según <a href="#">Sparks et al. 1973</a> . Modelo de Deposición en Masa <b>B.</b> Modelo esquemático propuesto por <a href="#">Wilson y Walker (1982)</a> , que ilustra la forma en que transporta y deposita un flujo piroclástico <b>C y D.</b> Modelos alternativos para el emplazamiento de ignimbritas propuestos por <a href="#">Branney y Kokelaar (1997)</a> . En C1) se presenta una modificación al modelo de <a href="#">Wilson y Walker (1982)</a> , -Deposición en Masa- y C2) muestra el proceso de Agradación Continua mediante una CDPs Sostenida.....	<b>30</b>
<b>Figura III.4</b> (Izquierda) Diagrama que muestra el desarrollo de un Flujo de Bloques y Ceniza (FBC) y la Oleada de Nube de Ceniza (Ash Cloud Surge) por segregación gravitacional proveniente de un flujo turbulento desde la fuente volcánica. (Derecha) Las columnas estratigráficas muestran una marcada segregación gravitacional lateral, pasando de un flujo turbulento a un regimen más laminar, generando en primera instancia, los depósitos primarios de FBC -normalmente confinado al valle- y de mayor alcance, los depósitos de Oleada de Nube de Ceniza primario y Secundario -sin control topográfico existente-.....	<b>40</b>
<b>Figura IV.1 A)</b> Fotografía seleccionada para aplicar la técnica de Rosiwal modificada (muestra PF06-45). <b>B)</b> Trazado de las <i>Líneas de Medición</i> , líneas rectas paralelas a la superficie de depósito. <b>C)</b> Imagen con los <i>Segmentos de Cruce</i> trazados para la misma	



<p>muestra. En la Figura <b>D</b>) es posible ver un acercamiento de los segmentos de cruce, los cuales inician con números nones y terminan con pares. <b>E</b>) Esquema de los principales parámetros considerados para la estimación de deformación de bloques por métodos ópticos.....</p>	<p><b>46</b></p>
<p><b>Figura IV.2 A1)</b> Ubicación de los puntos de medición usados en la Barranca de Montegrando para la estimación de los volúmenes generados durante la fase explosiva del 2005. <b>A2)</b> Modelo de Elevación derivado de LIDAR (<i>INEGI, 2003</i>) mostrando los mismos puntos que la imagen anterior. <b>B1)</b> Ubicación de los puntos de medición usados en la Barranca La Arena para la estimación de los volúmenes generados durante la fase explosiva del 2005. Vista de Este hacia el Oeste <b>B2)</b> Modelo de Elevación derivado de LIDAR (<i>INEGI, 2003</i>) mostrando los mismos puntos que la imagen anterior.....</p>	<p><b>56</b></p>
<p><b>Figura IV.3</b> Sección esquemática idealizada del Volcán de Colima en donde se muestran 4 cuatro puntos de control tomados con el fin de explicar el cálculo de volúmenes.....</p>	<p><b>58</b></p>
<p><b>Figura V.1 A)</b> Vista aérea del cráter del Volcán de Colima el 27 de Febrero del 2004. <b>B1)</b> Tasa de Emisión de Lava (Sept-Nov 2004). <b>B2)</b> Número de Eventos sísmicos producidos por fuentes distintas. Nótese el inicio de los tremores y la emisión de lava (flechas rojas). <i>Ambas tomadas del OVUC ( BGVN, 2005a) . C)</i> Imagen extraída de un video capturado por J.C. Gavilanes el 17 de Octubre. Se observa un domo sumital desbordando en varias direcciones <b>D)</b> Fotografía mostrando el nuevo Flujo de lava en Bloques emplazado en el flanco N del Volcán de Colima. <i>Tomada por el OVUC ( BGVN, 2005 a)</i> <b>E)</b> Explosión pequeña del 08 de Enero del 2005 <i>Foto: Víctor Vargas.</i> <b>F)</b> Explosión del 09 de Enero del 2005 <i>Foto: Sergio Velasco</i>.....</p>	<p><b>61</b></p>
<p><b>Figura V.2 A)</b> Columna eruptiva y secuencia de formación de Flujo Piroclásticos en la Barranca Montegrando. Explosión del 12 de Febrero del 2005. <b>B)</b> Secuencia de emplazamiento de FP en la Barranca Montegrando producto de la explosión del 13 de Marzo del 2005. ....</p>	<p><b>64</b></p>
<p><b>Figura V.3</b> Proyección de los desplazamientos de las nubes de Ceniza de los principales eventos Explosivos del 2005. Las imágenes de desplazamiento de ceniza fueron tomados de los reportes diarios del <i>VAAC-NOAA, Washington</i>.....</p>	<p><b>67</b></p>
<p><b>Figura V.4</b> Imágenes de las Principales Explosiones generadoras de Flujos Piroclásticos durante el 2005. <b>A)</b> 10 de Marzo del 2005. Tomada desde el NE de la Ciudad de Colima. <i>Foto por Carlos Huerta, Diario de Colima.</i> <b>B)</b> 10 de Mayo del 2005. B1) Desde Estación Naranjal -15 km al S del Volcán. B2) Desde Estación Nevado 5.3 Km al N del Volcán. <i>Cámara Web OVUC.</i> <b>C)</b> 15 de Mayo del 2005 C1y C2) Desde Estación Nevado 5.3 Km al N del Volcán .C2 tomada 15 seg después que C1. <i>Cámara Web OVUC.</i> <b>D)</b> 23 de Mayo</p>	



<p>del 2005. D1) Tomada desde la Comunidad de la Yerbabuena (SW del Volcán) <i>Foto por Salvador Jacobo Morán, Diario de Colima</i>. D2 y D3) Desde Estación Naranja- 15 Km al S del Volcán .D3 tomada 15 seg después que D2. <i>Cámara Web OVUC</i>. D4) Secuencia de la explosión y formación de FP tomadas desde Estación Nevado a 5.3 km al N del Volcán de Colima. <i>Foto de AP/Protección Civil Jalisco/Agencia Noticias EFE</i>. <b>E)</b> 30 de Mayo del 2005. E1) Desde Estación Naranja- 15 km al S del Volcán. E2) Desde Estación Nevado 5.3 Km al N del Volcán. <i>Cámara Web OVUC</i>. <b>F)</b> 05 de Junio del 2005. F1) Secuencia de inicio de explosión desde Estación Nevado <i>Foto de AP/Guillermo Arias</i>. F2) Secuencia de Emplazamiento de Flujo Piroclástico. <i>Foto de AP/Guillermo Arias/ José Guadalupe Landín</i></p> <p><b>G)</b> 16 de Septiembre del 2005. G1) Explosión y desarrollo de FP desde Carretera a Guadalajara y G2) Desde Cd. de Colima. <i>Fotos de Nick Varley</i>.....</p>	<b>70</b>
<p><b>Figura VI.1</b> Algunos de los principales parámetros estratigráficos descritos en los Afloramiento de Flujo Piroclástico. <b>A)</b> Comparativa de Rangos de Estratificación. Izq- Clasificación de <i>Fisher y Schmincke (1982)</i> Der- Clasificación Propuesta <b>B)</b> Diagramas de gradación y su nomenclatura. Las flechas indican la dirección hacia tamaños de grano finos en la secuencia. Los círculos abiertos son pómez. Fragmentos sólidos irregulares son líticos y los puntos son material de tamaño de ceniza. Clasificación tomada de <i>Fisher y Schmincke (1982)</i> . <b>C)</b> Tabla para estimación visual de esfericidad y redondez, propuesta por <i>Powers (1953)</i>. <b>D)</b> Tipos de contactos estratigráficos propuestos para las columnas estratigráficas dibujadas. ....</p>	<b>76</b>
<p><b>Figura VI.2</b> Escalas Granulométricas utilizadas en sedimentología y la comparativa con vulcanología. Para la presente tesis usaremos la clasificación propuesta por <i>Sarocchi y Macias (2006)</i> por las razones expuestas en el texto. ....</p>	<b>77</b>
<p><b>Figura VI.3</b> Ubicación de las principales <i>Zonas de Descripción o Afloramientos</i> en la Barranca de Montegrande, sobre el flanco Sur del Volcán de Colima. Los puntos amarillos indican los Afloramientos más importantes, en donde se hizo una descripción y muestreo completo que después será usada en las correlaciones estratigráficas. Los puntos negros indican afloramientos de control en los que se hizo descripción, pero que no son usados para la correlación, sin muestreo. Las características de todos los puntos se muestran en la Tabla VI.1. Imagen de Fondo: combinación de Modelo de Elevación derivado de LIDAR (<i>INEGI, 2003</i>) y una imagen ASTER VNIR, 2006 (combinación RGB) (<i>imagen proporcionada por Lucia Capra</i>).....</p>	<b>79</b>
<p><b>Figura VI.4</b> Ubicación de las principales <i>Zonas de Descripción o Afloramientos</i> en la Barranca de La Arena , sobre el flanco Sureste del Volcán de Colima. Los puntos amarillos indican los Afloramientos más importantes, en donde se hizo una descripción y muestreo completo que después será usada en las correlaciones estratigráficas. Los puntos negros indican afloramientos de control en los que se hizo descripción, pero que</p>	





<p>no son usados para la correlación, sin muestreo. Las características de todos los puntos se muestran en la Tabla VI.1. Imagen de Fondo: combinación de Modelo de Elevación derivado de LIDAR (INEGI, 2003) y una imagen ASTER VNIR, 2006 (combinación RGB) <i>(imagen proporcionada por Lucia Capra)</i> .....</p>	<p>107</p>
<p><b>Figura VI.5</b> Modelo de Elevación derivado de imagen LIDAR(INEGI, 2003) sobre la Barranca Montegrande en la que se muestran los siguientes rasgos: <b>a)</b> Ubicación de algunas secciones que muestran las principales unidades de flujo en la manera que depositaron (sección original) y la sección al momento de la descripción -Sección Izquierda-. La tabla de colores usados se detalla a la derecha del texto. <b>b )</b> Zonas arbitrarias usadas para la ubicación de muestras. 1- Proximal: transparencia roja. 2- Media: transparencia naranja. 3- Distal: transparencia amarillo-verdosa. <b>c )</b> Derecha: fotografías panorámicas de algunos rasgos importantes de la Barranca Montegrande. Las descripciones de las fotografías son explicadas dentro del texto. <i>Fotografías tomadas por el autor de la presente tesis en diferentes salidas a campo durante el periodo 2005-2009..</i></p>	<p>106</p>
<p><b>Figura VI.6</b> Modelo de Elevación derivado de imagen LIDAR(INEGI, 2003) sobre la Barranca La Arena en la que se muestran los siguientes rasgos: <b>a)</b> Ubicación de algunas secciones que muestran las principales unidades de flujo en la manera que depositaron (sección original) y la sección al momento de la descripción -Sección Izquierda-. La tabla de colores usados se detalla a la derecha del texto. <b>b )</b> Zonas arbitrarias usadas para la ubicación de muestras. 1- Proximal: transparencia roja. 2- Media: transparencia naranja. 3- Distal: transparencia amarillo-verdosa. <b>c )</b> Derecha: fotografías de algunos rasgos importantes de la Barranca Montegrande. Las descripciones de las fotografías son explicadas dentro del texto. <i>Fotografías tomadas por el autor de la presente tesis en diferentes salidas a campo durante el periodo 2005-2009, excepción de Foto 4 (propiedad de PC Jalisco)</i> .....</p>	<p>110</p>
<p><b>Figura VI.7</b> Algunas observaciones estratigráficas especiales en los FBC del Volcán de Colima. <b>a)</b> Salto de pendiente previo al punto PF07-15 dentro de la Barranca Montegrande. Ver Figura VI.5, fotografía 3 <i>(Fotografía por Víctor Vargas)</i>. <b>b)</b> Cambio local de pendiente dentro de la Barranca Montegrande. Punto ubicado ~500 m aguas abajo de la foto anterior <i>(Fotografía por Víctor Vargas)</i>. <b>c)</b> Afloramiento PF07-08 en donde se muestra el contacto entre dos unidades de flujo separados por una capa fina de oleada sobreyacido por una concentración mayor de madera parcialmente carbonizada<i>(Fotografía de Gerardo Carrasco)</i>. <b>d y e)</b> Dos vistas del rasgo geomorfológico de leveés dentro de la Barranca de Montegrande: (d) vista aérea (e) vista en campo<i>(Fotografía por Nick Varley)</i> .....</p>	<p>124</p>
<p><b>Figura VI.8</b> Algunas observaciones estratigráficas especiales en los FBC del Volcán de Colima. <b>a)</b> Vista panorámica de una serie de frentes lobulados progradados pendiente</p>	



<p>arriba. Evento explosivo del 30 de Mayo del 2005 (<i>Fotografías por Nick Varley</i>). <b>b)</b> Frente lobulado rico en bloques. Línea negra continua= dirección de flujo. Línea amarilla punteada= frente del flujo del 15-Mayo-2005 (<i>por Nick Varley</i>). <b>c)</b> Zona de acumulación de bloques posterior a la temporada de lluvias, producto de la fácil remoción de las partículas finas. <b>d)</b> Temperatura de 306 grados medida con un termopar en la superficie del flujo piroclástico del 05 de Julio en la Barranca de La Arena (<i>por Nick Varley</i>). <b>e)</b> Pequeña serpiente cocinada –no carbonizada- sobre el depósito del FBC del 05 de junio del 2005 en la Barranca de Montegrande (<i>por Víctor Vargas</i>) .....</p>	<p>127</p>
<p><b>Figura VI.9</b> Algunas observaciones estratigráficas especiales en los Flujos de Bloques y Ceniza del 2005. <b>a)</b> Separación entre avalancha basal y Oleada de Nube de Ceniza en el evento del 05 de Junio del 2005. La flecha roja indica la trayectoria aparente de la avalancha basal; la flecha amarilla la de la Oleada de nube de ceniza. <b>b)</b> Nivel de destrucción de la oleada piroclástica en la zona proximal de la Barranca Montegrande <i>Fotografía por Nick Varley</i>. <b>c)</b> Vegetación derribada y orientada en dirección de flujo en la zona media de la Barranca de La Arena <i>Fotografía por Nick Varley</i>. Las flechas punteadas en esta fotografía y la anterior indican la dirección de flujo. <b>d)</b> Diagrama idealizado de la distribución de las temperaturas dentro de los flujos de bloques y ceniza (FBC). Inferido de los rasgos de carbonización en la vegetación encontrada a diferentes niveles del depósito.....</p>	<p>130</p>
<p><b>Figura VII.1</b> Diagramas de <i>Walker (1971)</i> para la clasificación de depósitos piroclásticos. El eje de las abscisas es el tamaño de grano medio de la muestra, mientras que el de las ordenadas la desviación estandar de la muestra. <b>a)</b> Principales muestras obtenidas de la Barranca de Montegrande (Sur del Volcán de Colima). La simbología se observa en el recuadro a la derecha de la imagen. <b>b)</b> Principales muestras obtenidas de la Barranca de La Arena (Sureste del Volcán de Colima). La simbología se observa en el recuadro a la derecha de la imagen.....</p>	<p>134</p>
<p><b>Figura VII.2</b> Correlación granulométrica de la zona proximal dentro de la Barranca de Montegrande. Los recuadros a la derecha de los histogramas de distribución granulométrica detallan los principales parámetros estadísticos. Los círculos amarillos muestra el sitio exacto donde se tomó la muestra.....</p>	<p>136</p>
<p><b>Figura VII.3</b> Variaciones verticales de los principales parámetros estadísticos sedimentológicos en la Barranca de Montegrande. Buscando hacer una comparativa adecuada, las unidades de flujo utilizadas son las correspondientes unicamente a depósitos de flujos de bloques y ceniza (FBC). Las distancia designadas (derecha de la columna estratigráfica, son la distancia desde el cráter y distancia con respecto al punto inmediato previo –en línea recta-.....</p>	<p>138</p>
<p><b>Figura VII.4</b> Correlación granulométrica de la zona media en la Barranca de</p>	



Montegrande. Se incluyen histogramas de distribución granulométrica y los principales parámetros estadísticos.....	140
<b>Figura VII.5</b> Correlación granulométrica general a lo largo de toda la Barranca de Monte grande. En base a la representatividad, se usaron los afloramientos <i>PF06-45</i> , <i>PF08-04</i> y <i>PF08-05</i> . La ubicación de los puntos de estudio se detallan en el Modelo Digital de Elevación y en la sección esquemática (esquina inferior izquierda) .....	142
<b>Figura VII.6 a</b> Comparativa de los principales parámetros sedimentológicos para el evento del 30 de Mayo del 2005 en de la Barranca Monte grande (flanco sur del Volcán de Colima). La distancia considerada es en línea recta desde la fuente -cráter actual-.....	143
<b>Figura VII.6 b</b> Comparativa de los principales parámetros sedimentológicos para el evento del 05 de Junio del 2005 en de la Barranca Monte grande (flanco sur del Volcán de Colima). La distancia considerada es en línea recta desde la fuente -cráter actual-.....	144
<b>Figura VII.7</b> Diagramas ternarios para la nomenclatura de sedimentos ( <i>Folk, 1974</i> ) donde ubicamos las muestras de los principales afloramientos en la Barranca de Monte grande. En el recuadro de la derecha se explican las abreviaturas los principales campos que componen los diagramas.....	146
<b>Figura VII.8</b> Correlación granulométrica dentro de la Barranca de La Arena. Los recuadros a la derecha de los histogramas de distribución granulométrica detallan los principales parámetros estadísticos. Los círculos amarillos muestra el sitio exacto donde se tomó la muestra.....	148
<b>Figura VII.9</b> Variaciones verticales de los principales parámetros estadísticos sedimentológicos en la Barranca de La Arena. Las muestras (puntos amarillos) fueron unicamente de depósitos de flujos de bloques y ceniza (FBC) .....	150
<b>Figura VII.10a</b> Comparativa de los principales parámetros sedimentológicos para el evento del 09 de Junio del 2005 en de la Barranca de La Arena (flanco sureste del Volcán de Colima). Algunas unidades de flujo pueden estar compuestas de dos o más horizontes de flujo.....	152
<b>Figura VII.10b</b> Comparativa de los principales parámetros sedimentológicos para el evento del 05 de Julio del 2005 en de la Barranca de La Arena (flanco sureste del Volcán de Colima) .....	153
<b>Figura VII.11</b> Diagramas ternarios para la nomenclatura de sedimentos ( <i>Folk, 1974</i> ) donde ubicamos las muestras de los principales afloramientos para la Barranca de La Arena. El recuadro de la derecha explica las abreviaturas de los principales campos que componen los diagramas.....	155
<b>Figura VII.12</b> Histogramas de distribución granulométrica (entre -6 phi a -1 phi) en los que se muestra la concentración de componentes para cada uno de los tamaños de grano. Todas las unidades de flujo dentro de la Barranca de Monte grande presentan los 5	



componentes detallados.....	157
<b>Figura VII.13</b> Histogramas de distribución granulométrica (entre -6 phi a -1 phi) en los que se muestra la concentración de componentes para cada uno de los tamaños de grano. La simbología usada se detalla en el recuadro de la derecha. Excepto la <i>unidad de flujo PF07/08(A)</i> -ver explicación-, todas las unidades de flujo dentro de la Barranca de La Arena presentan los cinco componentes detallados.....	159
<b>Figura VIII.1</b> Algunos rasgos petrográficos importantes: <b>a)</b> Marcada textura porfídica con fenocristales de PI-Px-Ox de Fe y Ti. <i>LNAP-20X</i> [Muestra DOMO 2002-001] <b>b)</b> Aglomerado monocristalino de plagioclasa con diferentes orientaciones. <i>LNAP-20X</i> [Muestra PF07-20(B) C3] <b>c)</b> Plagioclasa de estructura mineral sana con bordes definidos. Textura porfídica. <i>LNAP-40X</i> [Muestra PF07-24(A) C4] <b>d)</b> Plagioclasa con zonación concéntrica evidente. Textura porfídica. <i>LNAP-40X</i> [Muestra PF07-20(A) C1A] <b>e)</b> Plagioclasa con zonación concéntrica-oscilatoria. Textura porfídica. <i>LNAP-40X</i> [Muestra PF07-20(A) low C3] <b>f)</b> Plagioclasa con textura de sedaso muy bien desarrollada. Textura porfídica. <i>LNAP-40X</i> [Muestra PF06-45(4) C3] .....	162
<b>Figura VIII.2</b> Algunos rasgos petrográficos importantes: <b>a)</b> Piroxenos con bordes de reacción de óxidos de Fe-Ti. <i>LNA-20X</i> [PF07-29(A) medC3] <b>b)</b> Fenocristal subhedral de clinopiroxeno con bordes sanos,dentro de matriz vítrea <i>LNAP-20X</i> [Muestra PF07-20(B) C2] <b>c)</b> Cristal de Piroxeno roto dentro de matriz vítrea rica en microlitos de Pl. <i>LNAP-20X</i> [Muestra PF07-24(A) C5] <b>d)</b> Al centro de la muestra: Piroxenos entrecruzados y plagioclasa <i>LNAP-20X</i> [Muestra PF07-29(A) low C3] <b>e)</b> Fenocristal de piroxeno conteniendo óxidos de Fe-Ti cúbicos <i>LNAP-40X</i> [Muestra PF07-24(B) C2] <b>f)</b> Oxidos anhedrales y subhedrales intercalados con Piroxeno y plagioclasa <i>LNA-20X</i> [Muestra PF06-45(4) C3] .....	164
<b>Figura VIII.3</b> Algunos rasgos petrográficos importantes: <b>a)</b> Remanente oxidado de posible piroxeno dentro de muestra porfídica. <i>LNA-20X</i> [PF06-45(3) C8] <b>b)</b> Posible anfíbol con borde de reacción oxidación (textura de desequilibrio) <i>LNA-20X</i> [Muestra PF07-24(B) C3] <b>c)</b> Sección de un fenocristal de anfíbol con fuerte efecto de desequilibrio mineral <i>LNA-20X</i> [Muestra DOMO 2007 P40] <b>d)</b> Variaciones en el grado de cristalinidad de las muestras . Explicación incluida en Sección VIII.1.1. <i>LNAP-20X</i> <b>e)</b> Marcados cambios en el grado de alteración de la matriz entre <b>e1 y e2</b> <i>LNA-20X</i> . Descripción en la Sección VIII.1.1. <b>f)</b> Comparativa entre muestra de nula vesicularidad ( <b>f1</b> ) y una de alta vesicularidad ( <b>f2</b> ) <i>LNA-20X</i> . Sección VIII.1.1. <b>g)</b> Muestra de un posible xenolito de mineralogía de PI-Px-Ox. <i>LNAP-20X</i> [Muestra PF06-45(1) C?] .....	167
<b>Figura VIII.4 a)</b> Diagrama de clasificación TAS de SiO <sub>2</sub> vs. Na <sub>2</sub> O+K <sub>2</sub> O (Le Bas et al., 1986). La línea de división propuesta por Irvine y Baragar (1979) divide el campo alcalino del subalcalino. <b>b)</b> Acercamiento del diagrama de TAS marcado por el cuadrado	



<p>punteado en a). Las muestras seleccionadas son las mismas pero agrupadas de manera distinta. <b>c-h)</b> Diagramas de Harker seleccionados para la descripción de los principales óxidos mayores analizados por Fluorescencia de Rayos X (XRF). Las muestras incluidas en estos diagramas se muestran en los símbolos de la izquierda. Además de las muestras analizadas en esta tesis (PF-2005 y DOMOS), se incluyen los análisis realizados por <a href="#">Savov et al. (2005)</a>, <a href="#">Mora et al. (2002)</a>, <a href="#">Luhr (2002)</a> y <a href="#">Luhr (1980)</a>, dividido en rocas del 4to Ciclo -posteriores a 1913 hasta el presente- y del 3er Ciclo -posteriores a 1818 y hasta 1913-.....</p>	<b>173</b>
<p><b>Figura VIII.4 (continuación) i)</b> Acercamiento del diagrama de TAS de SiO<sub>2</sub> vs. Na<sub>2</sub>O+K<sub>2</sub>O (Le Bas et al., 1986) marcado en el cuadrado punteado en <b>a)</b>. Las muestras seleccionadas son las mismas que las mostradas en la <i>Figura VIII.4a</i> y <i>Figura VIII.4b</i>, pero agrupadas de manera distinta. <b>j-m)</b> Diagramas de Harker seleccionados para la descripción de los principales óxidos mayores analizados por Fluorescencia de Rayos X (XRF). Los símbolos usados para marcar las muestras son los mismos de la página anterior (<i>Figura VIII.4 c al h</i>). Además de las muestras usadas para la presente tesis (PF-2005 y DOMOS) se incluyen los análisis realizados por <a href="#">Savov et al. (2005)</a>, <a href="#">Mora et al. (2002)</a>, <a href="#">Luhr (2002)</a> y <a href="#">Luhr (1989)</a>, dividido en rocas del 4to Ciclo -posteriores a 1913 hasta el presente- y del 3er Ciclo -posteriores a 1818 y hasta 1913-.....</p>	<b>174</b>
<p><b>Figura VIII.5 a-f)</b> Diagrama de Harker en roca total de contenido de SiO<sub>2</sub> contra los elementos traza: (a) Ba; (b) Rb; (c) Sr; (d) Cr; (e) Zn; (f) Zr. Las muestras incluidas en estos diagramas se muestran en los símbolos de la izquierda. Además de las muestras estudiadas en la presente tesis (PF-2005 y DOMOS), se incluyen los análisis realizados por <a href="#">Savov et al. (2005)</a>, <a href="#">Mora et al. (2002)</a>, <a href="#">Luhr (2002)</a> y <a href="#">Luhr (1989)</a>; dividido en rocas del 4to Ciclo -posteriores a 1913 hasta el presente- y del 3er Ciclo -posteriores a 1818 y hasta 1913-.....</p>	<b>176</b>
<p><b>Figura VIII.6 a-h)</b> Diagrama comparativos de años de erupción contra composición por roca total de: (a) SiO<sub>2</sub>; (b) TiO<sub>2</sub>; (c) MgO; (d) Fe-total-; (e) Rb; (f) Ba; (g) Zn; (h) Sr. Las muestras incluidas en estos diagramas se muestran en los símbolos de la izquierda. Además de las muestras estudiadas en la presente tesis (PF-2005 y DOMOS), se incluyen los análisis realizados por <a href="#">Savov et al. (2005)</a>, <a href="#">Mora et al. (2002)</a>, <a href="#">Luhr (2002)</a> y <a href="#">Luhr (1980)</a>; dividido en rocas del 4to Ciclo -posteriores a 1913 hasta el presente- y del 3er Ciclo -posteriores a 1818 y hasta 1913-.....</p>	<b>177</b>
<p><b>Figura IX.1</b> Imágenes usadas para la discusión de los mecanismos de emplazamiento de flujo piroclástico durante el 2005 en el Volcán de Colima. <b>a1,a2,a3)</b> Secuencia de los primeros segundos de la explosión del 05 de Junio del 2005. Foto desde el Nevado de Colima -PC Jal (<i>Fotografía por Sergio Arias</i>). <b>b1 a b7)</b> Secuencia de los primeros segundos de la explosión del 05 de Junio del 2005. Foto desde el Nevado de Colima -PC</p>	



Jal ( <i>Fotografía por José Guadalupe Landín &amp; Nick Varley</i> ). <b>c1 a c3</b> ) Acercamiento a un pulso secundario de menor distancia total y a la formación de una nube de ceniza turbulenta.....	<b>182</b>
<b>Figura IX.2</b> Esquema general que muestra la posición del quiebre de pendiente mayor en el Volcán de Colima (línea punteada amarilla) y el desarrollo de nubes turbulentas-oleadas de terreno desacopladas de la avalancha basal al pasar por cambios bruscos de pendiente. Las flechas indican el curvamiento de la topografía original dentro de la barranca de Montegrande, lo cual pudiera favorecer el efecto tobogán dentro de la zona...	<b>188</b>



## INDICE DE TABLAS

<b>Tabla II.1.</b> Sumario de la actividad histórica y reciente, así como estudios y autores que han descrito la actividad del Volcán de Colima, México.....	<b>20</b>
<b>Tabla III.1</b> Clasificación de Corrientes de Densidad Piroclásticas (CDPs).....	<b>28</b>
<b>Tabla III.2</b> Principales eventos volcánicos generadores de Flujos de Bloques y Ceniza en el mundo).....	<b>33</b>
<b>Tabla III.3</b> Síntesis de las propiedades físicas, químicas, transporte y depósito de los Flujos de Bloques y Ceniza. Descrita y compilada por <a href="#">Sarocci (2006)</a> .....	<b>36</b>
<b>Tabla IV.1</b> Metodología para la obtención de datos para Depósitos de Flujos Piroclásticos en el campo de estudio. Preferentemente pensado para descripciones en secciones de canal.....	<b>44</b>
<b>Tabla IV.2</b> Principales parámetros estadísticos y las fórmulas para obtención. Basados en <a href="#">Folk y Ward (1957)</a> . .....	<b>54</b>
<b>Tabla V.1</b> Principales eventos generadores de Flujos Piroclásticos en el Volcán de Colima durante el 2005.. La Duración de Flujos Piroclásticos fue calculada por <a href="#">Varley (comun. Personal escrita)</a> basándose en datos sísmicos. La altura de la columna eruptiva es en metros sobre el nivel del cráter (m.s.n.c.). La comparativa con la explosión del 17-Jul-99 (explosión de referencia) se hizo en base a mediciones de Intensidad Sísmica ( <a href="#">OVUC</a> ) .....	<b>68</b>
<b>Tabla VI.1</b> Afloramientos principales dentro de la Barranca de Montegrande (flanco Sur) en donde se estudiaron los FBC producidos en el 2005.El nombre de los afloramientos y muestras se divide en PF= Flujo Piroclásticos, 05= el año de descripción y recolección (en este caso 2005) y -031, el número de muestra acumulada durante el año de estudio. Las muestras con asterisco son puntos de control pero sin muestreo. Las distancias mostradas son tomadas: a) en línea recta desde el cráter hasta el afloramiento ó b) medidas sobre el Modelo Digital de Elevación (MDE) usadas para el cálculo de volúmenes. En lo sucesivo usaremos la distancia en línea recta para referirnos a la posición de los afloramientos.....	<b>78</b>
<b>Tabla VI.2</b> Afloramientos principales dentro de la Barranca de La Arena (flanco Sureste) en donde se estudiaron los FBC producidos en el 2005. Se usa la misma nomenclatura que en la Tabla VI.1. Se detalla la ubicación de cada afloramiento, distancia en línea recta desde el cráter y el nombre de las muestras tomadas, con el fin de ligar los datos a los capítulos siguientes. Las muestras con asterisco son puntos de control sin muestreo. Las distancias mostradas son tomadas: a) en línea recta desde el cráter hasta el afloramiento ó b) medidas sobre el Modelo Digital de Elevación (MDE) usadas para el cálculo de volúmenes. En lo sucesivo usaremos la distancia en línea recta para referirnos a la	



posición de los afloramientos.....	106
<b>Tabla VII.1</b> Parámetros estadísticos sedimentológicos de las muestras que conforman la zona proximal en la Barranca de Montegrande. La distancia es calculada en línea recta desde el cráter.....	135
<b>Tabla VII.2</b> Parámetros estadísticos sedimentológicos de las muestras que conforman la zona media en la Barranca de Montegrande. La distancia es calculada en línea recta desde el cráter.....	139
<b>Tabla VII.3</b> Parámetros estadísticos sedimentológicos de las muestras que conforman la zona proximal en la Barranca de La Arena. La distancia es calculada en línea recta desde el cráter.....	147
<b>Tabla VII.4</b> Parámetros estadísticos sedimentológicos de las muestras que conforman la zona media en la Barranca de La Arena. La distancia es calculada en línea recta desde el cráter.....	148
<b>Tabla VII.5</b> Parámetros estadísticos sedimentológicos de las muestras que conforman la zona distal en la Barranca de La Arena. La distancia es calculada en línea recta desde el cráter. ....	151
<b>Tabla VIII.1</b> Muestras usadas para el estudio geoquímico. Se describen el componente al que pertenecen y el evento piroclástico que las produjo.....	171
<b>Tabla AP.1</b> Relación de las principales salidas a campo para la obtención de datos y observaciones del presente proyecto de Investigación.....	193
<b>Tabla AP.2</b> Tabla detallada de las <i>Líneas de Medición</i> usadas y las distancias totales acumuladas en cada una de las muestras.....	195
<b>Tabla AP.3</b> Tabla detallada de los <i>Segmentos de Cruce</i> determinados, las distancias totales acumuladas y los porcentajes relativos de los Segmentos de Cruce medidos con respecto a la totalidad de la muestra. ....	196
<b>Tabla AP.4</b> Tabla de resultados con separación granulométrica “artificial” trabajada con la paquetería <i>Didger 4 ©</i> . ....	197
<b>Tabla AP.5</b> Tabla de resultados finales del procesamiento en la Fracción Gruesa del Análisis Granulométrico.....	198
<b>Tabla AP.6</b> Tabla de los principales tamices usados en la separación de las fracciones granulométricas. Además se muestra el equivalente de la malla en varias unidades.....	198
<b>Tabla AP.7</b> Cantidad de puntos analizados para el trabajo de Componentes y fracciones granulométricas estudiadas. ....	198
<b>Tabla AP.8</b> Muestras usadas en el estudio Petrográfico. Se especifica la ubicación de cada una de las muestras y el posible componente que representa. ....	199
<b>Tabla AP.9</b> Principales parámetros estadísticos sedimentológicos determinados mediante	





las fórmulas de <i>Folk y Ward (1957)</i> . Tabla y parámetros modificado de <i>Capra (2000)</i> .....	<b>207</b>
<b>Tabla AP.10</b> Escala de clasificación (sorting) usadas en vulcanología. Propuesta por <i>Cas y Wright (1987)</i> .....	<b>208</b>
<b>Tabla AP.11</b> Rango de valores para la asimetría granulométrica y su clasificación.....	<b>208</b>
<b>Tabla AP.12</b> Clasificación de los distintos valores de curtosis, propuestos para rocas sedimentarias.....	<b>208</b>
<b>Tabla AP.13</b> Porcentaje de los principales componentes encontrados dentro de las unidades de Flujo en la Barranca de Montegrande. Todas las unidades de flujo presentan 5 componentes detallados distribuidos en clases granulométricas.....	<b>209</b>
<b>Tabla AP.15</b> Tabla descriptiva de las muestras seleccionadas dentro de los diferentes depósitos de FBC en la Barranca de Montegrande y La Arena para el análisis petrográfico. Se usaron parámetros generales de caracterización y diferenciación entre las diferentes unidades.....	<b>213</b>
<b>Tabla AP.16</b> Tabla descriptiva del análisis petrográfico de diferentes muestras seleccionadas en domos generados entre el 2002 y 2007 (domo actual). Se usaron parámetros generales de caracterización y diferenciación entre los diferentes unidades.....	<b>216</b>



## RESUMEN

El Volcán de Colima, localizado en la sección Suroccidental de México, es el volcán de mayor actividad en México en los últimos 500 años y uno de los más activos de América. Se caracteriza por el crecimiento de domos de elevada viscosidad, que eventualmente son inestables y causan derrumbes con la formación de flujos de bloques y cenizas, así como el desarrollo de flujos de lava y ocasionalmente, explosiones vulcanianas que destruyen el domo previamente formado.

En el año 2004 inició una nueva fase eruptiva en el Volcán de Colima caracterizada por el crecimiento de un domo andesítico que desbordó hacia el Flanco Norte y Oeste. El colapso parcial de este generó flujos piroclásticos que alcanzaron poco más de 6 km de distancia. Posteriormente, en el 2005, las explosiones fueron incrementando en frecuencia e intensidad hasta la llegada a la explosión del 05 de Junio del 2005, la explosión más grande registrada en la historia del Monitoreo Sísmico del Volcán de Colima y posiblemente, el evento más fuerte desde la explosión pliniana de 1913.

La serie de explosiones vulcanianas del 2005, generó una secuencia continua de flujos piroclásticos con ausencia de pómez (Flujos de Bloques y Ceniza –FBC-). Estos flujos andesíticos monolitológicos, compuestos de fragmentos líticos con fracturamiento prismático en una matriz vítrea, bloques de baja vesicularidad, fragmentos alterados y algunos accidentales, se buscaron correlacionar en tres facies principales determinadas por la distancia desde el cráter (Facies Proximales, Medias y Distales) en las Barrancas de Montegrande, en el flanco Sur y Barranca La Arena, localizada en el flanco Sureste. Debido a la similitud en la composición y características texturales de los FBC analizados, fue necesario la aplicación de una depurada técnica estratigráfica en el área de campo con el fin de correlacionar correctamente las diferentes Unidades de Flujo. Para ello se optó por el uso de una serie de parámetros (estructura, compactación, contactos, estructuras de desgasificación, componentes) que proporcionaron información valiosa que, analizada adecuadamente pudiera relacionar las condiciones de transporte - emplazamiento de los flujos piroclásticos-.

Por otro lado, el estudio granulométrico consistió en tres pasos fundamentales de acuerdo con el tamaño de las partículas: los bloques mayores a  $4 \theta$  se analizan con la Técnica de Rosiwal, mediante un análisis de imágenes; la fracción intermedia (entre  $-4 \theta$  y  $4 \theta$ ) por tamizado en seco, mientras que la porción más fina por medio de un analizador láser. Todos estos datos se agrupan en histogramas de distribución granulométrica y paralelamente, se obtienen los parámetros estadísticos de cada Unidad de Flujo estudiada.



Tanto petrográfica como químicamente no se observaron grandes variaciones composiciones entre las diferentes unidades en los FBC depositados durante el 2005, siendo el rasgo más distintivo diferencias en las características de la matriz de los bloques. La estratigrafía presentada en la presente tesis no responde a las correlaciones comunes basadas en sus características composicionales, texturales o granulométricas básicas. Para su correcta correlación fue necesario tener un control temporal y físico correcto de los diferentes eventos que formaron Flujos de Bloques y Ceniza en cada una de las Barrancas estudiadas durante el 2005; esta situación fue factible debido a verificación personal y a información proveniente de medios de comunicación durante los eventos explosivos en el Volcán de Colima.

Con base en las evidencias de campo encontradas, contrario a lo encontrado en otras investigaciones en FBC, se propone un modelo de emplazamiento que combina la agradación progresiva y en masa para explicar las diferentes etapas que puede sufrir un flujo piroclástico durante su emplazamiento en las Barrancas estudiadas.



## ABSTRACT

Volcán de Colima is located in the southwestern section of México. It has been the most active volcano during the last 500 years and one of the most active in America. It is characterized by the building of high viscosity domes, which eventually collapse to form block-and-ash flows, developing lava flows and occasionally, vulcanian explosions with the breakup of the dome.

In 2004 a new eruptive phase began at Volcán de Colima with the growth of an andesitic dome which overflowed towards the north and west flank. Its partial collapse generated pyroclastic flows reaching more than 6 km in distance from the source. During 2005 the explosions increased in frequency and intensity until the 05 June of 2005, when the biggest explosion recorded in the history of the seismic monitoring at the Volcán de Colima occurred and probably, the strongest explosion since the 1913.

The vulcanian explosions of 2005 generated a continued sequence of pyroclastic flows absent in pumice (Block and Ash Flows –BAF-). We tried to correlate these monolithological-andesitic flows (composed of vitreous lithics with prismatic fracture, low vesicularity blocks, altered fragments and some accidentals) in three main facies defined by the distance from the crater (proximal, medium and distal) at Barranca Montegrande, on the south flank and Barranca La Arena, located in the southeastern flank. Because of the similarity in composition and textural characteristics of the studied BAFs, it was necessary to apply a detailed stratigraphical technique during the fieldwork with the aim of correlating correctly the different flow units. For this reason, we used a series of parameters (structures, compactation, contacts, degassing pipes, components) which provide valuable information, and when analyzed in the proper way, could provide the emplacement-transport conditions of the pyroclastic flows. These proposed steps will help in the achievement of better descriptions and correlations between future events at Volcán de Colima.

On-the-other-hand, the granulometric study was separated into three main steps: firstly the study of block size by the Rosiwall Technique, using software for image processing; after, the intermediate size classes by dry-sieving and finally, the finer fraction of the BAF using a laser analyzer. All of these data are presented in granulometrical histograms and in parallel the statistical parameters of every flow unit were obtained.

Using petrography and geochemistry we determined that no big compositional variations exist between the different units on the BAF deposited during the 2005, being the most remarkable differences where those of matrix characteristics of the blocks. The stratigraphy proposed for this



thesis does not show the common correlations observed based on their basic compositional, textural or granulometrical characteristics. For a correct correlation it is necessary to have an accurate physical and temporal control on the different events which formed the Block and Ash Flows in each studied ravine during the 2005; this situation is possible due to the broad visual information and media coverage during the explosive events of Volcán de Colima.

In accordance with field evidences, in contrast to the conclusions of other investigations on BAFs, we propose a combined emplacement mechanism which includes mass deposition and aggradational progressive.



## CAPÍTULO I

# INTRODUCCIÓN

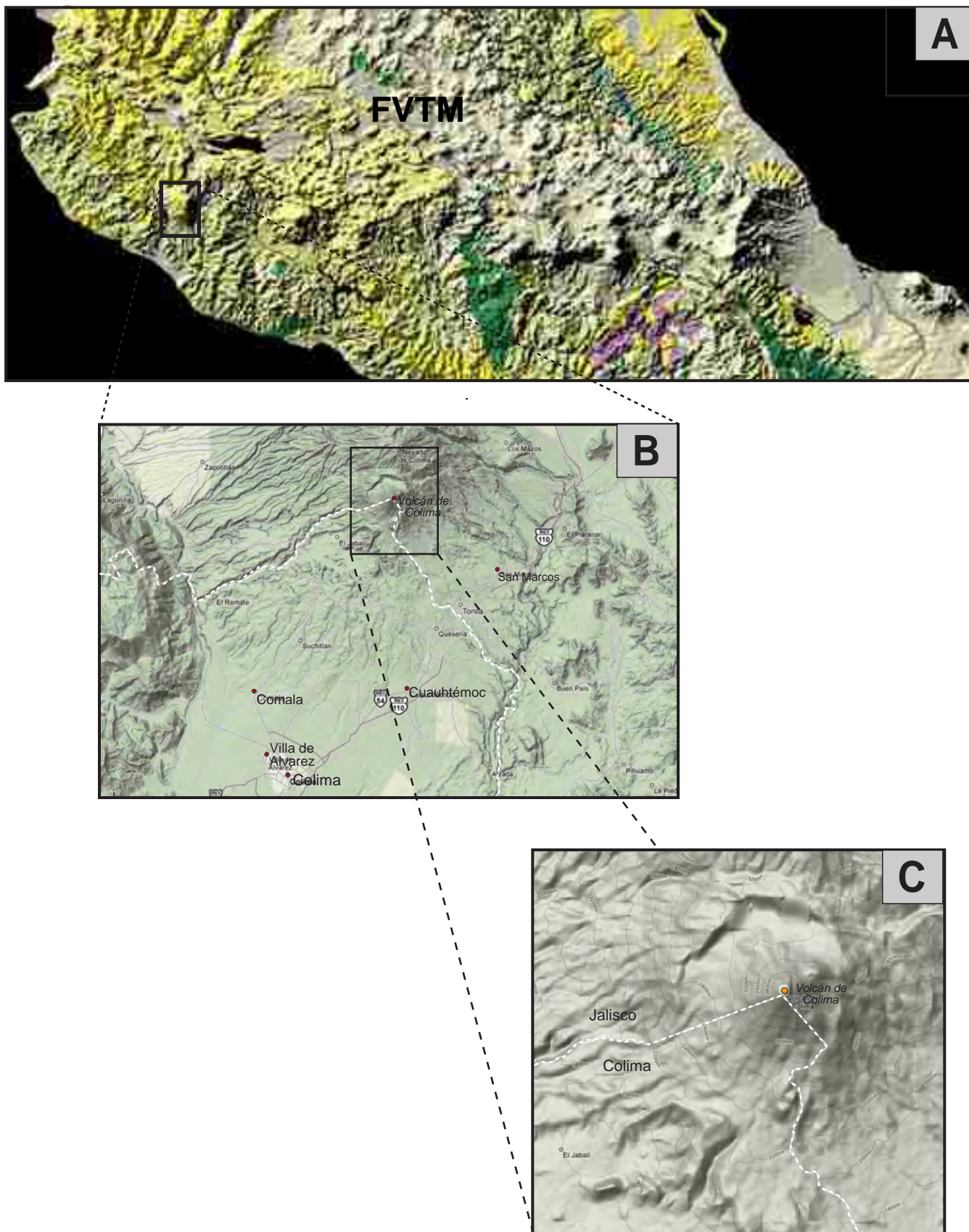
### I.1 / Localización

El Volcán de Colima, también conocido como Volcán de Fuego ( $19^{\circ} 30' 45''$ ;  $103^{\circ} 37''$ ), está situado en la porción occidental del Cinturón Volcánico Transmexicano (TMVB) (*Figura I.1 A*), forma parte de una cadena volcánica local conocida como el Complejo Volcánico de Colima, que incluye al Volcán El Cántaro, Nevado de Colima y Volcán de Colima actual. Geográficamente representa el límite entre los estados de Colima y Jalisco (*Figura I.1 C*), a 32 km al norte de la ciudad de Colima (*Figura I.1 B*) y a 120 km al sur de Guadalajara. En la actualidad viven cerca de 400,000 personas en un radio de 40 km alrededor del Volcán de Colima, ubicadas principalmente en los municipios de Colima (capital) -150,000 habitantes-, Villa de Alvarez -110,000-, Comala 25,000 y Ciudad Guzmán -10,000 - (INEGI, 2000) (*Figura I.1 B y C*).

### I.2 / Antecedentes

El Volcán de Colima es uno de los volcanes más importantes de México. Considerado por [De La Cruz \(1993\)](#) como el volcán más activo de Norteamérica, debido a que en los últimos 430 años ha presentado alrededor de 50 erupciones significativas, siendo el último registro histórico la erupción pliniana de enero de 1913. La comisión para la mitigación de desastres volcánicos de la IAVCEI lo seleccionó como uno de los 16 volcanes de la última década del siglo XX ([Newhall, 1996](#)) debido a su frecuencia eruptiva y a la posibilidad de representar un riesgo para las comunidades cercanas. Además, el volcán presenta uno de los registros de actividad histórica más completa entre los volcanes mexicanos (año 1500- presente).

Las primeras observaciones del Volcán de Colima se remontan a la llegada de los españoles a la región. Sin embargo, como es de suponerse, muchas de estas descripciones, realizadas entre el siglo XVI- XIX, carecen de fiabilidad y detalle, por lo que es importante comparar prudentemente los datos, la veracidad y calidad de los datos descritos entonces con el nivel de detalle que hoy en día se ha alcanzado. Sin embargo, con base en algunos de estos datos ha sido posible deducir que el volcán ha experimentado una gran diversidad de eventos eruptivos, marcando un patrón repetitivo entre fases puramente efusivas y algunas explosiones vulcanianas y en contraste, eventos altamente explosivos caracterizados por actividad pliniana/subpliniana, los cuales según [Luhr y Carmichael \(1980\)](#) marcan el fin de un ciclo eruptivo de 100 años (ej. enero 1913).



**Figura I.1:**

Ubicación del área de Estudio en diferentes escalas: A) Localización en el margen sur-occidental de la Faja Volcánica Transmexicana. B) Ubicación del Volcán de Colima -recuadro negro- dentro del Graben de Colima. Se señalan las poblaciones más importantes. C) Volcán de Colima actual, estructura que ha crecido en el interior de un cráter en forma de herradura de 5 km de diámetro, producto del colapso del Volcán Paleofuego. Nótese que el volcán representa el límite entre los estados de Colima-Jalisco ([DEMs tomados de http://maps.google.com.mx](http://maps.google.com.mx))



Los trabajos más detallados sobre la actividad histórica del Volcán de Colima inician con las publicaciones de [Barcena \(1887\)](#), [Waitz \(1915,1935\)](#), [Arreola \(1915\)](#), así como en publicaciones más recientes de [Medina-Martínez \(1983\)](#), [De la Cruz \(1993\)](#) [Saucedo \(1997\)](#), [Bretón et al., \(2002\)](#), donde se hace una descripción cada vez más detallada de las erupciones de los siglos XVI y XVII, 13 de diciembre de 1606, 15 de Abril de 1611, 1690 y 1771, 1818 y la última fase pliniana de 1913 ([Macías et al, 2006](#)).

El nivel de observación y monitoreo provisional del Volcán de Colima fue mejorando gracias a las observaciones realizadas entre 1893 y 1903 por el padre [Arreola](#) desde la ciudad de Colima y del sr. [Castellanos](#), desde la actual Ciudad Guzmán, Jalisco. Para ello, se instalaron modestos observatorios donde se realizaron descripciones sistemáticas y detalladas hasta el año de 1906, publicadas en el *Observatorio Meteorológico Central de México* ([Arreola, 1915](#)). Estos sirvieron como un claro precedente al estudio sistemático, el análisis científico y el entendimiento de los procesos previos a una actividad pliniana, el proceso recurrente más peligroso para las poblaciones cercanas al Volcán de Colima.

En tiempos más recientes se han realizado importantes trabajos a detalle en los rubros de vulcanología física ([Saucedo et al., 2004,2005,2008](#); [Zobin et al., 2002](#); [Cortés et al, 2005](#); [Macías et al, 2006](#)), sismología ([Zobin, 2007](#); [Zobin et al.,2008](#)), petrología y geoquímica ([Luhr y Carmichael, 1980,1981](#); [Luhr 1993, 2002](#); [Robin et al, 1991](#); [Robin y Potrel,1993](#); [Macías et al, 1993](#); [Mora et al, 2002](#); [Savov et al, 2008](#)), así como de monitoreo y sensores remotos ([Dávila et al, 2007](#); [Stevenson y Varley, 2008](#)).

En los últimos años, el nivel de producción científica y monitoreo detallado ha manifestado un incremento significativo en este volcán. La creación del Observatorio Vulcanológico de la Universidad de Colima y de la Facultad de Ciencias de la misma entidad, ha influido positivamente en la colaboración con expertos de diversas regiones y en diferentes líneas de investigación. El monitoreo sísmico realizado por la Red Sismológica Telemétrica del Estado de Colima (RESCO), el análisis de deformación cortical, monitoreo visual por medio de cámaras web e imágenes satelitales, geoquímica de aguas y manantiales cercanos, así como el control en estaciones pluviométricas son solamente algunas de los sistemas de monitoreo permanentes que permiten un adecuado control ante cualquier cambio significativo de actividad en el volcán. Sin embargo, es importante hacer notar la ausencia de un trabajo geológico de base en el área, lo cual complica el entendimiento preciso de los ciclos eruptivos, mecánica eruptiva y procesos tectono-magmático en el área.





## I.3 / Objetivos

### I.3.1 Generales

El propósito general del presente trabajo es la elaboración de una estratigrafía volcánica detallada de los diferentes flujos de bloques y ceniza (FBC) producidos durante la actividad explosiva del 2005, en el Volcán de Colima. Se tomará como base de trabajo los eventos más significativos dentro del 2005 para hacer una correlación de los mismos en localidades situadas a diferente distancia con respecto al cráter. A la par, se buscará ligar la información visual (videos, fotografías), escritos y reportes desarrollados durante el año marcado para tener un mejor control de los depósitos estudiados y su posible distribución temporal-espacial.

### I.3.2 Particulares

- Descripción detallada de cada uno de los eventos significativos productores de Flujos de Bloques y Ceniza durante el 2005.
- Análisis textural de cada una de las Unidades de Flujo seleccionadas, apoyadas por un fino trabajo sedimentológico detallado, de componentes y petrográfico, con base en un escrupuloso muestreo realizado en las barrancas más activas, durante el emplazamiento de los FBC durante el 2005.
- Elaboración de Columnas Estratigráficas detalladas, en donde se puedan comparar las características texturales de los FBC más importante en secciones longitudinales.
- Comparación de diferentes puntos de control para observar las variaciones de condiciones topográficas y de relieve previo al emplazamiento de algunos depósitos piroclásticos.
- Estimación de volúmenes y distribución espacial de los principales Flujos de Bloques y Ceniza.
- Comparación de actividades explosivas similares en el Volcán de Colima.
- Comprensión de los mecanismos de emplazamiento generales y particulares, así como la relación de ellos con el depósito piroclástico generado.



## I.4 / Importancia del Trabajo

El estudio de los Flujos de Bloques y Ceniza (FBC) es un tema que durante el pasado había sido relegado dentro de la Vulcanología Física. Esto se debe a que representan pulsos muy puntuales de actividad, generalmente de volúmenes pequeños que presentan variaciones texturales en distancias cortas (contrario a la relativa uniformidad textural descrita en las ignimbritas). Una complicación adicional resulta en que algunos de los volcanes más activos, generadores de este tipo de productos (Volcán Arenal, Pinatubo, Mt Peleé, Volcán de Colima, entre otros), se localizan en zonas de alta precipitación pluvial, lo cual favorece la fácil erosión y destrucción efectiva de los depósitos al cabo de pocos años. De igual manera, las facies iniciales de depósitos removilizados (flujos de escombros-lahares) suelen presentar una importante similitud textural con flujos de bloques y ceniza.

En el caso particular del Volcán de Colima, [Rodríguez-Elizarrarás et al., \(1991\)](#), [Saucedo et al., \(2001,2004\)](#) [Saucedo y Macias \(2005\)](#) y [Sarocchi \(2005, 2006\)](#) han realizado trabajos a detalle de diferentes erupciones productoras de Flujos de Bloques y Ceniza. Sin embargo, la mayor parte de dicha investigación se ha enfocado a eventos recurrentes de colapso de domo (erupción tipo Merapi), proceso similar al ocurrido en los meses finales del 2004, previo a la fase explosiva que enmarcamos dentro de la presente investigación. La importancia de analizar con más detalle los depósitos piroclásticos producto de explosiones (erupción vulcaniana-variación Soufriere), reside en el hecho de entender cómo las condiciones iniciales en el sistema volcánico previas y durante los eventos explosivos que se estudiaron. A pesar de que el rango de estudio del presente proyecto no incluye la actividad del 2004, es importante mencionar el proceso eruptivo completo y hacer analogías con eventos explosivos similares ocurridos en los últimos 20 años en el Volcán de Colima.

El presente proyecto busca, paralelamente, establecer una metodología estándar sencilla para tener un control estratigráfico adecuado de los FBC, una uniformidad de criterios en la descripción, en busca de una adecuada comparación sedimentológica, de componentes y petrológica dentro de los flujos piroclásticos de volumen pequeño. Para ello, se ha empleado una variedad de herramientas de campo y laboratorio de muy bajo costo, con un control bastante bueno sobre la metodología realizada, pero que requiere de un tiempo considerable de trabajo digital y manual. En el capítulo de metodología se hará una descripción más detallada de cada una de dichas técnicas.



## MARCO GEOLÓGICO

### II.1 / Marco Tectónico y Geología Regional del Sector W de la FVTM

La Faja Volcánica Transmexicana (FVTM) representa la provincia geológica-vulcanológica más importante desde el Mioceno Medio y tardío hasta el presente en la región central de México. Conformada por más de 8000 estructuras volcánicas (Robin,1982), de gran variedad de centros eruptivos y algunos cuerpos intrusivos. La mayor parte del volcanismo Cuaternario de México se encuentra distribuido en esta franja, con los volcanes más activos del país como: Ceboruco, Sanganguey, Colima, Nevado de Toluca, Popocatepetl, Pico de Orizaba. De los anteriores, Colima, Popocatepetl y Pico de Orizaba (Citlaltépetl) son grandes estratovolcanes andesíticos que presentan una amplia actividad histórica reciente, mientras que otras porciones de la FVTM están dominadas por campos monogenéticos de conos cineríticos y de lava, de afinidad predominantemente basáltica (Campo Volcánico Michoacán-Guanajuato) (Luhr y Carmichael, 1981,1990). Por otro lado, cuatro grandes complejos riolíticos se presentan detrás del frente volcánico: La Primavera (Mahood y Halliday, 1981), Amealco (Aguirre-Díaz, 1996), Huichapan (Aguirre-Díaz et al, 1997), y Los Humeros (Ferriz, 1985; Ferriz y Mahood, 1986).

Este arco magmático continental presenta una longitud aproximada de 1000 km y amplitud irregular de entre 80 y 230 km con una dirección preferencial E-W en la porción central y oriental, mientras que en su sección occidental (área de estudio) muestra una dirección WNW-ESE (Gómez-Tuena et al.,2005) (Figura II.1). Geográficamente se extiende desde las costas del Pacífico, en la región de San Blás, Nayarit y Bahía de Banderas, Jalisco hasta las costas del Golfo de México, en el estado de Veracruz (Demant,1978). Este arco, de afinidad calcoalcalina, ha sido concebido como resultado de la subducción de la Placa de Cocos y Rivera debajo de la Placa Norteamericana a lo largo de la Trinchera Mesoamericana. La distancia de la FVTM a la trinchera es de solamente 80-100 km en la región de Colima, mientras que en la región oriental se encuentra entre 350-400 km de distancia. Estas distancias en el arco volcánico están directamente asociadas con los ángulos de la Zona Wadati-Benioff debajo de México. Los ángulos de inclinación de las zonas de Wadati-Benioff varían entre 30° en las cercanías de Colima, 20° debajo de Toluca y de nuevo, 30° debajo del volcán El Chichón, en Chiapas (Robin,1982; Macías et al, 1993).

Por convencionalismo, la FVTM se ha dividido en en tres porciones tectóno-geológicas (Demant,1978; Pasquare et al, 1991): una porción occidental entre la costa del Golfo de California

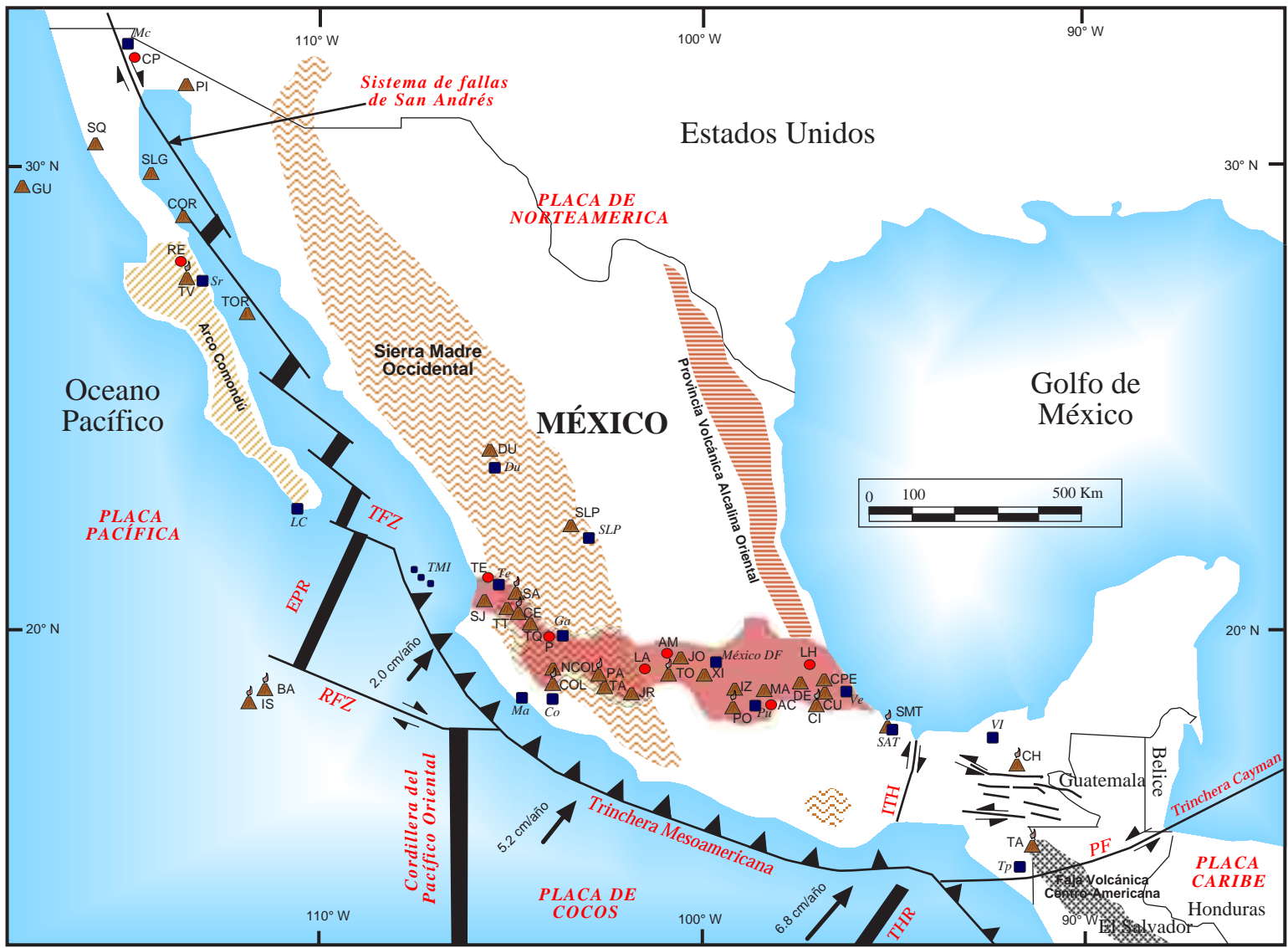






Figura II.1: Marco tectónico general de México y la Faja Volcánica Trans-Mexicana.

-  **Volcanes Activos:**  
**IS:**Isla Socorro; **BA:**Bárcena; **TV:**Tres Vírgenes; **CE:**Ceboruco; **COL:**Fuego de Colima; **PA:**Paricutín; **PO:**Popocatepetl; **TO:**Nevado de Toluca; **CI:**Citlaltépetl (Pico de Orizaba); **SMT:**San Martín Tuxtla; **CH:**El Chichón; **TA:**Tacanán
-  **Volcanes Inactivos Principales:**  
**PI:**Campo Volcánico Pinacate; **SQ:**Campo Volcánico San Quintín; **GU:**Isla Guadalupe; **SLG:** Isla San Luis Gonzaga; **COR:**Isla Coronado; **TOR:**Isla Tortuga; **SLP:**Campo Volcánico de San Luis Potosí; **DU:**Campo Volcánico de Durango; **SJ:**San Juan; **SA:**Sangangüey; **TT:**Tepetitlic; **TA:**Tancítaro; **JO:**Jorullo; **XI:**Xitli; **MA:**Malinche; **DE:**Derrumbadas; **CU:**Las Cumbres; **CPE:**Cofre de Perote; **TQ:**Tequila; **NCOL:**Nevado de Colima; **IX:**Iztaccíhuatl;
-  **Calderas / Campos Geotérmicos:**  
**RE:**La Reforma; **TE:**Tepic; **P:**Primavera; **LA:**Los Azufres; **AC:**Acoculco; **AM:**Amealco; **LH:**Los Humeros
- Tectónica:**  
**EPR:** Cordillera del Pacífico Oriental; **THR:** Cordillera de Tehuantepec; **TFZ:** Fractura Tamayo; **RFZ:** Fractura Rivera; **PF:** Falla Polochic; **ITF:** Falla del Istmo de Tehuantepec; **TMI:** Islas Tres Marías
-  **Ciudades**  
**Mc:** Mexicali; **Sr:** Santa Rosalía; **LC:** Los Cabos; **Du:** Durango; **SLP:** San Luis Potosí; **Te:** Tepic; **Ga:** Guadalajara; **Co:** Colima; **Ma:** Manzanillo; **Ve:** Veracruz; **SAT:** San Andrés Tuxtla; **Vi:** Villa Hermosa; **Tp:** Tapachula.



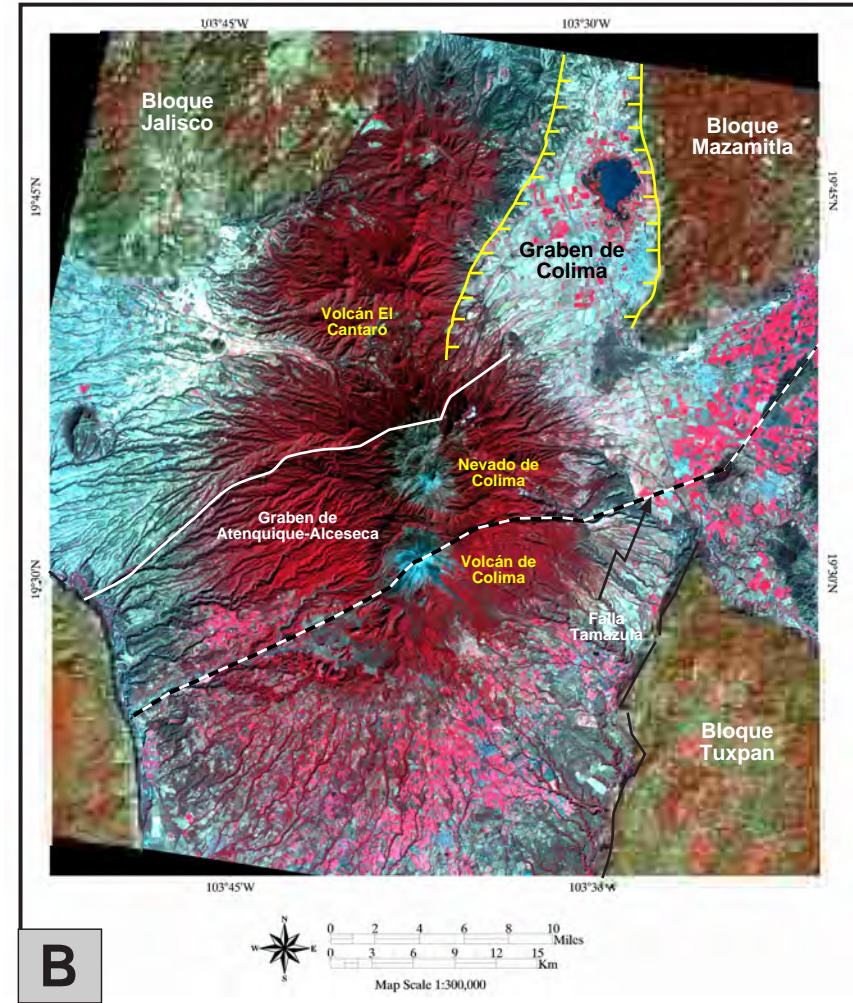
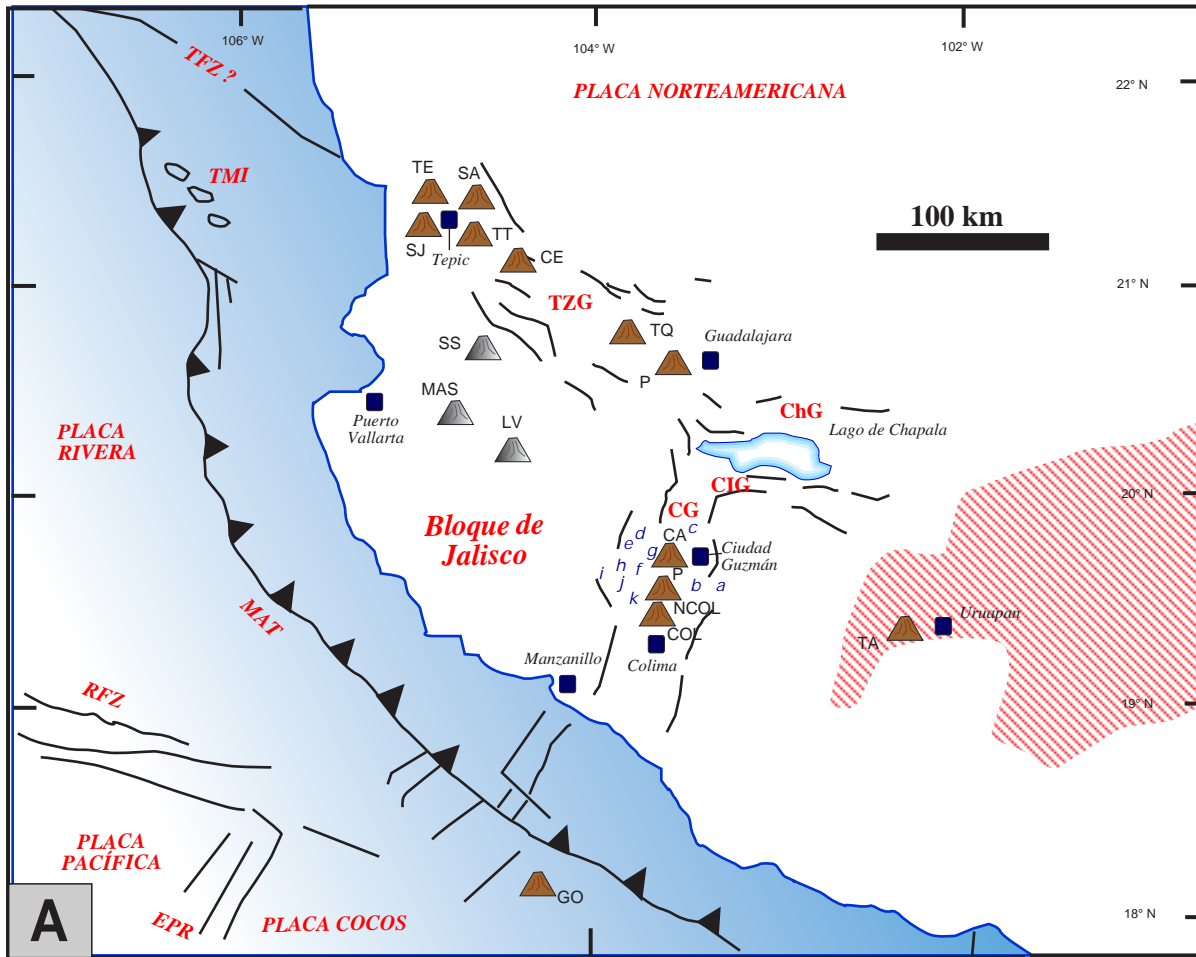
y el punto triple de los rifts de Zacoalco-Colima-Chapala (Allan,1986); la porción central comprendida entre dicho punto triple y el sistema de fallas Taxco-San Miguel de Allende (Alaniz-Alvarez et al,2005); la porción oriental se ubica entre dicho sistema de fallas y la costa veracruzana del Golfo de México.

La porción occidental se caracteriza por la superimposición de dos regímenes tectónicos: la subducción de la placa Rivera-Cocos debajo de la placa Norteamericana y por otro lado, el desarrollo de tres zonas de rift. Esto tiene como consecuencia un complejo sistema magmático con la coexistencia de magmatismo alcalino y calcoalcalino (Allan,1986; Macias et al.,1993).

Este punto triple se compone de sistemas de rift que se interesectan aproximadamente 40 km al sur de Guadalajara con ángulos internos de 100,115 y 145°. Desde esta área de intersección, la zona de rift de Chapala corre hacia el E por al menos, 110 km; la zona de rift de Tepic-Zacoalco se encuentra por alrededor de 200 km al NW con dirección hacia las costas del Pacífico de Nayarit; el rift de Colima se extiende por 160 km hacia el sur hasta alcanzar la costa del Pacífico colimense (Allan,1986; Luhr, 1990) (Figura II.2A). Según Allan (1986), esta unión triple se refiere al proceso inicial de rompimiento y el movimiento de la Dorsal del Pacífico (Cordillera del Pacífico Oriental en la Figura II.1) hacia el E de su posición actual (Saucedo,1997).

Esta zona de rift de Colima (Graben de Colima) se ha dividido en tres segmentos de estudio: norte, central y sur, limitados por un conjunto de fallas con dirección preferencial N-S (Figura II.2A). En los últimos 2 millones de años el magmatismo se concentró en la parte central del graben, una región de aproximadamente 50 km de ancho y con flancos de rift >1 km elevados con respecto al fondo de graben. En dicha depresión topográfica se formó el Complejo Volcánico de Colima, caracterizado por tres grandes estratovolcanes calcoalcalinos: Volcán el Cántaro, Nevado de Colima y Volcán de Colima; contemporaneamente, productos alcalinos fueron emplazados a lo largo del fracturamiento N-S del graben y algunos conos cineríticos recientes fueron diseminados en los flancos de los grandes estratovolcanes (Macias,1993).

El Volcán de Colima actual se encuentra sobre la traza de la Falla Tamazula (Figura II.2B), una estructura de características regionales con dirección preferencial NE-SW, con una longitud aproximada de 160 km que corta el Graben de Colima entre su porción central-norte y se extiende hasta la costa del Pacífico (Garduño et al.,1998). Dicha falla es muy importante, ya que ha jugado un papel determinante en la desestabilización y colapso de edificios volcánicos antiguos en el Complejo Volcánico de Colima y posiblemente en el magmatismo en la zona (Garduño et al.,1998; Cortés et al., 2005).



**Figura II.2 A:** Tectónica General del oeste de México

**Centros Volcánicos Poligenéticos:**

**SA:** Sanganguey; **TE:** Tepic; **SJ:** San Juan; **TT:** Tepetitlic; **CE:** Ceboruco; **TQ:** Tequila; **P:** Primavera; **TA:** Tancitaro; **CA:** Cántaro; **GO:** Centro Volcánico submarino El Gordo; **NCOL:** Nevado de Colima; **COL:** Volcán de Colima.

**Conos Monogenéticos de Escoria (Basanite-Minette):**

**a:** Tezontal; **b:** Apaxtepetl; **c:** Usmajac; **d:** Comal Grande; **e:** Comal Chico; **f:** Comal Sur; **g:** Comal Norte; **h:** Telecampana; **i:** Cuauhtémoc; **j:** Loma Erita; **k:** San Isidro.

**Tectónica:**

**EPR:** Cordillera del Pacífico Oriental; **RFZ:** Fractura Rivera; **MAT:** Trinchera Centroamericana; **TZG:** Graben de Tepic-Zacoalco; **CIG:** Graben de Citala; **ChG:** Graben de Chapala; **CG:** Graben de Colima; **TMI:** Islas Tres Marías

**Campos de Conos de Escoria Lamprofíricos:**

**SS:** San Sebastián; **MAS:** Mascota; **LV:** Los Volcanes.

*Modificado después de Saucedo (1997); Luhr y Carmichael (1981).*

**Figura II.2 B:**

Rasgos Tectónicos-Estructurales más importantes de la región de estudio (Imagen Satelital LANDSAT; Compuesto RGB falso color -3,2,1- año 2005)



Las evidencias geofísicas y sísmicas parecen soportar bastante bien la hipótesis de que los magmas de la FVTM tienen una relación directa con el proceso de subducción ([Urrutia-Fucuguachi y Böhnel,1987](#); [Pardo y Suárez,1993](#)). Sin embargo, [Verma \(1999\)](#) propone la contraparte científica en la que una tectónica distensiva (zonas de rift) es la responsable del emplazamiento de los magmas primitivos que generan los centro volcánicos de la FVTM . Esta hipótesis se basa en aspectos petrológicos ([Gómez-Tuena et al.,2005](#)) y en que el plano de Wadati-Benioff no se encuentra bien definido debajo de la mayor parte del arco magmático ([Verma, 1999](#)).



## II.2 / Complejo Volcánico de Colima

Definido originalmente por [Luhr y Carmichael \(1980\)](#), el Complejo Volcánico de Colima (CVC) está conformado, como ya se mencionó, por tres centros eruptivos: Volcán el Cántaro, Nevado de Colima y Volcán de Colima. La presencia de estos centros se debe a una evidente migración del foco magmático hacia el sur, con un cambio gradual geoquímico-petroológico de los productos volcánicos iniciado en el Volcán El Cántaro, de una composición dacítico/andesítico cambiando hacia volcanismo andesítico/basáltico al paso del tiempo (Volcán de Colima). Con 700 km<sup>3</sup> ([Robin et al.,1987](#)), este Complejo representa por mucho, el mayor volumen de material volcánico emplazado en la región. El resto de los volcanes de las áreas circundantes tienen volúmenes menores a 100 km<sup>3</sup> (Tequila, Ceboruco, Tepetilic, Sangangüey, Las Navajas y San Juan) ([Gómez-Tuena et al.,2005](#)).

La *Figura II.3* muestra las columnas cronológicas de los eventos principales en el CVC, recopilada para el presente trabajo con base en la estratigrafía detallada de [Luhr y Carmichael, \(1990\)](#), [Rodríguez-Elizarrarás \(1995\)](#) y principalmente [Cortés et al. \(2005\)](#). Es importante hacer especial énfasis en que, a pesar del reconocimiento mundial que tiene el volcán de Colima, el trabajo geológico desarrollado es aún escaso si se compara con otros centros volcánicos activos de nuestro país y del mundo. Las columnas de cronología de eventos aquí propuestas responden a un primer intento de amalgamar las diferentes investigaciones realizadas por diversos autores en el Volcán de Colima.

A continuación se detallan las características geológicas del Volcán de Colima y su entorno.

### II.2.1 Basamento Cretácico-Terciario Inferior

El complejo Volcánico de Colima se encuentra en la sobreposición de dos Provincias Fisiográficas: la FVTM y Sierra Madre del Sur. De esta última afloran secuencias sedimentarias de plataforma mesozoicas, intercaladas con depósitos volcanosedimentarios de tipo arco insular volcánico del Cretácico Inferior ([Vidal et al, 1980](#); [Pantoja y Estrada, 1986](#)). Son precisamente estas secuencias cretácicas que afloran en los alrededores del CVC las que están formando gran parte de su basamento .

La *Formación Tecatitlán (Cretácico Inferior)*, definida originalmente por [Pantoja y Estrada \(1986\)](#) está conformada desde flujos de lava de composición riolítica a dacítica, hasta flujos de lava andesítica con tobas intercaladas. Después de esta, la *Formación Encino (Aptiano Inferior)* definida por los mismos autores, consiste en una secuencia conglomerática marina de areniscas, limolitas,



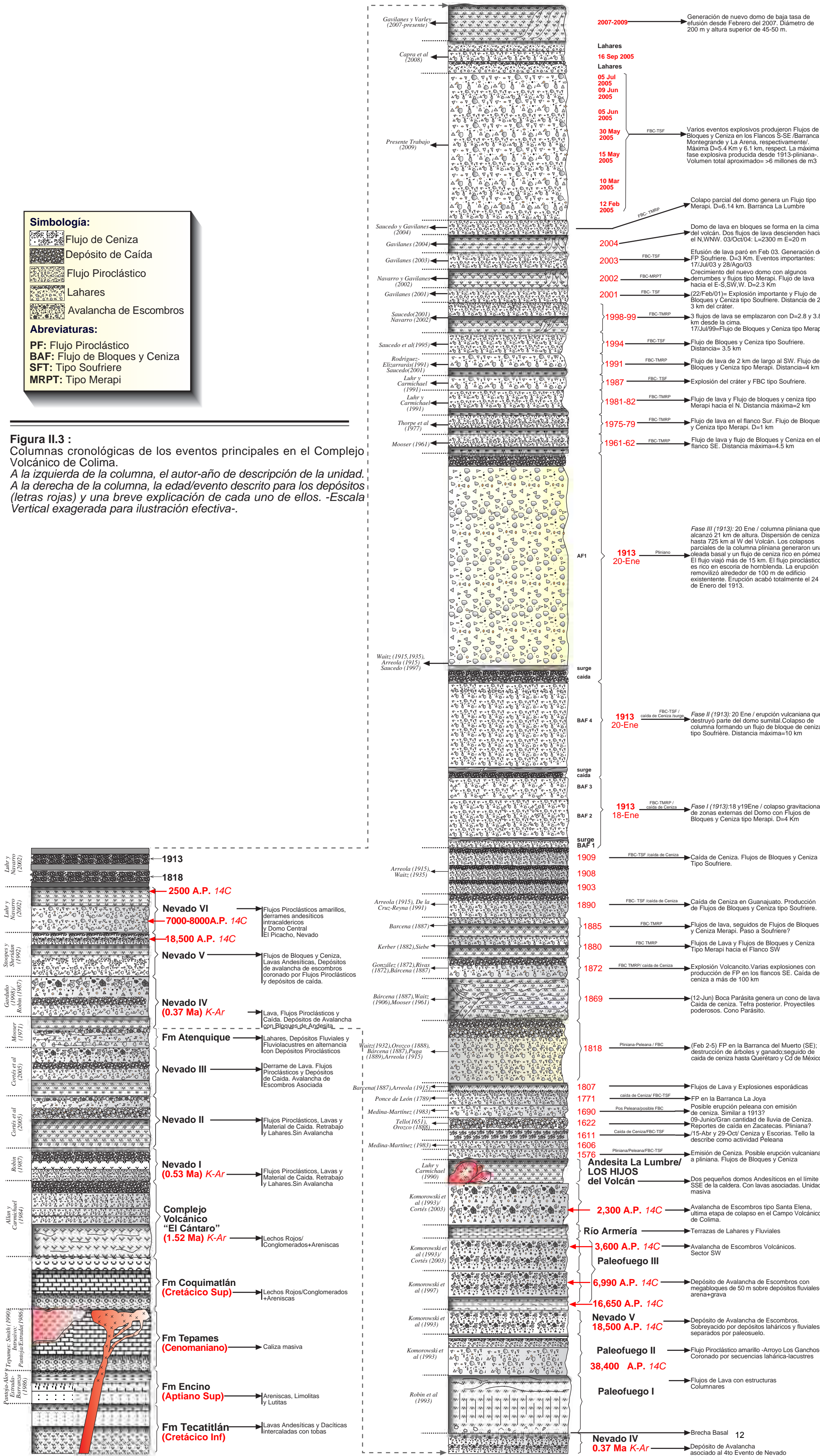
**Simbología:**

- Flujo de Ceniza
- Depósito de Caída
- Flujo Piroclástico
- Lahares
- Avalancha de Escombros

**Abreviaturas:**

- PF: Flujo Piroclástico
- BAF: Flujo de Bloques y Ceniza
- SFT: Tipo Soufriere
- MRPT: Tipo Merapi

**Figura II.3 :** Columnas cronológicas de los eventos principales en el Complejo Volcánico de Colima. A la izquierda de la columna, el autor-año de descripción de la unidad. A la derecha de la columna, la edad/evento descrito para los depósitos (letras rojas) y una breve explicación de cada uno de ellos. -Escala Vertical exagerada para ilustración efectiva-





lodolitas con lentes de calizas e intercalaciones de lavas y depósitos piroclásticos de composición basáltica, incluyendo lavas almohadilladas. Sobreyaciendo esta unidad, una secuencia *Cenomaniana*, conformada por calizas masivas de espesores cercanos a los mil metros, definida por [Pantoja-Alor y Estrada-Barraza \(1986\)](#) como *Formación Tepames*, se encuentran afectadas por cuerpos intrusivos de composición cuarzo-monzonítica del *Paleoceno Temprano*, en algunas zonas alcanzando dimensiones batolíticas. A la par, una secuencia volcánica terciaria compuesta de derrames de lava andesítica, brechas volcánicas de composición dacítica e ignimbritas sin diferenciar se hallan cubriendo discordantemente a las calizas de la *Formación Tepames*. Sobreyaciendo esta secuencia, la *Formación Coquimatlán (Cretácico Superior)* formada por un conglomerado polimictico de matriz arenosa roja, interestratificado con horizontes delgados de lutitas y areniscas rojas.

### II.2.2 Volcán El Cántaro

Estratovolcán andesítico con composiciones variables entre 58 a 64% de SiO<sub>2</sub> sobre el que se emplazaron domos dacíticos ([Luhr y Carmichael, 1990](#)), de edades K-Ar reportadas de 1.52 Ma ([Allan, 1986](#)). Su estratigrafía está compuesta de intercalación de derrames de lavas, depósitos piroclásticos y depósitos de caída, con abundancia de biotita en las lavas. Se reconocen una serie de rasgos semicirculares que podrían corresponder a posibles calderas, lo que sugiere explosiones muy energéticas en la vida eruptiva de este volcán ([Cortés et al. 2005](#)). Sin embargo, resulta complicado entender su forma primaria, debido al intenso efecto erosivo, con afloramientos comunmente alterados. Este volcán representa el primer estratovolcán dentro del Graben de Colima. Difiere del Nevado y el Volcán de Colima, por su mayor concentración en óxido de sílice, y menor contenido de hornblenda en las lavas, pero sobre todo, porque las dacitas y andesitas del Cántaro son más porfídicas, con fenocristales de más de 1 cm de diámetro ([Luhr y Carmichael, 1990](#)).

### II.2.3 Volcán Nevado de Colima

Este estratovolcán, de composición andesítica-dacítica, es el miembro intermedio de la cadena volcánica de Colima. Con base en los rasgos morfoestructurales (escarpes y estructuras de anfiteatro) , es posible inferir varias etapas constructivas y eventos destructivos de antiguos edificios volcánicos ([Cortés et al. 2005](#)).

El *Primer Periodo Eruptivo (Nevado I)* fechado por [Robin et al., \(1991\)](#) en 0.53 Ma por el método K-Ar, está caracterizado por un estratovolcán de grandes dimensiones, el cual pudo haber alcanzado una base de aproximadamente 25 km de diámetro, con posible colapso por la influencia de la falla regional Tamazula, con dirección NE-SW. Se compone de depósitos de flujos piroclásticos, lavas y materiales de caída, e intercalación de unidades de retrabajo y lahares. Sin



embargo, hasta el momento no se ha identificado un depósito de avalancha de escombros asociado a este primer evento de colapso (Cortés et al. 2005).

El *Segundo Periodo (Nevado II)* se caracteriza por la emisión de considerables flujos de lava andesítica, depósitos de pómez de caída, flujos piroclásticos controlados por la traza de la falla Tamazula, asimismo lahares que se extienden hasta el Río Armería. Este segundo edificio creció sobre los restos del edificio anterior, sin embargo, al igual que el primer edificio, no se observan depósitos de avalancha de escombros asociados ya que se encuentran posiblemente sepultados por depósitos piroclásticos más recientes (Cortés et al. 2005).

El *Tercer Periodo Eruptivo (Nevado III)* está conformado por derrames de lavas, flujos piroclásticos y depósitos de caída. Existe una avalancha de escombros asociada a este periodo, la cual está compuesta por bloques andesíticos dentro de una matriz arcillosa. El remanente del edificio volcánico colapsado, asociado a estos depósitos es una estructura semicircular de al menos 4 km de diámetro, abierto hacia el SE. Contemporáneo al Tercer y Cuarto evento eruptivo, una gruesa secuencia de flujos laháricos y fluviales con intercalación de flujos piroclásticos fueron definidos por Mooser (1961). Para estas unidades, Robin (1991) reporta edades que varían entre los 0.38 y 0.26 Ma.

El *Cuarto Periodo Eruptivo (Nevado IV)*, está conformado por importantes emisiones de flujos de lava, flujos piroclásticos y depósitos de caída. Cortés et al. (2005) encontraron que la destrucción del sector sureste del edificio volcánico generó la formación de una estructura caldérica semicircular, a la que se asocia un depósito de avalancha de escombros. Para algunas lavas de este episodio, se reportan edades de K-Ar de entre 0.37 y 0.53 Ma (Robin et al., 1987).

*Quinto Periodo Eruptivo (Nevado V)*: según Cortés et al. (2005), este edificio se emplazó en la parte central de la estructura caldérica remanente del edificio anterior. Se compone de Flujos de Bloques y Ceniza (FBC), lavas andesíticas, y depósitos de avalancha de escombros coronadas por flujos piroclásticos y depósitos de caída. La fase final de este periodo estuvo marcada aparentemente por un evento explosivo que destruyó gran parte del edificio volcánico. Stoops y Sheridan (1992) señalan que esta última estructura de caldera se debió a un evento de Tipo Santa Elena, que originó un depósito de avalancha de grandes dimensiones el cual alcanzó la costa del Pacífico (a 120 km de su fuente). Sin embargo, Capra y Macias (2002) reportan que el flujo se detuvo a 20 km de su fuente, formando un represamiento natural. Posteriormente este reservorio sufrió una ruptura que generó un flujo de escombros que se depositó a lo largo de los ríos Salado y Naranja hasta alcanzar la costa del Pacífico.



El *Sexto Periodo (Nevado VI)* se caracteriza por la formación de un suelo de 60 cm de espesor, el cual representa una etapa de inactividad. Al reactivarse el sistema volcánico, se generaron extensos flujos piroclásticos color amarillo, de amplia distribución geográfica. Después de la actividad explosiva, se formaron derrames de lava andesítica intracaldéricos y se emplazó un domo central conocido como El Picacho, que hoy en día presenta fuertes rasgos de erosión glaciar (Cortés et al., 2005). Luhr y Navarro, (2002) obtuvieron edades de  $C^{14}$  de 7000 a 8000 años A.P. para esta etapa eruptiva.

#### II.2.4 Volcán de Colima (Paleofuego-Actual)

En el Pleistoceno tardío, contemporáneo al cuarto periodo eruptivo del Nevado (*Nevado IV*), empezó a formarse en el flanco sur un volcán primitivo descrito por Robin et al. (1987) como Paleofuego. Dichos autores, al analizar la inclinación de los flujos de lava que conforman la caldera, estimaron que la cima del antiguo edificio del Paleofuego pudo haber sido más alta que la del cono actual y posiblemente mayor a la del Nevado de Colima (4,330 m).

Los primeros productos del Volcán Paleofuego presentan una brecha basal que sobreyace a una avalancha de escombros (*Nevado IV*) y un conjunto de lavas que superan los 80 m de espesor, formando estructuras columnares, de textura fanerítica general (Cortés et al., 2005). Este episodio es llamado como *Paleofuego I*. Seguido de este, depósitos de flujos piroclásticos color amarillo, compuestos de bloques andesíticos de matriz areno-limosa han sido fechados por el método  $C^{14}$  en 38, 4000 años A.P. por Komorowski et al. (1993). Coronando a los depósitos piroclásticos, se observa una gruesa secuencia de depósitos lacustres y laháricos. Ambas unidades se encuentran dentro del episodio definido como *Paleofuego II*.

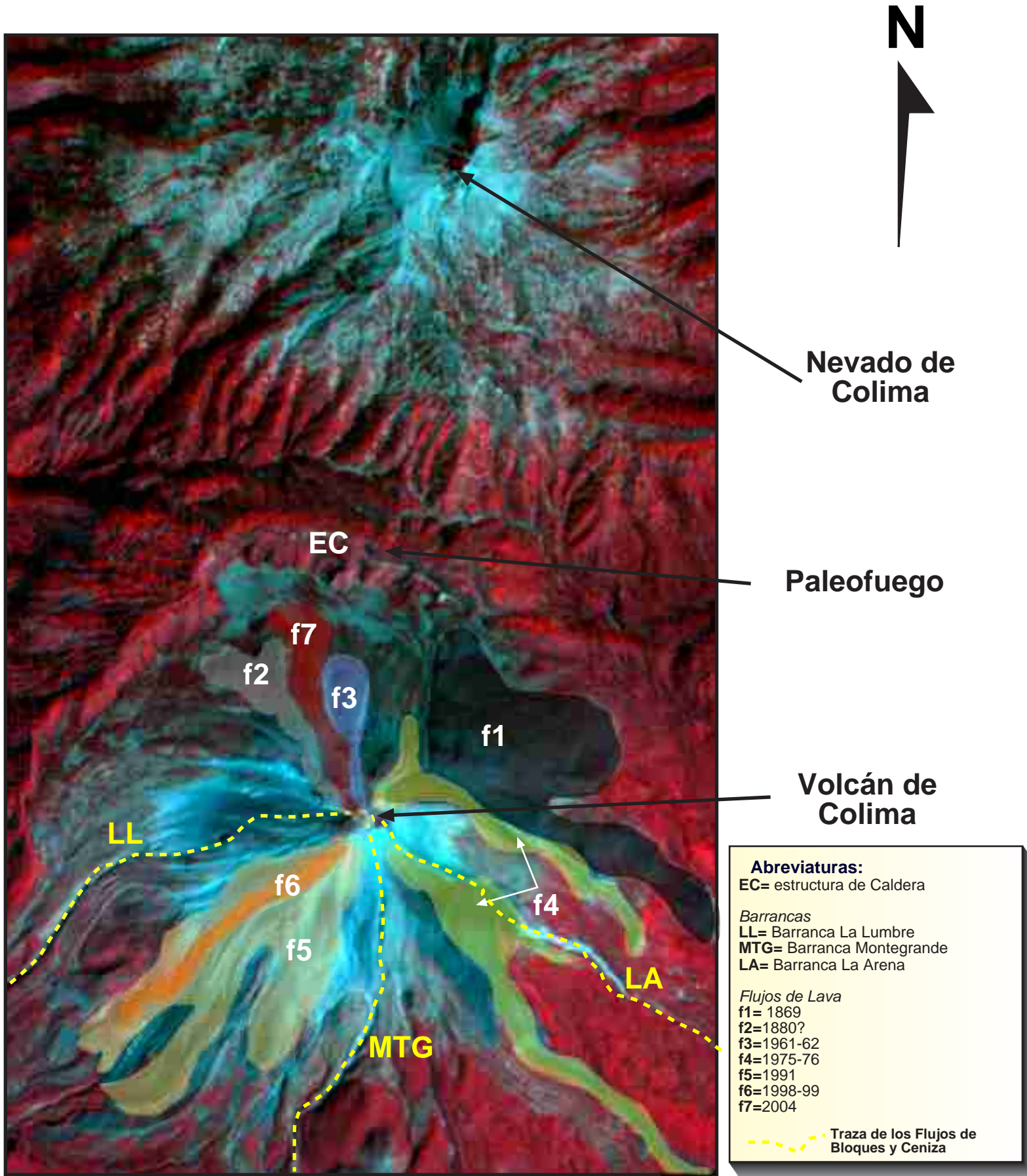
Después del *episodio II*, se observa un paleosuelo fechado por  $C^{14}$  en  $16,650 \pm 135$  años A.P. Komorowski et al (1997). Este bien podría tratarse de la base estratigráfica del episodio *Paleofuego III*. Aquí se identifican diferentes zonas de interés que pudieran ser de eventos distintos: la zona lejana, datada por los mismos autores en 6990 A.P. ( $C^{14}$ ), donde la avalancha descansa de manera discordante sobre depósitos fluviales, con bloques de lava abundantes en flogopita, mineral marcador de dicha fase eruptiva: la zona intermedia, que cubre la mayor extensión ( $586 \text{ km}^2$ ) hacia el SW, S y SE del actual Volcán de Colima, de morfología abrupta y grandes montículos o humocks, de paredes verticales y barrancos profundos y finalmente, la tercera zona, que cubre una superficie de  $40 \text{ km}^2$ , que se extiende hacia el SW hasta la región de Cerro Grande, presentando megabloques que llegan a medir hasta 50 m, compuestos de diferentes depósitos volcánicos y fluviolacustres.



Hoy en día, los restos del Volcán Paleofuego definen una estructura de caldera con un diámetro mayor a 5 km con su eje de abertura hacia el Sur (*Figura II.4 -EC*). Esta caldera se formó por un evento de colapso tipo Monte Santa Elena, que destruyó el último edificio volcánico, hace 2,300 años A.P. (Komorowski et al., 1997) generando una avalancha de escombros volcánicos que viajó hacia el Sur más de 65 km de la fuente, con una superficie estimada en 1,550 km<sup>2</sup> y un volumen de 8-10 km<sup>3</sup> (Cortés et al., 2005).

El *Volcán de Colima Actual* se ha formado sobre dicha estructura de caldera, manifestando un marcado efecto de contrafuerte que pudiera aportar inestabilidad al edificio actual. Consta de una breve historia geológica iniciada después del último colapso del edificio, con el emplazamiento de dos pequeños domos andesíticos al SSE del Volcán de Colima (*Los Hijos del Volcán*), así como potentes unidades de lava que afloran en el curso de la Barranca La Lumbre, por la cual la unidad ha sido definida como *Andesita La Lumbre*, ambas unidades descritas originalmente por Rodríguez-Elizarrarás (1995). Esta unidad masiva de andesitas de clinopiroxeno constituyen la mayor parte de las lavas emitidas por el Volcán de Colima, siendo fundamental en la estructura actual del Volcán de Colima, con una distribución de aproximadamente 20 km<sup>2</sup>.

Después de esta unidad, Rodríguez-Elizarrarás (1995) define como *Andesita El Playón* a todas aquellas lavas generadas por el Volcán de Colima actual desde 1869. En el presente trabajo, se ha optado por no usar esta unidad de modo general para todos los flujos de lava posteriores a 1869 (*ver Figura II.3- sección Volcán de Colima*), debido a la diversidad de eventos y a la importancia que representa la descripción completa de la actividad histórica (1519- presente) del Volcán de Colima.



**Figura II.4:** Imágen LANDSAT (falso color), sobre la cual se muestran rasgos topográficos (Estructura de Caldera del Volcán de Colima Ancestral -EC-), así como la distribución generalizada de los flujos de lava desde 1869 al presente, modificado de Luhr (2002). Asimismo, las principales barrancas de emplazamiento de los Flujos de Bloques y Ceniza del 2005.

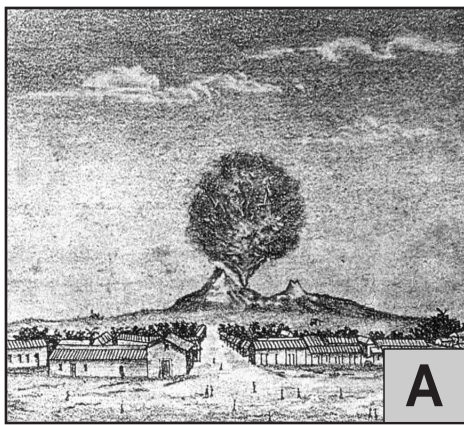


### II.3 / Historia Eruptiva del Volcán de Colima 1576-2009

El Volcán de Colima actual es uno de los volcanes más activos e importantes de México y América, con poco más de 50 fases eruptivas en los últimos 500 años, fue designado por la Comisión en Mitigación de Desastres Volcánicos de la Asociación Internacional para Vulcanología y Química del Interior de la Tierra (IAVCEI por sus siglas en inglés) como uno de los 16 volcanes de la última década del Siglo XX.

Las erupciones documentadas más significativas del Volcán del Colima tuvieron lugar en 1818 y 1913. De ellas se cuentan con registros detallados de que fueron eventos plinianos y/o subplinianos. Sin embargo, a medida de que se retrocede en los registros históricos, la información se torna más confusa y poco detallada, lo cual complica la interpretación de posibles eventos plinianos/subplinianos previos a 1818. La importancia de estos eventos reside en el hecho de que [Luhr y Carmichael \(1980, 1981, 1990\)](#), proponen un comportamiento cíclico natural en la actividad eruptiva histórica del Volcán de Colima de ~100 años, caracterizado por fases repetitivas de actividad efusiva con la generación de flujos de lava, intercalado con productos piroclásticos (actividad vulcaniana) y culminado por fases plinianas, como posible respuesta a una modificación de la estabilidad en la cámara magmática por entrada de un magma nuevo y de características químicas distintas. La *Figura II.5* muestra los ciclos eruptivos históricos en el Volcán del Colima, basados en el trabajo de [Luhr \(2002\)](#).

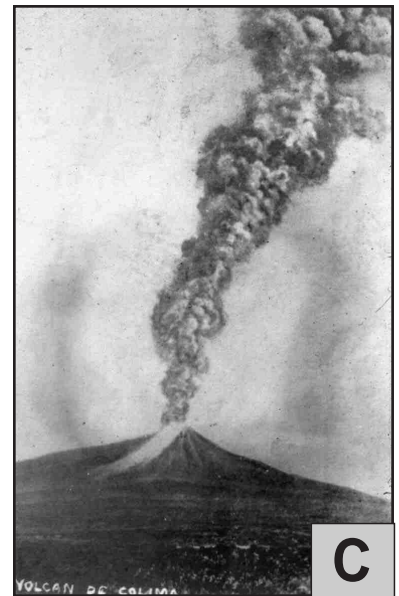
En la *Tabla II.1* se presenta un sumario de las principales fases de actividad del Volcán de Colima con base en reportes históricos y estudios modernos. Dicho compendio tiene correlación directa con lo mostrado en la *Figura II.3*.



**A**



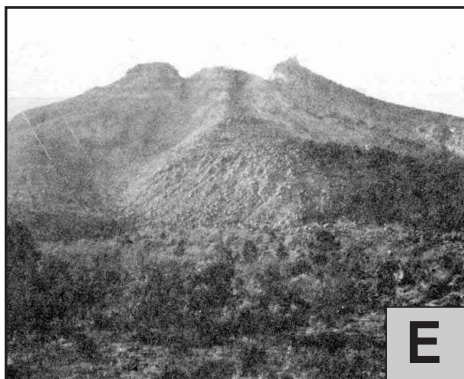
**B**



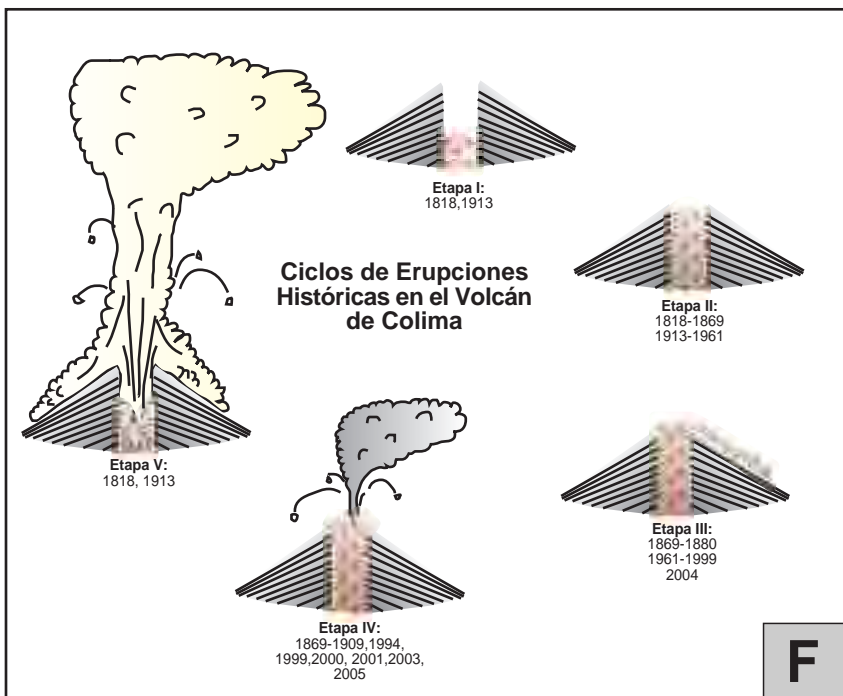
**C**



**D**



**E**



**F**

**Figura II.5:**

(De la A a E) Imágenes históricas del Volcán de Colima, extraídas de [Bretón et al., \(2002\)](#):  
**A)** 12-Jun-1869. Dibujo hecho por Sr. Francisco Rivas.  
**B)** 13-Ago-1872. Fotografía original de Manuel González  
**C)** 07-Mar-1903 (7.10 hrs). Fotografía de José María Arreola  
**D)** Comparativa del antes y después de la fase pliniana del 20 de Enero de 1913. Fotografía de Waitz (1915)  
**E)** Flujo de lava de 1961-1962 tomada por Sobota (1988).

Imagen F) Descripción esquemática de las 5 etapas principales en los últimos dos ciclos del Volcán de Colima.

**ETAPA I:** Cráter abierto producto de las fases explosivas finalizadoras de ciclo (1818 y 1913).

**ETAPA II:** El domo de lava asciende lentamente en un cráter abierto, probablemente a través de una combinación entre crecimiento endógeno y extrusión dentro del piso del cráter.

**ETAPA III:** El domo en el cráter alcanza el borde o desborda produciendo flujo de lava en bloques -coladas de domo- alcanzando hasta 3 o 4 km de distancia desde el cráter.

**ETAPA IV:** Actividad intermitente con explosiones menores a mayores (VEI 2-4) desde la cima del cráter (o conos parásitos como en 1869) alternando con la etapa 3 de emisión de flujos de lava.

**ETAPA V:** Erupciones de explosividad mayor (VEI ~4) terminan el ciclo establecido. Esta produce caída de tefra que puede extenderse por cientos de kilómetros dependiendo la dirección del viento y flujos piroclásticos locales pueden alcanzar más allá de 10 km desde su fuente, especialmente hacia el flanco Sur. El cráter residual de esta etapa presenta un conducto cilíndrico abierto.

Traducido de [Luhur \(2002\)](#)





**Tabla II.1:**

Sumario de la actividad histórica y reciente, así como estudios y autores que han descrito la actividad del Volcán de Colima, México. Se hace especial énfasis en las fases productoras de Flujos de Bloques y Ceniza. Modificado de Saucedo et al., (2005), Medina-Martínez (1983), Bretón-González et al (2002) y Macías et al., (2006). La figura II.5 muestra algunas imágenes de los eventos más importantes.

Año	Tipo de Erupción/ Productos	Observaciones	Autores
1576	Pliniana/ Peleana/ FBC-TSF	Emisión de Ceniza. Posible erupción vulcaniana a pliniana. Flujos de Bloques y Ceniza (FBC)	Bárcena, 1887
1590	Explosión/Caída de Ceniza/ FBC-TSF (?)	Área importante cubierta de caída de ceniza con posible generación de FBC tipo Soufrière	Waitz, 1935
1606	Posible Pliniana / posible FBC-TSF	La lluvia de ceniza alcanzó el Estado de Michoacán con posible generación de FBC tipo Soufrière	Tello, 1651; Arreola, 1915
1611	FBC-TSF/ Caída de Ceniza	/15-Abr y 29-Oct/ Ceniza y Escorias. Tello la describe como actividad Peleana.	Tello, 1651; Bárcena, 1887
1622	Caída de Ceniza/ Pliniana (?)	/09 de Junio/ Gran cantidad de lluvias de ceniza. Reportes de lluvia de Ceniza en Zacatecas. Pliniana (?)	Tello, 1651; Orozco, 1888
1690	Peleana (?) / Posible FBC	Posible erupción peleana con emisión de lluvia de ceniza. Similar a 1913 (?)	Medina-Martínez , 1983; Luhr y Carmichael (1990)
1771	Caída de Ceniza/ FBC-TSF	Generación de Flujo de Bloques y Ceniza en la Barranca de La Joya. La Caída de ceniza alcanzó la ciudad de Guadalajara.	Bárcena, 1887
1807	Flujos de Lava	Flujos de lava y explosiones esporádicas	Bárcena, 1887; Arreola, 1915
1818	Pliniana-Peleana / FBC	/Feb 2-5/ Flujo Piroclástico en la Barranca del Muerto (SE); con destrucción de árboles y ganado; caída de ceniza hasta Querétaro y Cd de México.	Waitz, 1932; Orozco, 1888; Bárcena, 1887; Puga, 1889; Arreola, 1915
1869	Efusiva/Cono adventicio	12-Jun/ Boca parásita genera un cono de lava. Caída de ceniza. Tefra posterior. proyectiles poderosos. Cono parásito formado. Construcción de Volcancito	Waitz, 1906; Bárcena, 1887; Mooser, 1961
1872	FBC-TMRP/ caída de ceniza	Explosión del Cono Parásito Volcancito. Varias explosiones con producción de FBC en los flancos SE. Caída de ceniza a más de 100 km de distancia	Bárcena, 1887.
1880	Flujo de Lava/ FBC - TMRP	Flujos de Lava y Flujos de Bloques y Ceniza tipo Merapi hacia el Flanco SW	Kerber, 1882;
1885	Flujo de Lava/ FBC - TMRP	Flujos de Lava seguidos de Flujos de Bloques y Ceniza tipo Merapi. Paso a Soufrière (?)	Bárcena, 1887.
1890	FBC-TSF/ Caída de Ceniza	Caída de Ceniza en Guanajuato. Producción de Flujos de Bloques y Ceniza tipo Soufrière.	Arreola, 1915; De la Cruz-Reyna, 1991.
1903	FBC-TSF/ Caída de Ceniza	Caída de ceniza y Flujos de Bloques y Ceniza tipo Soufrière	Arreola, 1915; Waitz, 1935.
1908	FBC-TSF/ Caída de Ceniza	Caída de ceniza y Flujos de Bloques y Ceniza tipo Soufrière	Arreola, 1915; Waitz, 1935.
1909	FBC-TSF/ Caída de Ceniza	Caída de ceniza y Flujos de Bloques y Ceniza tipo Soufrière	Arreola, 1915; Waitz, 1935.
1913	FBC-TMRP/ Caída de Ceniza	/18 y 19 de Enero/ (Fase I). Colapso gravitacional de zonas externas del domo con FBC tipo Merapi. D= 4 Km	Arreola, 1915; Waitz, 1915; Saucedo, 1997
1913	FBC-TSF/ Caída de Ceniza / Surge	/20 de Enero/ (Fase II). Erupción vulcaniana que destruye parte del Domo Sumital. Colapso de columna formando un FBC tipo Soufrière. D= 10 Km	Arreola, 1915; Waitz, 1915; Saucedo, 1997



<b>1913</b>	Pliniana	/20 de Enero/ (Fase III). Columna Pliniana que alcanzó 21 km de altura. Dispersión de ceniza hasta 725 km al W del Volcán. Flujo de ceniza alcanzó más de 15 km. La explosión removilizó más de 100 m de edificio volcánico	Arreola, 1915; Waitz, 1915; Saucedo, 1997,2005
<b>1961-1962</b>	Flujo de Lava y FBC-TMRP	Flujo de Lava y Flujo de Bloques y Ceniza en el flanco SE. Distancia máxima= 4.5 km	Mooser, 1961.
<b>1975-1979</b>	Flujo de Lava/ FBC-TMRP	Flujo de lava en el flanco Sur. Flujo de Bloques y Ceniza tipo Merapi. D= 1 km	Thorpe et al, 1977
<b>1981-1982</b>	Flujo de Lava/ FBC-TMRP	Flujo de lava y Flujos de Bloques y Ceniza hacia el N. D=2 km	Luhr y Carmichael, 1991
<b>1987</b>	FBC-TSF	Explosión de Cráter y FBC tipo Soufriere	Luhr y Carmichael, 1991
<b>1991</b>	Flujo de Lava/ FBC-TMRP	Flujo de Lava de 2 km de largo al SW. Flujo de Bloques y Ceniza tipo Merapi. D= 4 km	Rodriguez-Elizarrarás, 1991 ; Saucedo, 2001
<b>1994</b>	FBC-TSF	Flujos de Bloques y Ceniza Tipo Soufriere. Alcance máximo de 3.5 km	Saucedo et al, 1995
<b>1998-1999</b>	Tres flujos de lava/ FBC-TMRP/ FBC/TSF	3 flujos de lava con D=2.8 y 3.8 km desde la cima. /17-Jul-99/ Flujo de Bloques y Ceniza tipo Merapi D=4.5 km. Flujos de Bloques y Ceniza tipo Soufriere D=3.3 km. Flujo de lava a 3 km del cráter	Saucedo, 2001; Navarro et al. , 2002
<b>2001</b>	FBC- TSF	/22-Feb-01/ Explosión importante y Flujos de Bloques y Ceniza tipo Soufriere. D= 2-3 Km del cráter	Gavilanes, 2001 com. Personal.
<b>2002</b>	Flujo de Lava/ FBC-TMRP	Crecimiento del nuevo domo con algunos derrames y FBC tipo Merapi. Flujo de lava hacia el E,SW,W	Navarro et al. , 2002
<b>2003</b>	FBC-TSF	Generación de FBC tipo Soufrière. D= 3 km. Eventos importantes: 17- Julio y 28-Agosto	Gavilanes, 2003 Saucedo, 2005
<b>2004 Sep</b>	Flujo de Lava/ Domo Sumital	Domo de lava en bloques se forma en la cima del Volcán. Dos flujos de lava descienden hacia el N,WNW.	Gavilanes (2004) com. Personal.
<b>2004 Oct</b>	FBC-TMRP	Colapso parcial del domo genera un FBC tipo Merapi. D= 6.14 km sobre la Barranca de La Lumbre (SW)	Gavilanes, 2004 Saucedo, 2004
<b>2005</b>	Explosiones/ FBC-TSF	Feb-Sep/ Secuencia de varios eventos explosivos que produjeron Flujos de Bloques y Ceniza tipo Soufriere en los flancos S-SE (Barranca Montegrande y La Arena). Dmax= 5.4 y 6.1 km respectivamente. Representa la máxima fase explosiva desde 1913.	Vargas-Gutiérrez (presente trabajo)
<b>2007-2009</b>	Domo Sumital	Generación de nuevo domo de baja tasa de efusión desde Febrero del 2007. Dimension actual: $\theta=200$ m; H= 45-50 m	Gavilanes y Varley (en curso)



## CAPÍTULO III

# FLUJOS DE BLOQUES Y CENIZA

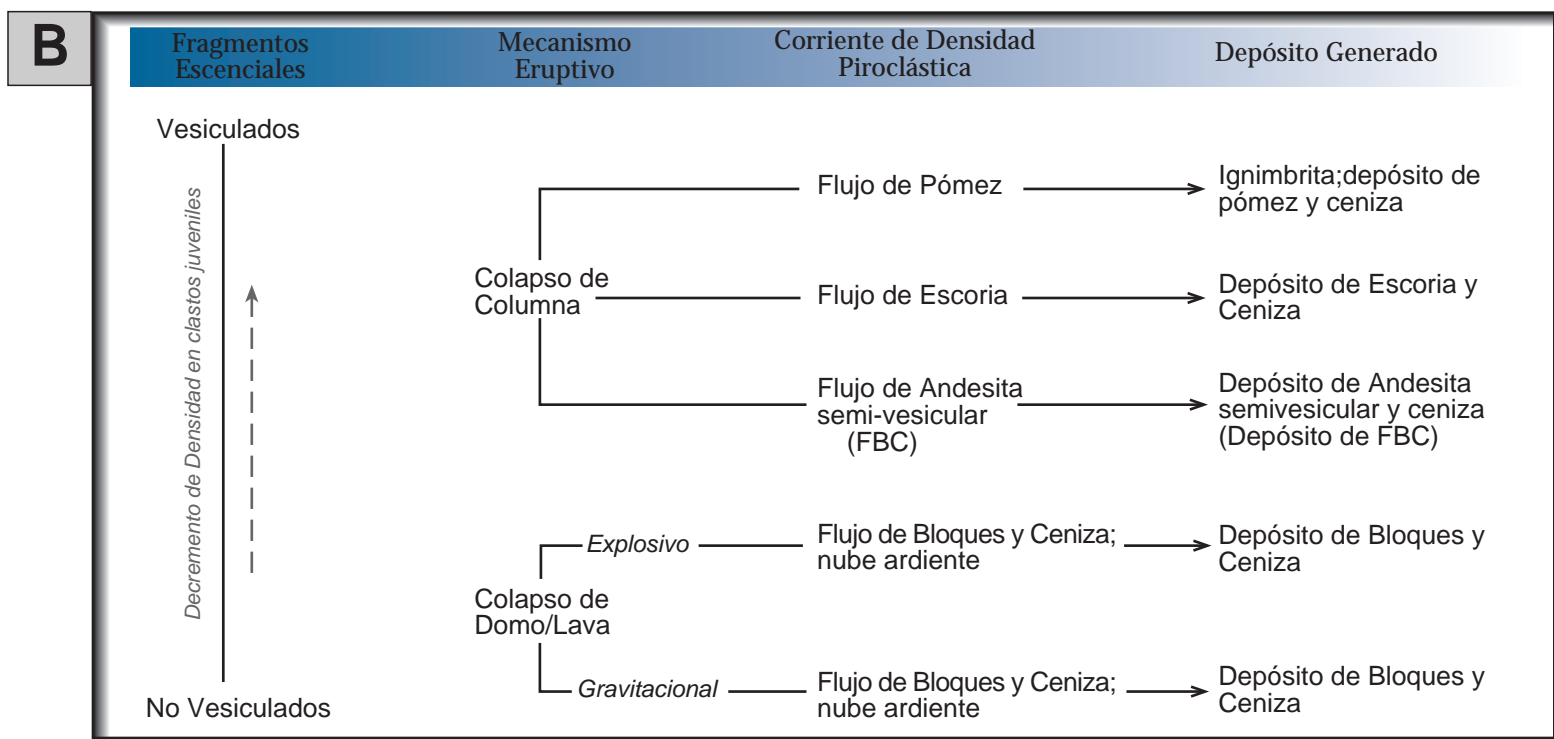
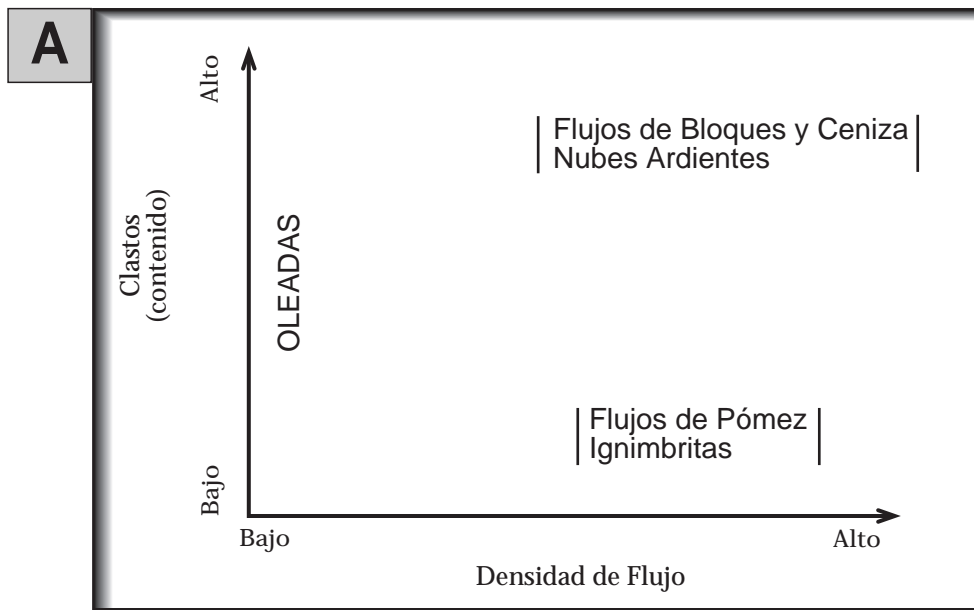
### III.1 / Corrientes Piroclásticas de Densidad (CPD)

Al adentrarnos en el estudio de los Flujos de Bloques y Ceniza (FBC) es necesario ubicarlos dentro de las Corrientes Piroclásticas de Densidad (CPD), para después describir las características físicas, genéticas y sus modelos de emplazamiento más comunes.

[Branney y Kokelaar \(1992,2002\)](#) definieron las corrientes de densidad piroclásticas como mezclas inhomogéneas de partículas volcánicas y gas que fluyen con una densidad relativa propia con respecto al fluido que lo rodea (generalmente la atmósfera) y controladas por gravedad terrestre (*gravity current*). Estas corrientes están dentro de los productos volcánicos más complejos y peligrosos. Tienen su origen en erupciones explosivas, así como en colapsos gravitacionales de domos de lava ([Sulpizio et al, 2007](#)). Pueden ser fenómenos volcánicos de corta vida (sistema altamente inestables) o relativamente de larga vida (sistema inestable sostenido o cuasi-estable) asociados tanto a fragmentación magmática como freatomagmática ([Cas y Wright, 1987](#); [Branney y Kookelar, 2002](#)). En la *Tabla III.1* se hace una síntesis de las CPD más comunes y sus implicaciones, mientras que la *Figura III.1A* muestra los principales depósitos generados por dichas corrientes.

Basándose en su génesis y forma de transporte, [Wilson y Houghton \(2000\)](#) proponen la existencia de dos miembros extremos de CPD reconocidos en observaciones de erupciones históricas y recientes: las corrientes diluidas y las corrientes concentradas. Las corrientes piroclásticas diluidas son referidas normalmente como oleadas piroclásticas (*surge*), mientras que el miembro de corrientes piroclásticas concentradas son los flujos piroclásticos. Por otro lado, [Branney y Kookelar \(2002\)](#) optan por una clasificación basada en litología y estructuras sedimentarias y agrupan las CPD en Ignimbritas y depósitos de Flujos de Bloques y Ceniza como corrientes concentradas y depósitos de Oleadas piroclásticas como corrientes diluidas.

Se ha observado que las *Corrientes Piroclásticas Diluidas (Oleadas)*, viajan típicamente a velocidades de decenas a pocas centenas de metros por segundo. Algunas de las observaciones más importantes de las oleadas son: a) contienen entre 0.1-1% en volumen de sólidos, inclusive cuando viaja cercana al terreno; b) son estratificadas por densidad con la mayor concentración de partículas cercanas a la superficie del terreno y c) presentan un transporte primario de partículas



**Figura III.1:**

III.1 A) Principales tipos de Corrientes de Densidad Piroclásticas, distinguidas en términos de su contenido de clastos y densidad de flujo. Las oleadas son la porción de las Corrientes Piroclásticas Diluidas (CPD), mientras que los flujos de pómez, ignimbritas y flujos de bloques-ceniza son las Corrientes Piroclásticas Concentradas (CPC).

III.1 B) Clasificación genética de los principales tipos de Corriente Piroclásticas Concentradas (CPC).

*Tomado y modificado de Francis (1993)*



por suspensión turbulenta en una fase fluida (gas+sedimentos) a todos los niveles de la corriente, con una menor población de partículas de clastos gruesos moviéndose por saltación y/o en una carpeta de tracción. Los contrastes de densidad entre las oleadas y la atmósfera ambiental son relativamente bajas, por lo tanto la dinámica de estas corrientes puede ser modelada usando corrientes de gravedad derivadas en medios acuosos, puramente líquidos o sedimentos soportados por líquidos (Wilson y Houghton,2000). Los depósitos de corrientes piroclásticas diluídas presentan típicamente estratificación paralela y cruzada. Ocurren dentro de muchas capas de ignimbritas o flujos de bloques y cenizas (en las cuales son unidades subordinadas) o en secuencias individuales.

Las *Corrientes Piroclásticas Concentradas –CPC- (Flujos Piroclásticos)*, presentan velocidades del orden de pocas decenas metros por segundo. Algunos puntos importantes de estas corrientes son: a) tienen concentración de sólidos en el orden de decenas porcentuales de volumen b) el transporte de materiales puede ser una combinación de mecanismo de soporte, incluyendo contacto partícula-partícula, soporte por fluidización, soporte por matriz, presión dispersiva y flotabilidad. La turbulencia puede o no ser un factor presente, pero no es un mecanismo dominante como ocurre en las oleadas piroclásticas (Wilson y Houghton,2000). La *Figura III.1B* muestra una clasificación genética de las CPC en base a diversos parámetros. Branney y Kookelar (1992, 2002) describen sus depósitos como unidades masivas, de estratificación difusa o en todo caso, estratificadas, con patrones de gradación variados. Asimismo, dichos autores clasifican dos tipos de depósitos principales para las corrientes piroclásticas concentradas: las ignimbritas (Ign) y los Flujos de Bloques y Ceniza (FBC). Las *Ignimbritas*, son una mezcla pobremente seleccionada de pómez y líticos soportados en una matriz de espículas vítreas y fragmentos de cristales. Físicamente pueden ser inestables y no compactadas, o parcial a fuertemente soldadas. De amplia distribución geográfica, tienden a regular o a crear una nueva superficie topográfica, cubriendo la pre-existente con espesores potentes en las depresiones topográficas. Por otro lado, los *Flujos de Bloques y Ceniza*, difieren con respecto a las ignimbritas en que contienen una elevada proporción de bloques de lava juveniles, en su mayoría de densos a pobremente vesiculados dentro de una matriz rica en ceniza pero sin presencia de pómez. Son generalmente de volumen más pequeño que las ignimbritas y están normalmente asociadas a domos de lava (colapsos), aunque muy frecuentemente también a explosiones vulcanianas simples.



### III.1.1 Clasificación Genética de las CPD

La generación de las corrientes piroclásticas de densidad (CPD), como ya se mencionó, se debe a un número variado de mecanismos (*ver Figura III.2*). Sin embargo, con base en lo observado en erupciones recientes y las interpretaciones obtenidas en el campo, es posible dividir los flujos en dos tipos principales en base a su génesis (Cas y Wright, 1987):

- 1) *Colapso de domo /colapso de flujo de lava*: el mecanismo se da principalmente en edificios volcánicos andesíticos-dacíticos de pendientes pronunciadas o durante la erupción de domos silíceos aislados. La fragmentación de flujos de lava son generados cuando un domo de lava en crecimiento colapsa desde la cima o flancos elevados del volcán (CPD tipo Merapi- *ver Figura III.2A*) . El colapso puede ser puramente gravitacional o dirigido explosivamente. De cualquier manera, ambos procesos presentan estrecha relación, debido a que en ciertas ocasiones, un colapso gravitacional inicial puede desencadenar un proceso explosivo, producto de la liberación súbita de presión en el interior del domo (CDP tipo Peleana - *ver Figura III.2B*) .Ejemplos históricos en los que domos de lava o flujos de lava colapsaron son: Monte Pelée, Martinica (1902, 1929-32), Merapi, Indonesia (1942-43, 1976-1981,1986-1987,1991-1992, 2000-2001, 2008), las erupciones de Hibok-Hibok, Filipinas (1897,1891,1951), Santiaguito, Guatemala (1973), Unzen (1991) y el Volcán de Colima con una importante recurrencia en generación y destrucción de domos somitales en el último siglo (1913, 1961-62, 1975-1979, 1981-1982, 1991, 1998-1999, 2002-2003, 2004).
- 2) *Colapso de columna eruptiva*: debido a que la densidad efectiva de la columna eruptiva cargada de ceniza es mucho mayor que la densidad atmosférica un colapso gravitacional genera una corriente de densidad piroclástica sobre las laderas del volcán. La gran mayoría de ejemplos históricos de este tipo de actividad han producido depósitos de volumen pequeño, algunos de los cuales pudieron generarse por explosiones o varios pulsos de colapsos de columna. Erupciones históricas en las cuales se han formado este tipo de CPD son comunes en diferentes volcanes del mundo, como: Monte Lamington (1951), Monte Mayón, Filipinas (1968), Volcán Fuego, Guatemala (1974), Ngauruhoe (1975), Augustine, Alaska (1986), Pinatubo, Filipinas (1991), Reventador, Ecuador (2002), Chaiten, Chile (2008) y el Volcán de Colima, con una historia repetitiva en este tipo de eventos volcánicos (1913-fase II, 1987,1994,1999,2001, 2003,2005). Las explosiones recurrente de este tipo ocurridas en el volcán Soufriere Hills otorgan el epónimo a dichos flujos (CPD tipo Soufriere). La *Figura III.2C* muestra el proceso de colapso de columna a

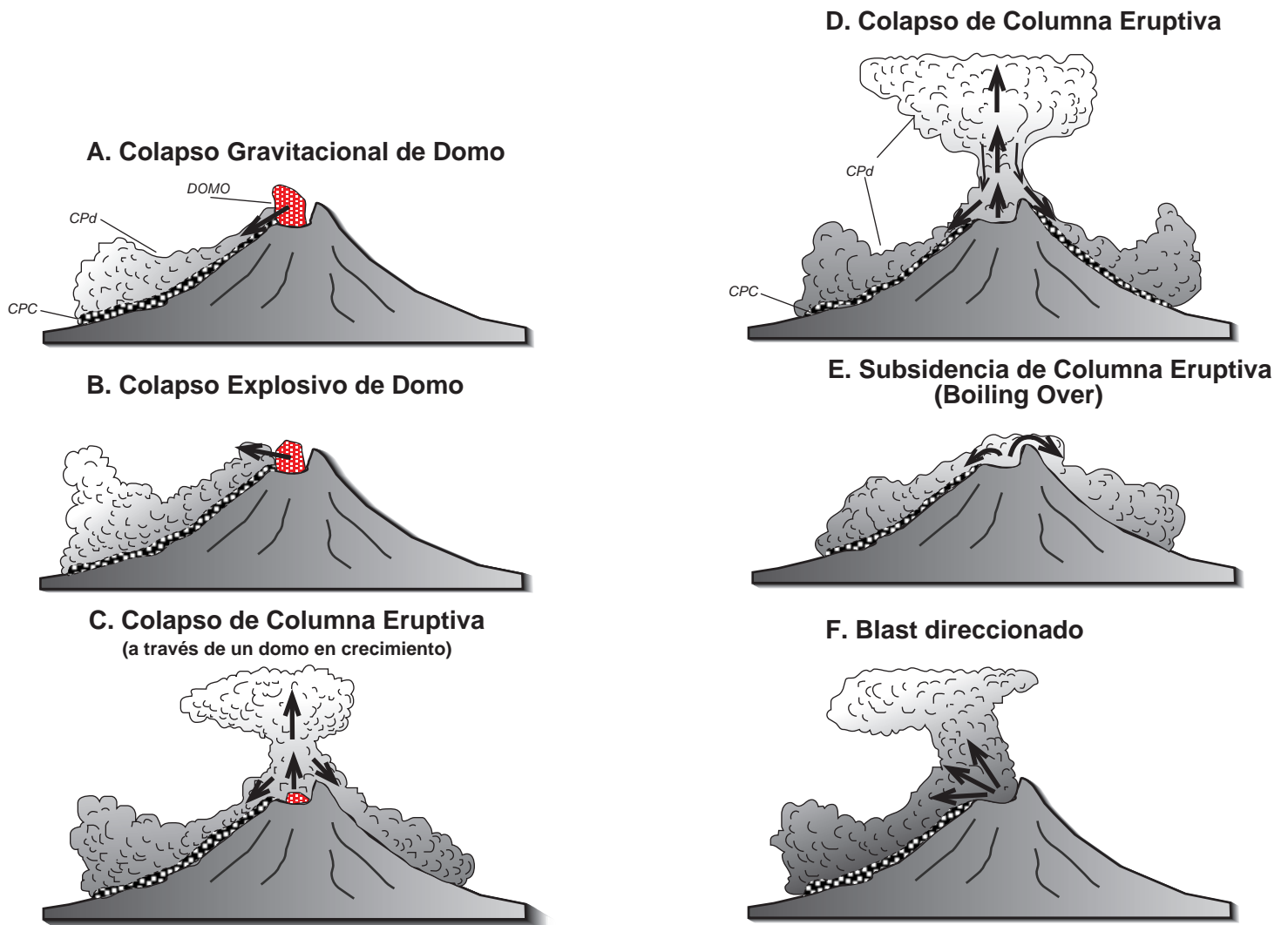


Figura III.2:

Diagrama ilustrando diferentes mecanismos propuestos para la generación de Corrientes Piroclásticas de Densidad (CPD).  
 Caso A: colapso gravitacional de domo/ flujo de lava sin componente explosiva (CPD tipo Merapi).  
 Caso B: colapso explosivo de domo (CPD tipo Peleana).  
 Caso C: colapso de una columna eruptiva a través de un domo creciente (CPD tipo San Vicente).  
 Caso D: colapso de columna eruptiva, producido tanto por un colapso continuo de la columna que produce depósitos de moderado a gran volumen, como por colapsos de columnas interrumpidos productores de depósitos de relativamente pequeño volumen (CPD tipo Soufriere).  
 Caso E: subsidencia de columna eruptiva, columna eruptiva que causa *boiling over* (reboamiento por ebullición) sobre el cráter, generando colapsos de una pseudocolumna en los flancos del volcán (posible CPD tipo Valle de las 10,000 fumarolas).  
 Caso F: blast direccionado (caso Santa Elena o Bezymianny).

CPD: corriente piroclástica de densidad  
 CPd: corriente piroclástica diluída  
 CPC: corriente piroclástica concentrada

Tomado y modificado de Smith y Roobol (1990)



través de un domo creciente (o relicto), una posible fase intermedia entre colapso de domo-columna, mientras que la *Figura III.2D* muestra un colapso de columna a conducto abierto (tipo Soufriere).

La distinción principal existente entre las CPD Tipo Merapi-Pelée-Soufrière, reside en una relación entre el exceso de la Presión de Poro ( $P_e$ ) y la Resistencia Interna del Magma ( $T_s$ ) (Sato, 1992; Saucedo, 2001; Sarocchi 2005).

Para el primer caso de esta clasificación de Sato, en las explosiones *Tipo Merapi* la presión de poro es menor que la resistencia interna del magma ( $P_e < T_s$ ). Esto se puede entender cuando en un domo existen heterogeneidades considerables en el contenido de agua y por ende en la presión de poro en exceso de algunos sectores del mismo.

El segundo caso, las explosiones *Tipo Pelée*, ocurren cuando la presión de poro llega a ser menor o cercanamente igual que la resistencia interna del magma ( $P_e < T_s$ ) o que inclusive, en zonas puntuales, la presión de poro exceda la resistencia interna ( $P_e > T_s$ ) dentro del domo. Esto tiene como consecuencia explosiones dirigidas hacia algún flanco del Volcán.

El tercer caso, las explosiones *Tipo Soufrière*, ocurren por una presión de poro excedida ( $P_e > T_s$ ) con respecto a la resistencia del magma. Este proceso puede ocurrir mediante una fragmentación efectiva del magma en el conducto volcánico o por el rompimiento de zonas relictas de domo. Normalmente este proceso desencadena en un colapso de columna volcánica.





**Tabla III.1:**

Clasificación de Corrientes Piroclásticas de Densidad (CPD). Modificado de Fisher y Schminke (1984), Cas y Wright (1987), Francis (1993), Saucedo (2005), Esta tabla se relaciona directamente con la imagen III.2 en donde se presentan los diagramas de emplazamiento de las principales CPD.

Tipo	Contenido de Gases	Velocidades Observadas	Origen	Tamaño del Grano	Fragmentos	Grado de Soldadura	Observaciones
<b>Merapi</b>	Pobre en Gases, no explosivo, avalanchas calientes	Sobre los 110 km/hr	Colapso de espigas, domos y frentes de derrames	Grano grueso	Rocas angulosas y bloques	No soldado	Pueden viajar más lejos que las avalanchas frías
<b>Peleano</b>	Varia de pobre a rico en gases y de no explosivo a explosivo	Más de 160 km/hr	Explosiones laterales durante el emplazamiento de un domo	Grano grueso	Bloques y rocas angulosas, y pómez	No soldado	Asociados con la formación de domos
<b>San Vicente</b>	Más rico en gases que el tipo peleano	> 120 km/hr	Colapso de una columna eruptiva	Grano medio/mezcla	Rico en cristales, cenizas y bombas vítreas. Bloques líticos y lapilli son más comunes que material juvenil vesiculado	Sin soldar a pobremente soldado	Fluyen sobre todas las laderas del volcán
<b>Soufriere</b>	Moderado a rico en gases, explosivo	120~200 km/hr	Colapso de una columna eruptiva	Grano fino a medio (menores finos)	Cristales, ceniza y bombas vítreas de corteza de pan y escoria asociada, gran contenido de bloques angulosos	Sin soldar	Fluyen sobre todas las laderas del volcán, pero muy controlado por la topografía del cráter o pequeños remanentes del domo.
<b>Krakatoa</b>	Más rico en gases que el anterior	>150 km/hr	Colapso de una columna eruptiva	¿?	Rico en pómez, casi exclusivamente material juvenil	¿?	Emisión desde el cráter en la cima, durante la última etapa eruptiva
<b>Valle de las 10,000 fumarolas</b>	Enriquecido en gases	No observado	Probablemente subsidencia de una columna eruptiva	Grano fino a medio	Ceniza juvenil y pómez	Sin soldar a muy soldado	Fluyen sobre pendientes de 1° y distancias de hasta 20 km
<b>Vulcano-Tectónico</b>	Enriquecido en gases	No observado	A partir de fisuras arqueadas que acompañan la subsidencia de grandes estructuras	Grano fino a medio	Casi todo material juvenil	Sin soldar a muy soldado	Depósitos en formas de capas de grandes dimensiones, su tamaño es varias veces más grande que los tipos anteriores, se emplaza a altas temperaturas



### III.1.2 Modelos Reológicos de las CPD

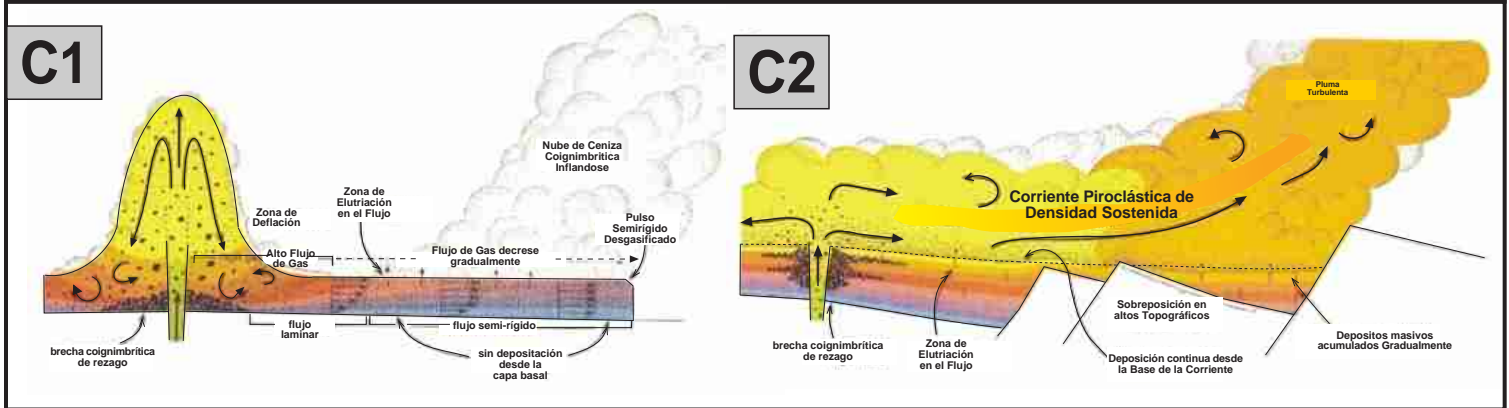
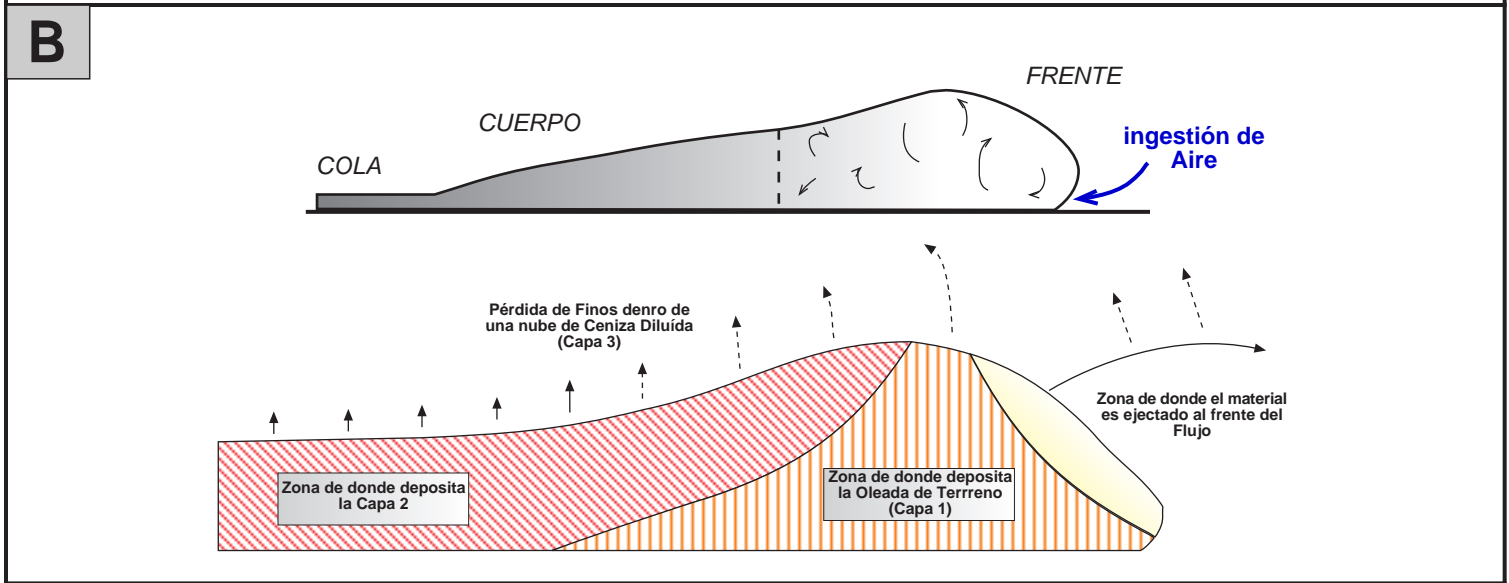
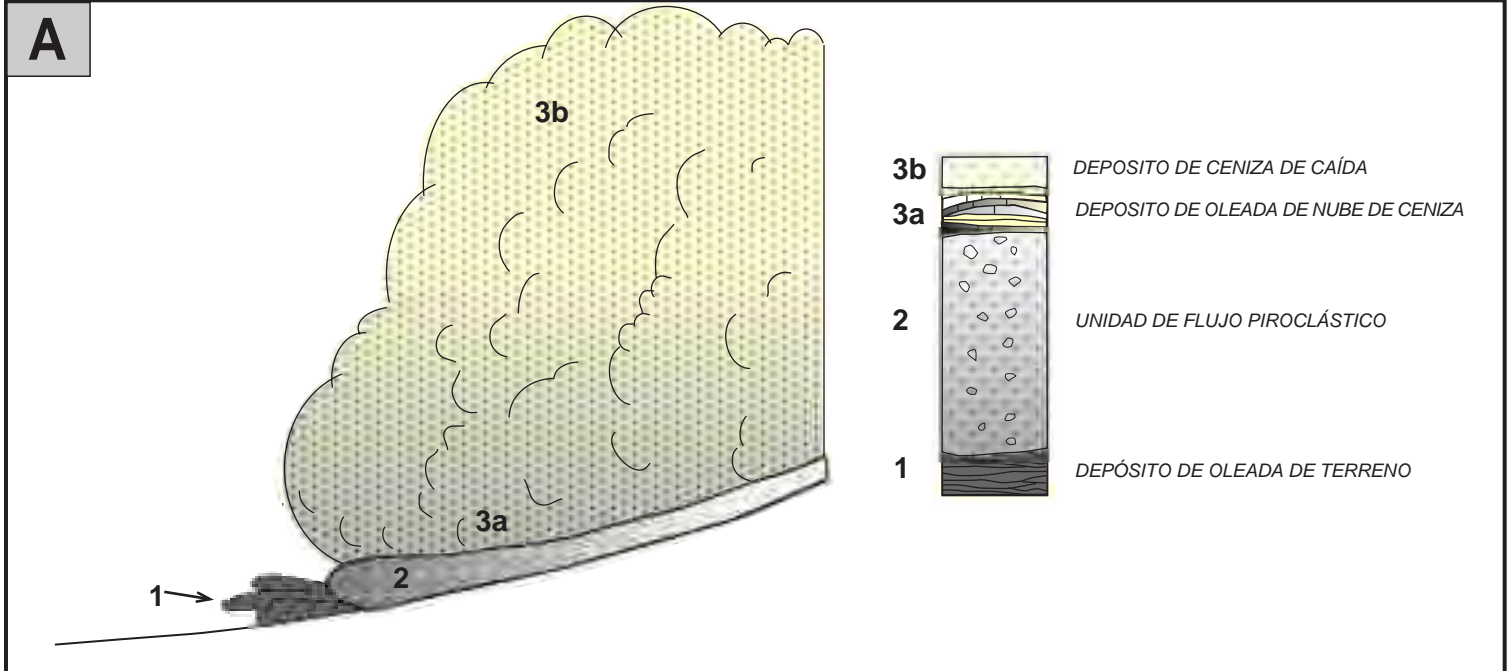
Para poder explicar de manera acertiva los Modelos Reológicos en Flujos de Bloques y Ceniza es necesario conocer las vertientes teóricas postuladas para el Emplazamiento de las CPD.

[Sparks \(1973\)](#) propone un modelo donde cada pulso de Flujo Piroclástico se detiene en masa (*Modelo de depositación en masa*). Adicionalmente, propone un columna estratigráfica idealizada de una ignimbrita, mostrando las principales unidades que la constituyen y su proceso de formación (*Figura III.3A*). [Wilson y Walker \(1982\)](#) propusieron un modelo análogo para explicar la anatomía de los Flujos Piroclásticos dividiendo su estructura en tres partes principales: frente, cuerpo y cola (*Figura III.3B*). De acuerdo con este modelo, la parte más fluidizada del flujo piroclástico es el frente, dentro de la cual grandes cantidades de aire pueden ser ingresadas, expandiendolo rápidamente debido al incremento repentino de la temperatura, que produce una elevada fluidización así como un grado de turbulencia de grado variable. Por otro lado, la región de la cola y el cuerpo, igualmente se detienen súbitamente, con la formación de unidades de flujo simples.

De acuerdo con las unidades propuestas por [Sparks \(1973\)](#), el frente inflado del flujo piroclástico generará la Capa 1 (depósito de oleada de terreno -*ground surge*-), mientras que el cuerpo y la cola generaran la Capa 2 (depósito masivo del flujo piroclástico). Por otro lado, la intensa elutriación dentro del cuerpo principal del flujo generará la capa superior de material fino subyacente (Capa 3, oleada de Nube de Ceniza -*Ash Cloud Surge*-). El principio fundamental del modelo de depositación en masa afirma que la organización vertical encontrada en los depósitos de flujos piroclásticos refleja la estructura de la corriente justo antes de que esta se haya detenido abruptamente.

Por otro lado, [Branney y Kookelar \(1992, 2002\)](#) proponen un modelo más complejo llamado *agregación progresiva*. Dichos autores se apoyan en evidencias provenientes de variaciones de litofacies, características de soldamiento, análisis de fábricas y la presencia de zonación composicional dentro de unidades de flujo para concluir que, en realidad, las unidades masivas generalmente se agregan progresivamente desde su base hasta su cima, debido a un aporte continuo de material piroclástico desde el centro de emisión volcánica.

Dichos autores proponen que los procesos sedimentarios ocurren virtualmente independientes de la concentración y los mecanismos de transporte de las partes superiores de la corriente, que pueden variar en cada caso. La tasa de agregación puede variar de lento a extremadamente rápido y debido a que el depósito es armado progresivamente (a través del tiempo) no puede registrar



**Figura III.3A :**

Proceso de formación y las unidades idealizadas para los depósitos de ignimbritas según Sparks et al. 1973. Modelo de emplazamiento en masa. *Imagen tomada de Cas y Wright (1987).*

**Figura III.3B :**

Modelo esquemático propuesto por Wilson y Walker (1982), que ilustra la forma en que transporta y deposita un flujo piroclástico. Se reconocen tres zonas principales dentro del Flujo: Cola, Cuerpo y Cabeza. En la imagen inferior se muestran las unidades idealizadas propuestas por Sparks y su correspondencia zonal con el Flujo Piroclástico en generación. *Imagen tomada de Cas y Wright (1987).*

**Figura III.3 C y D :**

Modelos alternativos para el emplazamiento de ignimbritas propuestos por Branney y Kokelaar (1992). En C1 se presenta una modificación al modelo de Wilson y Walker (1982), -Emplazamiento en Masa- y C2 muestra el proceso de agregación continua mediante una CPD sostenida. *Imagen tomada de Branney y Kokelaar (2002).*



directamente la estructura vertical de la corriente en su totalidad. En lugar de ello, la unidad de flujo (que origina el depósito) es testigo de como cambian las condiciones y procesos alrededor de la capa límite.



### III.2 / Introducción a los FBC y Trabajos Previos

Inicialmente definidos en la fase cataclísmica de Mt Pelée ([Lacroix, 1904](#)) como *nuées ardentes* (Nubes Ardientes), los Flujos de Bloques y Ceniza (FBC) se encuentran entre los productos volcánicos más peligrosos. Caracterizados por ser fenómenos volcánicos puntuales, normalmente de corta duración y generadores de depósitos piroclásticos de volumen pequeño a moderado. Aunque no son restrictivos de un ambiente tectónico, son más comunes en volcanes de zonas de subducción, de afinidad calcoalcalina tales como Unzen (Japón), Arenal (Costa Rica), Montserrat (Antillas Menores), Mt Pelée (Martinica), Merapi (Indonesia), Bezymiany (Kamchatka) y el Volcán de Colima (México), sitios donde existe una permanente amenaza hacia la vida, las propiedades y la infraestructura en las proximidades de dichos volcanes ([Charbonnier et al.,2008](#)).

Como se ha mencionado previamente, los Flujos de Bloques y Ceniza (FBC) se pueden formar por colapso de columnas eruptivas vulcanianas, pero los ejemplos históricos más importantes están relacionados al colapso de un domo de lava viscoso. Los depósitos están estrictamente controlados por la topografía de las barrancas o sitios de emplazamiento, compuestos de una cantidad variables de bloques (de hasta 5 m de diámetro) soportados por una matriz fina rica en ceniza. Están caracterizados por presentar clastos de pobre vesicularidad (porosidad<45%) ([Gómez et al.,2008](#)), que normalmente son del mismo magma, por lo tanto, son identificados en la mayoría de los casos como monolitológicos. Los depósitos son masivos, presentan gradación inversa cruda ([Michol et al, 2008](#)), pobre selección y están soportados por matriz ([Saucedo et al,2004](#)).

Normalmente estos depósitos presentan una pobre compactación, factor que los hace fácilmente erosionables, principalmente en regiones tropicales donde la formación de lahares por removilización durante la temporada de lluvias es un proceso común (Pinatubo, Volcán de Colima, Arenal, etc); sin embargo, [Michol et al, \(2008\)](#) han descrito extensos depósitos de FBC soldados en British Columbia, Canadá.

Debido a sus temperaturas normales de emplazamiento (entre 250-800°C) algunos bloques presentan enfriamiento columnar, mientras que es relativamente común la formación de tubos de desgasificación y madera carbonizada o cocinada. Rasgos típicos en la superficie del flujo son: presencia de *levées*, frentes lobulares con amplia concentración de bloques, lo cual nos indica una alta resistencia a la deformación (*yield strength*) durante el flujo. Bloques de composición homogénea, rasgos de temperatura en roca y la formación de tubos de desgasificación son algunos criterios de campo para distinguir entre los FBC y lahares o avalancha de escombros.



Desde Lacroix (1904), que llevó a cabo una primera descripción de flujos de bloques y ceniza asociadas a la erupción histórica del Mt. Pelée, numerosos estudios vulcanológicos alrededor del mundo se han centrado en estudiar la estratigrafía, clasificación y génesis de los FBC generados en importantes fases explosivas de volcanes como Soufrière de Hills, Unzen, Merapi, Arenal, Ngauruhoe y Colima ( ver *Tabla III.2*).

**Tabla III.2**

Principales eventos volcánicos generadores de Flujos de Bloques y Ceniza en el mundo.

Volcán	Año de Actividad	Autores
Mt Pelée (Martinica)	1902	Lacroix, 1904
Soufrière (San Vicente)	1902	Anderson y Flett, 1903
Santa Maria (Guatemala)	1906	Rose, 1972
Volcán Mayón (Filipinas)	1968	Moore y Melson, 1969
Santiaguito (Guatemala)	1972	Rose, 1972
Volcán de Fuego (Guatemala)	1974	Davies et al, 1978
Volcán Ngauruhoe (Nueva Zelanda)	1975	Nair y Self, 1978; Lube et al., 2007
La Soufriere Guadalupe (Martinica)	1976	Sheridan, 1980
St. Augustine (Alaska)	1976	Stith et al., 1977
Merapi (Indonesia)	1984, 2006	Boudon et al., 1993; Schwarzkopf, 2005; Charbonnier y Gertisser, 2008.
Volcán Arenal (Costa Rica)	1987, 2001	Cole, 2005
Soufrière Hills (Montserrat)	1995-2000	Cole et al., 1998, 2002; Calder et al., 1999, 2002
Unzen (Japón)	1991, 1999	Yamamoto, 1993; Miyabuchi, 1999; Fujii y Nakada, 1999; Takahashi y Tsujimoto, 2000
Volcán de Colima (México)	1991, 1998-99, 2005	Rodríguez-Elizarrarás et al., 1991; Saucedo et al., 2001, 2003, 2004, 2005; Macias et al., 2006; Sarocci, 2006.

En los últimos años, el advenimiento de tecnología eficaz para documentar estos eventos de breve duración ha despertado el interés científico por entender la relación entre los mecanismos físicos de generación y transporte con los depósitos generados. Sin embargo, el somero tratamiento estratigráfico y la falta de uniformidad en el procesamiento de la información sedimentológica, granulométrica y de componentes, ha complicado la comparación adecuada entre las diferentes investigaciones realizadas.

Los FBC se han ligado estrechamente a procesos de colapso de domo, a tal punto, que cierta literatura ha relacionado única y directamente la producción de FBC a condiciones de colapsos parciales o totales de domos preexistentes o en formación. Como efecto de ello, gran parte de la literatura encontrada está sumamente sesgada hacia estudios de colapsos de domos volcánicos en crecimiento (*Figura III.2, Caso A*). Sin embargo, otro de los procesos comunes productores de



FBC es el colapso simple de una columna, desafortunadamente menos documentados en el mundo pero igualmente importante. Este colapso puede ocurrir en dos condiciones distintas: a) un colapso de columna eruptiva a través de un domo en crecimiento (*Figura III.2, Caso C*) o b) por una explosión vulcaniana con conducto abierto (*Figura III.2, Caso D*).

Si bien, independientemente del mecanismo de formación (colapso de domo o colapso de columna) , los flujos piroclásticos se comportan de manera similar y producen las mismas características estratigráficas que en los FBC (Saucedo ,2001) –ver apartado III.3- , es primordial hacer la distinción del proceso eruptivo que los generó, principalmente para entender la composición y variaciones texturales presentes en los bloques (análisis de componentes), así como en la estimación de temperaturas aproximadas de emplazamiento.

Para ambos procesos de generación de FBC se han establecido epónimos que han sido comúnmente adoptados como actividades tipo. Los procesos de colapso de domo han sido comúnmente definidos como *actividad tipo Merapi*, mientras que los procesos de colapso de columna como *actividad tipo Soufrière*. Esta clasificación se debe de tomar con precaución, ya que entre la actividad de dichos volcanes (Merapi y Soufriere) y las fases eruptivas del Volcán de Colima pueden presentarse diferencias considerables. Para la presente tesis en algunos momentos se usará este convencionalismo (p.e. *Columna Estratigráfica de la Figura II.3*), sin embargo, se procura aclarar enfáticamente las diferencias entre la generación de FBC como Colapsos de Domo / Colapsos de Columna.

En el caso del Volcán de Colima, ambos procesos han sido muy comunes en los últimos 500 años de actividad. En la *Tabla II.1* (modificada de Saucedo et al, 2005) se muestran las fases eruptivas más importantes y los autores que las describieron. Los trabajos de FBC modernos, se escribieron en letras rojas para mejor ubicación (ver *columna de Autores*).

Un punto que se deberá de considerar es que las observaciones de entre 1570-1800 están basadas solamente en relatos históricos, en primera instancia, por los primeros colonizadores españoles y posteriormente por algunos moradores de las áreas contiguas al volcán. Bárcena (1887), Arreola (1915) y Waitz (1935) fueron los primeros en hacer descripciones precisas de la actividad del Volcán de Colima entre 1860 y posterior a 1913. Con Mooser (1961) inicia una etapa de estudios vulcanológicos modernos. Saucedo et al,2005 asignan un tipo de evento (tipo Soufriere o Tipo Merapi) a las descripciones realizadas en cada época.



En el caso de la actividad 2004-2005 en el Volcán de Colima, a pesar de que la fase eruptiva inicia con un colapso de domo a finales del 2004 (Saucedo,2005; Macías et al, 2006), nuestras descripciones y análisis se centran en los FBC generados durante el año 2005, en el que el proceso gobernador de la generación de FBC el colapsos de una columna eruptiva. En el capítulo V, se hace una descripción detallada de los principales eventos productores de dichos flujos y los productos volcánicos generados.





### III.3 / Caracterización de los FBC

Para describir de manera efectiva las características generales y propiedades de los Flujos de Bloques y Ceniza se usará la síntesis presentada por [Sarcocchi \(2006\)](#) (*Tabla III.3*). Posteriormente, se presentan las particularidades físicas y los modelos de emplazamiento.

**Tabla III.3**

Síntesis de las propiedades físicas, químicas, transporte y depósito de los Flujos de Bloques y Ceniza. Descrita y compilada por [Sarcocchi \(2006\)](#).

FLUJO DE BLOQUES Y CENIZA (FBC)	
<b>Definición</b>	Corrientes Piroclástica de Densidad (CPD) en los que la mayoría de sus componentes son bloques densos, juveniles y lapilli no vesiculados o pobremente vesiculados, con matriz de ceniza sin pómez de composición similar. De depósitos de volumen pequeño y difieren de las ignimbritas por no presentar pómez, aún cuando muchos aspectos de la sedimentación resulten similares ( <a href="#">Branney y Kookelar, 2002</a> )
<b>Clasificación</b>	<p><i>Clasificación Genética:</i> según <a href="#">Sato (1992)</a> los estilos eruptivos de las erupciones productoras de FBC son controladas por la proporción entre la presión de poros en exceso (<math>P_c</math>) y la resistencia interna (<i>tensile strenght</i>) del magma (<math>T_s</math>).</p> <p>Así, cuando:</p> <p><math>P_e &lt; T_s</math> → CDP tipo Merapi: disparada por la caída gravitacional de porciones del domo o coladas de lava viscosas.</p> <p><math>P_e \leq T_s</math> → CDP tipo Pelée: cuando la cantidad de volátiles en el domo es desigual, y localmente la presión de poro es superior a la resistencia interna de la lava. Como consecuencia se generan explosiones dirigidas.</p> <p><math>P_e &gt; T_s</math> → CDP tipo Soufriere: cuando la presión de poro es superior a la resistencia interna de la lava en todo el domo o dentro del conducto magmático, produciendo erupciones centrales y la generación de flujos por colapso de columna eruptiva.</p>
<b>Petrografía</b>	<p><i>Mineralogía:</i> poco variable con el tiempo (<a href="#">Smith y Roobol, 1990</a>; <a href="#">Sato, 1992</a>). Normalmente rocas andesíticas, dacíticas y en algunos casos, riolitas. De textura general porfídica, con mineralogía de plagioclasa, ortopiroxeno, clinopiroxeno, olivino (frecuentemente con evidencia de inestabilidad química), cuarzo (en la matriz o como mineral normativo). Minerales hidratados comunes: anfíbol (hornblenda), biotita y titanomagnetita.</p> <p><i>Densidad:</i> varían de 1.4 a 2.7 g/cm<sup>3</sup>, con valor promedio de 2.2 g/cm<sup>3</sup> (<a href="#">Cole et al, 2002</a>)</p> <p><i>Contenido de Volátiles:</i> La cantidad original de H<sub>2</sub>O varía desde 3% hasta 5% en peso. Otros componentes volátiles presentes en estos magmas (CO<sub>2</sub>, S, Cl, F) se encuentran en abundancia, despreciables desde el punto de vista explosivo del sistema volcánico.</p>
<b>Dimensiones</b>	<p><i>Volumen:</i> varían entre 1x10<sup>3</sup> y 1x10<sup>8</sup> m<sup>3</sup>, con más frecuencia del orden volúmenes entre 1x10<sup>5</sup>-1x10<sup>6</sup> m<sup>3</sup> (<a href="#">Rodríguez-Elizarrarás, 1991</a>; <a href="#">Carrasco, 1999</a>; <a href="#">Cole et al., 2002</a>; <a href="#">Saucedo et al., 2004</a>; <a href="#">Schwarzkpof et al., 2005</a>).</p> <p><i>Área:</i> varían de pocos km<sup>2</sup> hasta decenas de km<sup>2</sup>, principalmente controlados por los rasgos topográficos previos (depressiones y barrancos principales). Las dimensiones marcadas por nube de ceniza son completamente independientes a las generadas por la Corriente Piroclástica concentrada (avalancha basal).</p> <p><i>Espesor:</i> es muy variable, desde 1-10 m, más comunes entre 2-4 m (<a href="#">Rodríguez-Elizarrarás, 1991</a>; <a href="#">Carrasco, 1999</a>; <a href="#">Cole et al., 2002</a>; <a href="#">Schwarzkpof et al., 2005</a>). Como en el caso anterior, las depressiones topográficas previas pueden ser factor muy importante –estrechamente ligado con alcance total-</p>
<b>Características Físicas</b>	<i>Aspectos del Flujo:</i> El cuerpo principal (CPC-avalancha basal) es envuelto por una espesa cortina de ceniza, casi de inmediato se desarrolla una nube de ceniza gris oscura, muy parecida a la pluma de una nube eruptiva que acompaña la masa principal a lo largo de su recorrido (CPD-oleada de nube de ceniza). En el frente de la nube eruptiva se pueden ver



bloques grandes proyectados balísticamente hacia delante. El cuerpo de la avalancha es invisible, pero cuando este aparece, se ve muy delgado (poco metros). Hasta que la pendiente es elevada, el flujo acelera y se desarrolla un frente turbulento que barre el terreno. El flujo se encanala en barrancas preexistentes, ramificándose y separándose de la nube turbulenta, que sigue su recorrido hacia los valles. Después del cambio de pendiente, el flujo reduce drásticamente su velocidad y la nube superior sube por convección desarrollándose mucho más rápidamente.

*Temperatura:* varía de entre 250 a 800°C. Generalmente se han reportado temperaturas mayores a 600°C (Cole et al.,1998; Francis, 1992; Rose,1972; Voight y Davis, 2000); sin embargo, es importante aclarar la dificultad para precisar la temperatura de emplazamiento, debido a que las mediciones se hacen varios días después de la generación del flujo o por métodos indirectos (infrarrojo).

*Fenómenos ópticos:* luminescencia, rubores y chispas. Estrías enfocadas que se observan al interior de los flujos. Algunos testigos hablan de un color más vivo al frente del flujo, bloques incandescentes que emergen en trayectorias balísticas desde la corriente de densidad piroclástica (Francis, 1993)

*Fenómenos eléctricos:* rayos globulares, en forma de lengua, estrías horizontales alrededor de la nube, relámpagos y chispas verdes provenientes de debajo de la columna eruptiva. Los fenómenos eléctricos han sido observados cerca del origen de la pluma y en el flujo piroclástico (Francis, 1993). Principalmente son producto de la interacción eléctrica de partículas de ceniza –carga negativa- con los gases de la columna eruptiva –carga positiva-.

*Fenómenos acústicos:* existen relatos distintos sobre estos fenómenos. Algunos testigos cuentan que el desarrollo de las nubes ocurre en silencio casi total; otros reportan un ruido continuo. En la región de la Yerbabuena y Juan Barragán, en Colima y Jalisco, respectivamente, se han reportado «ríos de rocas chocando entre si y dejando una amplia cortina de ceniza». Después del quiebre de pendiente, ocurre un incremento significativo de las emisiones acústicas (Yamasato, 1997).

*Onda de choque:* simultáneo a las grandes explosiones vulcanianas es posible la generación de ondas de choque que modifican instantáneamente el medio. Para la explosión del 05 de Junio del 2005 en el Volcán de Colima Macías et al, (2006) reporta que la onda de choque casi derriba a un oficial de PC que se encontraba en la población de Juan Barragán (a 9 km al SE del cráter); asimismo, se reportan ventanas rotas en la misma comunidad y lesiones de oído en algunas personas. Para la explosión del 06 de Junio del mismo año, otro oficial de Protección Civil, que se localizaba en las antenas del Nevado de Colima (a 5.6 km del cráter) describió haber sentido la onda de choque «como cuando se está junto a una bocina muy grande en una fiesta, así como que fue testigo de la deformación del medio al paso de la onda de choque

**Erosión** Dependiendo de la pendiente considerada, pueden erosionar e incorporar importantes cantidades de material (Schwarzkopf et al.,2005). La erosión más fuerte ocurre en pendientes elevadas (>15°) y disminuye hasta cero en el tramo de menor pendiente (<8°). En algunos casos, los FBC son muy erosivo y pueden excavar canales profundos de materiales no consolidados previamente depositados. Existe una relación entre la capacidad para erosionar y la magnitud del flujo. Generalmente se observa que en el mismo valle, los flujos de mayor magnitud tienden a erosionar completamente el material depositado por flujos más pequeños (Cole et al, 2002).

**Transporte** *Velocidad:* muy variable. Depende de varios factores como: velocidad inicial, pendientes, características físicas y granulométricas del material, morfología de la ladera, aspereza del sustrato, cantidad y tipo de vegetación, etc. Sin embargo, existen diferentes partes dentro del mismo flujo que se mueven a velocidades distintas. La parte más densa (avalancha basal), generalmente se mueve más lento con respecto a la parte diluida sobreyacente. En pendientes > 35°C, la parte basal se acelera y se mueve coherentemente con la porción superior turbulenta sin desacoplarse de ésta. Entre 20° y 6°, la parte basal disminuye su velocidad y la parte superior turbulenta se separa, sigue adelante, disminuye su componente horizontal y se desarrolla verticalmente (Nair y Self, 1978).

*Alcance:* los FBC, sólo en raros casos pueden alcanzar o rebasar distancias de diez kilómetros, desde la zona de emisión (normalmente el cráter). La mayoría de estos no se alejan más allá de 3-4 km. La razón de este radio de acción limitado se debe a su volumen pequeño (Nair y Self, 1978).

*Alcance Relativo (H/L):* la literatura marca variaciones de entre un mínimo de 0.18 (Merapi,



	<p>Hibok-Hibok) a un máximo de 0.45 (Colima, Ngauruhoe). Posee el mismo valor promedio (0.26) que las avalanchas de roca frías (<math>H/L=0.25</math> a <math>0.20</math>) pero menor que las ignimbritas (<math>H/L=0.04</math>)</p> <hr/> <p><i>Transformaciones:</i> Los FBC pueden modificar su reología en función de su pendiente, morfología de ladera, aspereza del sustrato, concentración de clastos, granulometría, espesor, etc. En el tramo de elevada pendiente, se mueve en un régimen inercial dominado por las interacciones clasto-clasto; en el tramo de baja pendiente prevalece el régimen de fricciones y el movimiento es laminar a pseudoviscoso (Saucedo et al., 2004; Schwarzkopf et al., 2005; ).</p>
<b>Emplazamiento</b>	<p><i>Inicio del Emplazamiento:</i> los FBC no depositan cuando la pendiente es mayor que el ángulo de estabilidad para materiales granulares (<math>\sim 35^\circ</math>); generalmente es necesario un cambio significativo de pendiente para que esto ocurra. En Montserrat ha sido observada una relación sistemática entre la magnitud del flujo (dimensión y alcance) y la pendiente sobre la cual ocurre el cambio erosión-depositación. En el caso del Volcán de Colima, Saucedo et al., 2004 ha definido una zona como erosional (pendiente <math>&gt;30^\circ</math>) donde no hay formación de depósito y una región de emplazamiento (pendiente <math>&lt;20^\circ</math>) donde empiezan a formarse los depósitos de FBC.</p> <p><i>Modalidad de Emplazamiento:</i> esta puede ocurrir según dos mecanismos principales: 1) agregación progresiva en la base (Branney y Kookelar, 1992, 2002) 2) emplazamiento en masa (Takahashi, 1978), sin embargo, es posible que los FBC depositen de forma intermedia entre estos dos modelos extremos (Schwarzkopf et al., 2005).</p>
<b>Depósitos</b>	<p><i>Generalidades:</i> Los depósitos de bloques y ceniza de diferentes volcanes, muestran una extraordinaria similitud, independientemente del tipo de magma y del estilo eruptivo que los produce. Se trata generalmente de depósitos monolitológicos, constituidos por bloques de material juvenil (comúnmente de composición andesítica o dacítica) dentro de una matriz de ceniza de la misma composición, cuya abundancia relativa varía a lo largo del depósito.</p> <hr/> <p><i>Morfología:</i> depende de la pendiente en que el FBC ha sido depositado y de la presencia de barrancas donde se encauce. Cuando los FBC se encuentran dentro de canales, las superficies son planas o cóncavas con bloques emergentes diseminados. Si depositan en espacios libres originan una característica superficial irregular, constituida por lóbulos inter-digitados y elevada con respecto al terreno circundante. Presentan <i>leaves</i> laterales constituidos por clastos gruesos y frentes lobados convexos, que terminan abruptamente con pendientes de entre <math>20-30^\circ</math> (Nair y Self, 1978), en la superficie se reconocen alineación de clastos, paralelas a la dirección de flujo. En los alrededores del depósito principal, en ocasiones se presenta un depósito delgado (cm de espesor), constituido por material fino depositado por la nube de ceniza.</p> <hr/> <p><i>Estructura:</i> se trata de depósitos generalmente masivos, que pueden presentar estratificación burda. Es posible observar gradación de los clastos (comunmente inversa) y lentes de materiales mejor clasificados. En la base o en el techo, pueden aparecer niveles de material más fino y mejor clasificado. Las unidades de flujo a veces no son fácilmente reconocibles a simple vista. El contacto entre diferentes unidades es generalmente erosivo, pero entre diferentes pulsos de un mismo evento, es generalmente difuso. Estructuras relacionadas con el escape de gases (tubos de desgasificación) post-depositacionales son muy comunes, sobre todo en depósitos voluminosos, más su preservación es muy compleja (Branney y Kookelar, 2002).</p> <hr/> <p><i>Textura:</i> los depósitos están constituidos por clastos cuya dimensión varía desde decenas de micras a varios metros de diámetro. Las partículas más finas de <math>0.064</math> mm son escasas (generalmente <math>&lt;5\%</math> en peso). Se trata de depósitos de muy mala clasificación (<math>\sigma=3-5</math> phi). Los depósitos suelen ser sostenidos clasto a clasto, con intersticios rellenos de material fino o sostenido por matriz. La distribución granulométrica del cuerpo principal del depósito es bimodal, con la moda de clastos gruesos centrada de <math>-5</math> a <math>-8</math> phi y la moda de clastos finos de <math>-2</math> a <math>2</math> phi (Saucedo et al., 2004; Schwarzkopf et al., 2005). Los depósitos generalmente presentan una mala compactación (muy sueltos).</p>



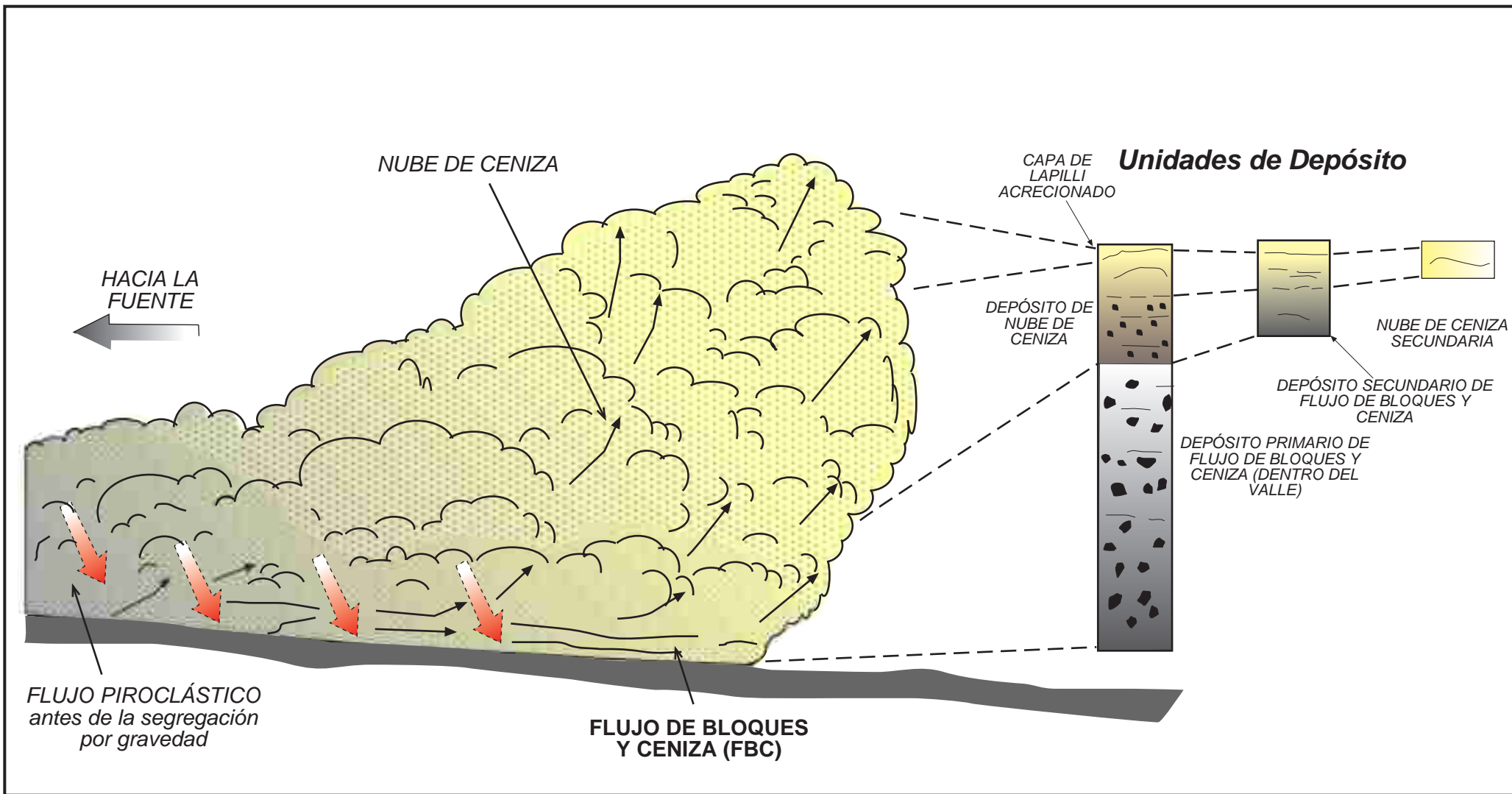
### III.4 / Modelos de Emplazamiento de FBC

Un punto interesante y debatible con respecto a los FBC reside en los diferentes modelos de movilidad y emplazamiento propuestos. Fisher y Heiken (1982) hacen una distinción inicial de los mecanismos de emplazamiento en FBC tomando como base procesos descritos para el Mt. Pelée (ver Figuras III.4), en los que se observa que los flujos piroclásticos se separan gravitacionalmente en una sección inferior que contiene la mayor parte de la masa sólida y una sobreyacente nube de ceniza expandida proveniente del flujo mismo.

La gran movilidad de los flujos piroclásticos puede ser explicada por: 1) exsolución de volátiles proveniente de partículas juveniles (vidrio), con lo que se reduce fuertemente la fricción entre ellas 2) ruptura de fragmentos de lava caliente (líticos) con liberación súbita de los gases contenidos dentro de los líticos 3) calentamiento y expansión de aire en el frente del flujo 4) la ingestión de aire frío en la base del flujo piroclástico provocando su inmediata expansión (Figuras III.3 y III.4).

Schawrzkopf et al., (2005) proponen que los depósitos de FBC están estratificados de acuerdo a tres elementos principales de flujo: 1) una *avalancha basal* que transporta la gran mayoría de bloques y materiales 2) una *oleada de terreno* y 3) un depósito de nube de ceniza elutriada – *oleada de nube de ceniza*-.

De la *avalancha basal*, se entiende que es una zona de flujo granular dominante, muy densa, caliente y con un importante control topográfico. Esta zona transporta el mayor porcentaje de la masa total del FBC, de ahí su importancia en la estimación de volúmenes de manera adecuada. La *avalancha basal* normalmente se mueve como un flujo granular de densidad modificada, sostenido por fuerzas dispersivas derivadas de la interacción entre partículas. Si el volumen de la *avalancha* es alto, llegará más allá del quiebre de pendiente, teniendo la capacidad de moverse en pendientes más suaves, donde la fragmentación-fluidización juegan un rol más importante (Saucedo ,2001). Sin embargo, se ha reconocido que la *avalancha basal* cambia sustancialmente durante su recorrido pendiente abajo, debido a que la dinámica del flujo granular se ve modificada por cambios bruscos en la pendiente, el confinamiento por canales y las características topográficas locales, lo que se traducirá en la generación de diferentes facies de depósito y variaciones en su dinámica interna (Schawrzkopf et al., 2005). Esto tendrá como consecuencia que dentro del flujo granular se generen dos regímenes coexistentes: el régimen friccional en la base del flujo y un régimen colisional en zonas superiores del flujo (Drake ,1990). Como respuesta, el flujo presenta variaciones en la *avalancha basal* hacia un flujo pseudo-viscoso. Finalmente, la disipación de la energía y la fricción clasto-clasto detiene el movimiento del FBC.



**Figura III.4 :**

(Izquierda) Diagrama que muestra el desarrollo de un flujo de bloques y ceniza (FBC) y la oleada de nube de ceniza (*Ash Cloud Surge*) por segregación gravitacional proveniente de un flujo turbulento desde la fuente volcánica. Las flechas rojas indican la tendencia general de movimiento de la mayoría de los fragmentos de volumen más importante.

(Derecha) Las columnas estratigráficas muestran una marcada segregación gravitacional lateral, pasando de un flujo turbulento a un régimen más laminar, generando en primera instancia, los depósitos primarios de FBC -normalmente confinado al valle- y de mayor alcance, los depósitos de oleada de nube de ceniza primaria y secundaria -sin control topográfico existente-.

*Modificado de Fisher y Heiken (1982)  
Extraído de Fisher y Schmincke (1984)*



La *oleada de terreno* es una capa turbulenta de baja densidad, la cual puede desacoplarse de la avalancha basal en varios momentos del transporte, ya que está formada por partículas más finas y con concentraciones menores que la avalancha basal, pero su densidad total es mayor que la densidad del aire circundante. Debido a la presión de los gases expulsados de la avalancha basal y al comportamiento turbulento de las partículas finas de esta fase, la dispersión de energía es menor y la velocidad puede ser mayor que la de la avalancha basal (Sarocchi, 2006). Esto le confiere suma peligrosidad, ya que puede superar fácilmente barreras topográficas, arrasar fácilmente con zonas de vegetación y construcciones (Caso Unzen, Mt. Pelée, Soufrière, etc)

La *oleada de nube de ceniza*, también conocida como pluma flotante o pluma co-ignimbrítica (*Phoenix Plume*), es una corriente menos densa que la atmósfera que se levanta convectivamente (Sparks et al., 1997; Sulpizio et al., 2007) cuando el FBC encuentra algún cambio de pendiente significativo o una variación topográfica importante, ya que se favorece la fragmentación de la zona basal. En dicha nube, las partículas finas son separadas por elutriación de la porción principal del flujo. La mezcla turbulenta de partículas-gas-aire producen una componente que asciende rápidamente, en algunos casos, hasta varios kilómetros, pudiendo ser distribuidas en un área considerable e inclusive, pudiendo ser distribuidas a zonas muy distales por acción de los vientos predominantes. Debido a que son más ligeras que el aire circundante, su mecánica de deposición es independiente a la del resto del flujo, pudiendo sostenerse en el aire por algunos minutos después del paso del cuerpo principal del flujo hasta su posterior deposición por gravedad. Es común encontrar esta unidad fuera de las barrancas y bajos topográficos y normalmente, están sobreyaciendo a los depósitos de la avalancha basal; sin embargo su preservación es muy complicada debido a su muy bajo grado de compactación y por ende, a la facilidad de ser removidas por medio de lluvias o vientos intensos.



## CAPÍTULO IV

# METODOLOGÍA

### IV.1 / Recopilación de la Información

Esta primera etapa se llevó a cabo principalmente durante el primer semestre de la maestría en el Centro de Geociencias (agosto-diciembre 2006). La información recopilada se divide en:

- 1) *Información bibliográfica:* Artículos, publicaciones y libros con temas relacionados a FBC. Aquí se hizo una separación entre las Fuentes Bibliográficas como A) Bibliografía general del Volcán de Colima y el Complejo Volcánico de Colima B) Bibliografía general de flujos Piroclásticos y flujos de bloques y ceniza –casos en el Volcán de Colima y en México C) Bibliografía general. Para un mejor tratamiento de la información bibliográfica se usó el programa [EndNote®](#), en el CD adjunto a la presente tesis se anexan dichas fichas bibliográficas y algunas de las publicaciones en versión electrónica.
- 2) *Información visual:* debido a la naturaleza de la secuencia de explosiones que se estudiaron, se cuenta con algunas fotografías y videos de explosiones ocurridas durante el año 2005. Sin embargo, es importante señalar la gran dificultad que se nos ha presentado durante estos años para la obtención de los videos de las explosiones principales. Esto es debido a la constante negativa de las empresas televisoras principales de nuestro país a ceder una copia de los videos que captaron durante el 2005 en el flanco sur del volcán de Colima y que pudieron enriquecer significativamente el presente documento.
- 3) *Información periodística:* los periódicos estatales y nacionales tuvieron una cobertura importante ante la fase eruptiva del Volcán de Colima durante el 2004-2005. Se recopiló las notas principales del periódico Diario de Colima durante este periodo. Asimismo, se tomaron el cuenta para el presente trabajo los reportes del Observatorio Vulcanológico de la Universidad de Colima y los reportes semanales-mensuales del *Global Volcanism Program (GVN- Smithsonian Institute-USGS)*.
- 4) *Comunicación personal:* el presente documento se ha visto sumamente enriquecido con las charlas informales que establecimos con las habitantes de las comunidades cercanas al Volcán de Colima, principalmente con los habitantes de Juan Barragán, en el Estado de Jalisco, Montitlán, Quesería y El Naranjal en la porción del Estado de Colima. Ellos nos relataron personalmente los efectos y productos volcánicos percibidos durante la actividad del año 2005.



## IV.2 / Trabajo de Campo

Para el presente trabajo de tesis se realizó un trabajo de campo consistente en varias campañas durante el 2005-2006 (previo al inicio de la maestría) y durante el 2006-2008 (durante el periodo de maestría). Durante este tiempo se llevaron a cabo más de 30 salidas a campo (*Tabla AP.1*), en las que se tuvo la oportunidad de observar desde los depósitos frescos de FBC a mediados del 2005 hasta los procesos de erosión graduales que formaron los principales canales en las barrancas de estudio (Ver Apéndice I) .

A pesar de que durante el transcurso del presente proyecto se tuvo la fortuna de trabajar con varios investigadores en el área de flujos piroclásticos, encontramos evidente la heterogeneidad de métodos y técnicas aplicadas en el trabajo de campo para la obtención de datos en flujos piroclásticos. Esto complica fuertemente la adecuada comparación entre los eventos productores de FBC en el Volcán de Colima y en otras regiones del mundo.

Por lo tanto, uno de los aportes principales del presente trabajo reside en el establecimiento de una metodología estandar fácilmente aplicable en el campo y de la que podamos extraer la mayor cantidad de datos confiables. Para ello, se establecieron algunos parámetros importantes a obtener, los cuales se muestran en la *Tabla IV.1*. Con las debidas precauciones, esta tabla puede ser usada para cualquier depósito piroclástico, sin embargo, su uso original fue pensado para depósitos de flujos piroclásticos y en particular, para depósitos de flujos de bloques y ceniza. El significado de cada uno de los parámetros de la descripción general y particular del depósito son analizados con mayor detalle en el siguiente capítulo.





**Tabla IV.1**

Metodología para la obtención de datos para depósitos de flujos piroclásticos en el campo de estudio. Preferentemente pensado para descripciones en secciones de canal.

METODOLOGÍA APLICADA
<b>Descripción General del Depósito</b> <ul style="list-style-type: none"><li>• COLOR</li><li>• RANGO DE ESTRATIFICACIÓN</li><li>• ESPESOR</li><li>• ESTRUCTURA [masiva / estratificada]</li><li>• COMPACTACIÓN</li><li>• VARIACIONES LATERALES/VERTICALES</li><li>• HOMOGENEIDAD DE RASGOS TEXTURALES</li><li>• CONTACTOS [unidades / capas]</li><li>• ESTRUCTURAS DE DESGASIFICACIÓN</li><li>• VEGETACIÓN EXISTENTE [sana / destruida / quemada]</li></ul>
<b>Descripción Particular del Depósito</b> <ul style="list-style-type: none"><li>• COMPONENTES PRINCIPALES ( Heterolitológico / monolitológico ) <i>Juveniles / Líticos frescos / alterados / secundarios y accidentales</i> Líticos ( Textura Distintiva / Minerales Presentes)</li><li>• TAMAÑO DE CLASTOS ( Rango / Dominante / Promedio)</li><li>• REDONDEZ ( Anguloso / Subanguloso / Subredondeado / Redondeado)</li><li>• SOPORTE DE DEPÓSITO ( Soportados por matriz / Soportados por clastos )</li><li>• MATRIZ ( Tipo: Ceniza Media a muy gruesa / Ceniza Fina / Ceniza muy fina ) ( Porcentaje )</li><li>• GRADACION ( Normal / Inversa / Simétrica )</li><li>• SELECCIÓN ( Buena / Mala / Moderada: Buena-Mala )</li></ul>
<b>Descripción del Entorno (Barranca de Estudio)</b> <ul style="list-style-type: none"><li>• DIBUJO GENERAL DEL DEPÓSITO (con depósitos propuestos y anotaciones)</li><li>• DIBUJO PARTICULAR DE LA UNIDAD DESCRITA ( con depósitos propuestos y anotaciones)</li><li>• SECCIÓN TRANSVERSAL DE LA BARRANCA</li><li>• DATOS DE BARRANCA<ul style="list-style-type: none"><li>○ Ancho (varias mediciones cercanas al punto de muestreo)</li><li>○ Largo (del depósito elegido para el <i>dibujo General</i>)</li><li>○ Datos GPS (del punto de muestreo)</li><li>○ Pendiente de la Barranca (con clinómetro de Brújula Brunton) + Distancia visada (aprox)</li></ul></li></ul>
<b>Técnica de Muestreo</b> <ul style="list-style-type: none"><li>• MUESTREO DE BLOQUES: De la descripción de <i>Componentes Principales</i>, se eligen aquellos bloques más representativos de la unidad (muestra de mano).<ul style="list-style-type: none"><li>○ Una muestra por componente principal.</li><li>○ Señalar en el <i>dibujo particular de la unidad descrita</i> su punto de recolección dentro de la unidad</li><li>○ Breve descripción petrológica de cada componente colectado</li><li>○ Rotular y colocar en bolsa separados a los finos del depósito</li></ul></li><li>• MUESTREO DE FINOS: Una vez realizada la <i>Descripción Particular del Depósito</i> se muestrea:<ul style="list-style-type: none"><li>○ Bolsas de plástico debidamente rotuladas con el nombre del punto y unidad estudiada</li><li>○ Tamaño: el tamaño de un bloque de los clasificados como <i>dominantes</i> representará el 10% de la muestra colectada</li><li>○ Tomar la muestra con cuidado (pala o martillo) evitando fragmentación artificial</li></ul></li></ul>
<b>Fotografía</b> <ul style="list-style-type: none"><li>• FOTOGRAFÍAS DE LA BARRANCA (cercana al punto de estudio)</li><li>• FOTOGRAFÍAS DEL DEPÓSITO:<ul style="list-style-type: none"><li>○ Buena incidencia de luz (evitar altos contrastes de luminosidad y sombras excesivas)</li><li>○ Tomar fotografías con una escala conocida (cinta métrica o regla metálica)</li><li>○ Tomar a más de 10 metros de distancia del depósito (si es posible)</li><li>○ Fotografías perpendiculares al depósito</li><li>○ Medir distancia 1) fotografo-depósito 2) altura del depósito fotografiado</li><li>○ Usar catálogo de posible evento generador de los flujos piroclásticos</li></ul></li></ul>



### IV.3 / Trabajo de Laboratorio

Esta etapa es una de las que consumió mayores horas-hombre durante el transcurso del proyecto. La mayor parte de esta fase fue llevada a cabo en el laboratorio de vulcanología del Centro de Geociencias de la UNAM, a excepción del análisis de partículas gruesas (en el análisis granulométrico) que se llevó a cabo en gabinete y el análisis geoquímico (explicado más adelante).

#### IV.3.1 Análisis Granulométrico

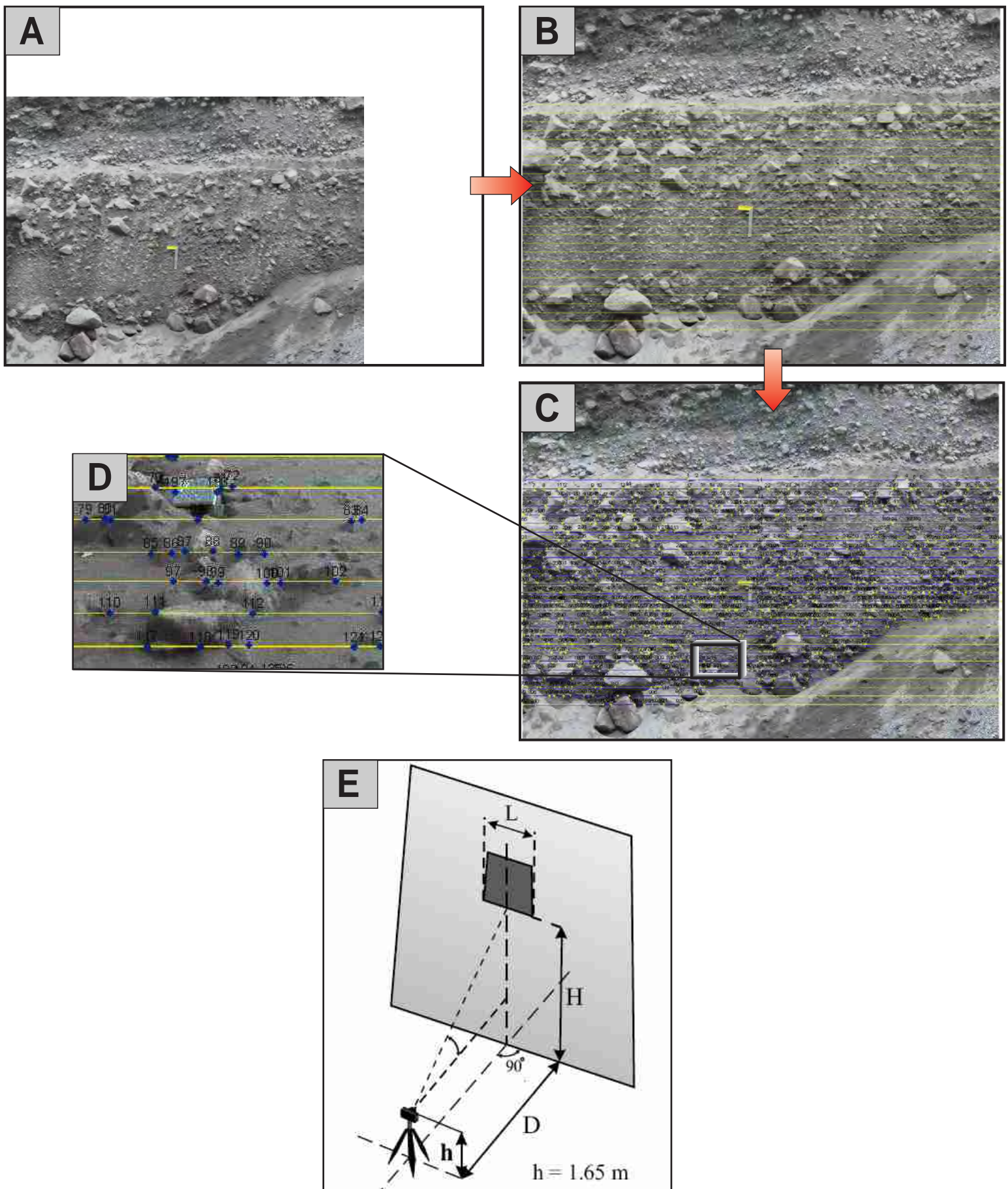
Esta sección se divide para un mejor detalle en la descripción de lo realizado para la porción gruesa, media y fina. A continuación se detalla cada una.

##### FRACCIÓN GRUESA

Comprende el análisis realizado en partículas de entre 16 y 2048  $\mu\text{m}$  ( $-4\phi$  y  $-10\phi$ ). Para ello se aplicó un método óptico de análisis por medio de fotografías digitales de alta resolución -10 Megapíxeles (tomadas con cámara Panasonic Lumix DMC-FZ50) buscando tener mejor nitidez y visión de los clastos analizados.

Para el análisis de esta fracción se basó principalmente en el procedimiento propuesto por [Sarocchi \(2005\)](#), usando el método de [Rosiwal \(1898\)](#) como fundamento principal. Para el presente trabajo, se prefirió usar el software [Didger 3](#) (© Golden Software), debido a que el propuesto por dicho autor -Image Pro Plus-, a pesar de que automatiza el procedimiento y por ende, ahorra tiempo, manifiesta serias limitantes en cuanto al contraste de colores entre los medios analizados. Esta situación ocurre repetidamente en los depósitos de FBC del Volcán de Colima que se analizaron, en donde los grandes bloques presentan una coloración similar a la matriz debido a: 1) color original de la roca 2) una cubierta fina de sedimentos por acción erosiva leve. Por dichas razones, se prefirió trabajar con Didger, haciendo mediciones de la distancia de modo manual. El procedimiento, paso a paso, se resume a continuación:

Paso 1) Se buscó una fotografía digital adecuada del afloramiento. Se cuidó principalmente que presentara una iluminación uniforme, buena escala y que la deformación de la imagen por efectos ópticos no fuera muy grande, para ello se tomó la fotografía lo más perpendicularmente posible al afloramiento (*Figura IV. 1A*)



**Figura IV.1 :**

**A)** Fotografía seleccionada para aplicar la técnica de Rosiwal modificada (muestra PF06-45). **B)** Trazado de las *líneas de medición*, líneas rectas paralelas a la superficie de depósito. **C)** Imagen con los *segmentos de cruce* trazados para la misma muestra. En la Figura **D)** es posible ver un acercamiento de los segmentos de cruce, los cuales inician con números impares y terminan con pares. **E)** Esquema de los principales parámetros considerados para la estimación de deformación de bloques por métodos ópticos. *Imagen tomada de Sarocchi (2005).*



Paso 2) Cada imagen es procesada enseguida con cualquier programa de dibujo. Con el software se trazan una cantidad de líneas rectas, paralelas a la superficie del depósito o por otro lado, paralelas a algún rasgo de estratificación dentro del depósito. La cantidad de líneas usadas fue variable dependiente de la unidad, espesor y estratificación mostrada. La *Tabla AP.2 (ver apéndice)* muestra la relación de muestras analizadas y las líneas dibujadas. A estas líneas equidistantes se les nombrará *líneas de medición*. La apariencia de la imagen ya con líneas trazadas se puede observar en la *Figura IV. 1B*.

Paso 3) Cada imagen en las que se trazaron las *líneas de medición*, fue tratada con el programa *Didger 3 (© Golden Software)*. En dicho software se hizo una selección de aquellos bloques que se intersectaran con las líneas de medición. A estos segmentos se les llama *segmentos de cruce* (ver *Figura IV. 1D*). Este análisis se basa en el principio de la siguiente fórmula:

$$\frac{Ll}{Lt} = \frac{Aa}{At} = \frac{Va}{Vt}$$

Donde:

$Ll$ = longitud de las intersecciones sobresalientes de los bloques (Didger)

$Lt$ = longitud total de las líneas analizadas

$Aa$ = área ocupada por los rasgos de las partículas

$At$ = area total analizada

$Va$ = volumen ocupado por las partículas

$Vt$ = volumen total analizado

Con base en esta fórmula, la relación usada para la fracción de partículas gruesas ( $Ll / Lt$ ) se puede homologar con el resto del depósito de flujos piroclástico analizado (partículas medias y finas) cuyos porcentajes del total del depósito serán determinados por tamizado cinético y en el analizador láser, respectivamente.

La distancia de estos *segmentos de cruce*, al igual que el de las *líneas de medición*, son calculadas de manera automática por el *Didger 3 (© Golden Software)*. Se recolecta mediante una hoja de cálculo normal y se le aplica la fórmula de distancia:  $= \sqrt{[(X_1-X_2)^2+(Y_1-Y_2)^2]}$  para obtener la distancia virtual (en el software) de cada parte. Una vez realizado esto, se hace una conversión a la escala real, usando una regla u objeto conocido como referencia, para así encontrar el tamaño real de las mediciones. La densidad de mediciones depende puramente de



la cantidad de bloques presentes en cada una de las unidades analizadas. En la *Tabla AP.3* (ver *apéndice*) se muestra la cantidad de puntos analizados por muestra y la distancia total medida en cada uno. En la *Figura IV. 1C* se muestra el trazado de la Imagen después de usar el [Didger 3](#) ©.

Paso 4) Para aquellos casos en los que la fotografía tomada no podía ser perfectamente perpendicular al afloramiento o donde el espesor de la unidad es muy grande (mayor a 5 m), se optó por hacer la corrección propuesta por [Sarocchi \(2005\)](#). Este paso corresponde al tratamiento de los datos en el programa [Excel](#) (© [Microsoft](#)). Se toman en cuenta los siguientes parámetros que son insertados dentro de la siguiente fórmula:

$$Ck_{horizontal} = 1 + 0.2428165 \left( \frac{H}{1804.29} \right)^{2.2914} D^{-1.60034}$$

Donde:

$Ck$ = corrección horizontal en la imagen

$H$ = altura en milímetros del afloramiento

$D$ = distancia desde la pared hasta el punto de toma de la fotografía (expresada en metros)

---

Ver aplicación práctica de la formula en la *Figura IV. 1E*.

Esta función solamente es válida en todas condiciones cuando  $H > 1.65$  m; para aquellos valores de  $0 < H < 1.65$  m, la corrección resulta mínima y se asume como  $Ck=1$ , por tanto no es necesario hacer ninguna modificación a los resultados. La corrección es multiplicada por los resultados analizados por línea de medición y segmentos de cruce (aplicada en pasos 2 y 3).

Después de esto, se busca ordenar los datos analizados con toda la metodología anterior. Aquí se hace una separación granulométrica “artificial” de los bloques que fueron medidos con el Didger y se calculan los porcentajes de cada una de las clases Phi dentro de la fracción de los gruesos ( ver *Tabla AP.4 –sección Apéndice 2*)

Por último, se establece una hoja de reporte especificando un resumen de los resultados y porcentajes establecidos en cada una de las fracciones gruesas analizadas. El porcentaje total obtenido se muestra en la *Tabla AP.5*. El porcentaje obtenido comprende entre la fracción de  $-10 \phi$  y  $-5 \phi$ . El resultado total  $X$  obtenido, sera restado del porcentaje total ( $100-X$ ). Por tanto, para el



caso del ejemplo mostrado en la *Tabla AP.5 –Apéndice 2-*, el porcentaje total existente entre  $-10 \phi$  y  $-5 \phi$  es de 38.37%, así que el remanente por analizar de granulometría media a fina con los siguientes métodos será del 61.63%. Es importante señalar que en la clase de  $-4\phi$  se sobrepone el método óptico (fracción de gruesos) y el tamizado (fracción media).

Se analizaron un total de 63 muestras (*Tabla AP.2 y AP.3*), con un promedio de ejecución de los 4 pasos antes expresados de 3-4 horas, lo cual evidenciaba una gran cantidad de tiempo para la obtención de resultados, pero a la par una alta confiabilidad en los resultados obtenidos.

#### FRACCIÓN MEDIA

La fracción media comprende tamaños en Phi de  $-5 \phi$  hasta  $4 \phi$  (32-16 mm hasta 1/16) con un intervalo de  $1 \phi$ . Este análisis se lleva a cabo de manera normal con el tamizado en seco usando las mallas con el Phi ( $\phi$ ) equivalente del tamaño antes descrito. El tamaño de las tamices usados para este caso se expresa en la *Tabla AP.6* de la sección *Apéndice 2*.

Las muestras se agitaron con un equipo RO-TAP RX-29 (W.S.Tyler) durante un espacio de 4-5 minutos con el fin de evitar fragmentación artificial de las muestras. Se usó en general 1 kilogramo de muestra analizada; las fracciones obtenidas en cada Phi fueron pesadas en una báscula electrónica de precisión vía seca. Aquellas muestras que presentaban cierto grado de humedad se colocaron en el horno de secado por un lapso de 3 horas.

Al igual que en la fracción de gruesos se tamizaron un total de 63 muestras de entre  $-5 \phi$  hasta  $4 \phi$  con la adición de 6 muestras en las que no se tenía las fotografías adecuadas para aplicar el método de la fracción media. Las primeras muestras fueron trabajadas en el Laboratorio de Sedimentología de la Universidad de Sonora y el resto de ellas, en el Laboratorio de Vulcanología del Centro de Geociencias.

#### FRACCIÓN FINA

La porción fina ( $>4 \phi$ , menores a 1/16 mm) se analizó mediante el fotosedimentógrafo Fristch – Analysette 20. Las muestras se homogenizaron primero usando una cucharilla metálica. Después se pesa en la báscula electrónica de precisión 0.5 gramos que serán disueltos en 10 ml de agua deionizada para después agitarlo en el ultrasonido por espacio de 5 minutos. El prisma de sedimentación se llenó con agua deionizada hasta un 70% de su capacidad y se agrega la muestra previamente preparada. Se homogeniza con la paleta de agitación con que cuenta el analizador y se hace correr el análisis. Normalmente se hicieron un par de mediciones para



validar la precisión de los datos, de las cuales se obtiene un promedio. Es importante hacer notar, que para una mejor definición de los datos obtenidos, se deben hacer mediciones por grupos de muestras de densidad compatibles, para evitar tomar parámetros de densidad incorrectos y mediciones finales sesgadas. Para ello es importante conocer la densidad de cada muestra analizada previo al uso del analizador. Para nuestra investigación, debido a la uniformidad química y física de las muestras analizadas, los rangos de densidad existente son muy restringidos, por lo tanto, todas las muestras se tomaron dentro de un mismo grupo de análisis.

Una vez corrida la muestra, se vierte el contenido en la tarja de laboratorio y se procede a limpiar el prisma de sedimentación con especial cuidado, manipulándolo siempre desde sus costados esmerilados y no de los flancos transparentes, debido a que pueden modificar seriamente la efectividad en el análisis de futuras muestras. La limpieza del tubo se hace en una primera fase con agua destilada y posteriormente con alcohol para una mayor efectividad. De quedar residuos líquidos del proceso de limpieza es importante eliminarlo con la ayuda de alguna toalla de papel que no deje residuos. Todo el material debe limpiarse después de cada muestra corrida en el analizador.

Los resultados que se obtienen son de las fracciones más finas de la muestra, de entre  $+4 \phi$  y  $+10 \phi$  (ceniza mediana a muy fina), con espacios de  $1 \phi$  entre cada muestra. Estos datos se van a unir a los resultados previamente obtenidos por métodos ópticos (fracción gruesa) y en tamizado (fracción media). El análisis de la fracción fina fue llevado a cabo con el analizador fristch del Laboratorio de Vulcanología del Centro de Geociencias de la UNAM en tres campañas de medición diferentes.

#### Integración de los diferentes métodos usados

La integración de los datos obtenidos en las tres fracciones presenta diferencias en la forma de expresar los resultados. En primer lugar, en el método óptico, usado para el cálculo de la fracción gruesa, los resultados son expresados en función de su tamaño (% volumen), mientras que la fracción media y fina está en relación a su peso (% peso). Debido a que los clastos contenidos dentro de los FBC analizados presentan densidades uniformes, ambos resultados pueden ser acoplados. De la fracción analizada por métodos ópticos obtenemos un porcentaje final para partículas gruesas (X). El porcentaje restante (100-X) será dividido entre la fracción de medios ( $-4 \phi$  y  $+4 \phi$ ) y finos ( $+4 \phi$  y  $+10 \phi$ ), los cuales se analizaron por medio del tamizado en seco y el analizador fristch, respectivamente.



Para poder conjuntar los tres métodos empleados, se usó una hoja de cálculo en donde dos fracciones granulométricas (principalmente  $-4 \phi$  y  $4 \phi$ ) se traslapan para poder unir las metodologías. Es importante marcar que se escogió el valor más representativo de las dos fracciones sobrepuestas. Al final, todos los valores reportados se presentan como relación al porcentaje medido o pesado de cada fracción Phi con respecto a la totalidad de la muestra. Con todos los datos unidos se construyó una serie de Histogramas con la distribución granulométrica de cada uno de las fracciones Phi analizadas, desde  $-10 \phi$  hasta  $+9 \phi$ , con una separación de  $1 \phi$ . Los resultados de dichos histogramas generados son mostrados y analizados en el capítulo VII -sección granulometría- de la presente tesis.

### IV.3.2 Análisis de Componentes

De las muestras tamizadas (fracción media) se eligieron 6 fracciones granulométricas para estudiar, de entre  $-6 \phi$  y hasta  $-1 \phi$ . Las fracciones granulométricas  $-6 \phi$ ,  $-5 \phi$  y  $-4 \phi$  se separaron a simple vista con ayuda de lupa de mano y lámparas de luz de día. Para las fracciones  $-3 \phi$ ,  $-2 \phi$  y  $-1 \phi$  se usó un microscopio binocular Nikon ©. El número de muestras contados por cada fracción se puede revisar en la *Tabla AP. 7* de la sección *Apéndice 2*.

Se analizaron un total de 32 muestras de la Barranca Montegrande y 14 muestras de la Barranca de La Arena en los rasgos granulométricos previamente estipulados. Se identificaron un total de 3 componentes, cuyas principales características y descripciones se harán en el capítulo VII. Esta parte de la tesis fue desarrollada en el Laboratorio de Vulcanología del Centro de Geociencias.

### IV.3.3 Análisis Petrográfico

De los componentes determinados en el paso anterior, se procedió a seleccionar las muestras más representativas, con el fin de observar variaciones petrográficas más significativas en las muestras, principalmente a escala de la matriz. Las muestras seleccionadas se muestran en la *Tabla AP. 8*.

Es importante hacer mención que el enfoque buscado para la presente tesis no pretende enfocarse a hacer un estudio detallado de la petrografía y geoquímica, o más aún de las implicaciones petrogenéticas de los productos lávicos del Volcán de Colima. La petrografía y geoquímica presentadas son un soporte y un punto adicional de comparación entre los diferentes depósitos y flujos del 2005.





### IV.3.4 Análisis Geoquímico

Para esta fase, se hizo la selección de aquellas muestras que resultaran significativas para el trabajo, de igual manera buscando una representatividad de los principales componentes encontrados dentro de los FBC y adicionalmente, se seleccionaron una serie de muestras de diferentes domos del volcán de Colima producidos en el Volcán de Colima en el último decenio como precedente de comparación.

Las muestras fueron preparadas en el Laboratorio de Molienda del Centro de Geociencias de la UNAM y posteriormente analizadas en el Laboratorio de Fluorescencia de Rayos X del LUGIs (Laboratorio Universitario de Geoquímica Isotópica de la UNAM). En este se analizaron las muestras por FRX vía seca. Las perlas para medición se prepararon con 5% de muestra y 95% de fundente TBL: MBL relación 1:1. La medición se realizó bajo el programa CONTROL9.QAN. Los elementos traza se midieron en muestras prensadas. La pérdida por calcinación (PXC) se determinó calentando 1 gramo de muestra a 950°C por un lapso de una hora. Al final, se determinaron 10 óxidos mayores y el porcentaje de pérdidas por ignición. Los datos obtenidos por el análisis y el resultado de su tratamiento son mostrados en el Capítulo VIII. En la *Tabla AP.8* se muestran aquellas muestras analizadas en geoquímica.



#### IV.4 / Parámetros Estadísticos

Para el cálculo de los parámetros estadísticos se prefirió el uso del Programa [Decolog 2.0](#) diseñado por Dr. Borselli y Sarocchi (2005). Este software especializado de libre acceso y distribución ([www.decolog.org](http://www.decolog.org)) responde a una alternativa más poderosa, autónoma y sencilla que el conocido Software SFT –Sequential Fragmentation/Transport-tanto en el ingreso de los datos como en los resultados arrojados por el programa.

Con Decolog SE2.0 se requiere una menor intervención del operador, lo que al analizar una cantidad significativa de muestras (como en el presente trabajo) se traduce en un ahorro significativo de tiempo y una mejora en la precisión de los datos. Adicionalmente, consideramos que a manera de ejemplificar el proceso de obtención de los parámetros estadísticos, el Decolog aporta un extra.

Este programa fue diseñado como una solución para decodificar la información presente en aquellas mezclas naturales de partículas/sedimentos usando como paradigma la distribución log-normal. El programa aproxima la distribución granulométrica hasta con tres curvas lognormales. Para obtener los parámetros y los pesos relativos de las tres componentes, se efectúa una optimización por medio del método Monte Carlo ([Sarocchi, 2006, www.decolog.org](#)).

El programa necesita optimizar al menos 11 clases granulométricas para que corra de manera adecuada. Para ello se prepara una hoja de cálculo especificando la clase dimensional expresada en Phi y la frecuencia relativa considerada de cada una de las muestras.

La hoja de cálculo que arroja el programa son los Parámetros Estadísticos de Distribución y Mezcla (Log-Normal Primera, Log-Normal Segunda, Log-Normal Tercera). La región de datos del Decolog que usaremos en la presente tesis son el derivado de Estadísticas de [Folk y Ward \(1957\)](#). Estos son mediana, media, desviación estándar (selección), selección central, asimetría (skewness), asimetría central y kurtosis. La media, desviación estándar y kurtosis son arrojadas directamente por el programa, el resto se calcularon. Para corroborar resultados, de igual manera el resto de los parámetros estadísticos fueron calculados matemáticamente tomando en cuenta los cuantiles calculados previamente por el programa. Las fórmulas usadas se muestran en la *Tabla IV. 2*.



**Tabla IV.2**

Principales parámetros estadísticos y las fórmulas para obtención. Basados en *Folk y Ward (1957)*. Nota= El símbolo \* representa multiplicación. Fórmula listas para usar en Excel

Parámetro	Fórmula
Mediana	$Md = \phi_{50}$
Media	$Mz = (\phi_{16} + \phi_{50} + \phi_{84}) / 3$
Selección	$\sigma_1 = ((\phi_{84} - \phi_{16}) / 4) + ((\phi_{95} - \phi_5) / 6.6)$
Selección Central	$\sigma_G = (\phi_{16} - \phi_{84}) / 2$
Asimetría (Skewness)	$Sk_1 = ((\phi_{84} + \phi_{16} - (2 * \phi_{50})) / (2 * (\phi_{84} - \phi_{16}))) + ((\phi_{95} + \phi_5 - (2 * \phi_{50})) / (2 * (\phi_{95} - \phi_5)))$
Asimetría Central	$Sk_G = (\phi_{16} + \phi_{84} - (2 * \phi_{50})) / (\phi_{16} - \phi_{84})$
Kurtosis	$K_G = (\phi_{95} - \phi_5) / (2.44 * (\phi_{75} - \phi_{25}))$

Adicionalmente el programa Decolog ([Sarocchi, 2006](#)) otorga:

- Valores para graficar cada lognormal, expresados como PDF (función de probabilidad de densidad) y CDF (función de distribución acumulativa).
- Valores para graficar la distribución total original y reconstruirla a partir de los componentes lognormales calculados.
- Las estadísticas de Folk y Ward (1957) de la CDF recalculada con el método de MonteCarlo.

Con el Decolog se obtuvieron los parámetros estadísticos completos de un total de 47 muestras. Debido a la autonomía del programa, el consumo principal de tiempo no residió en la corrida del software.



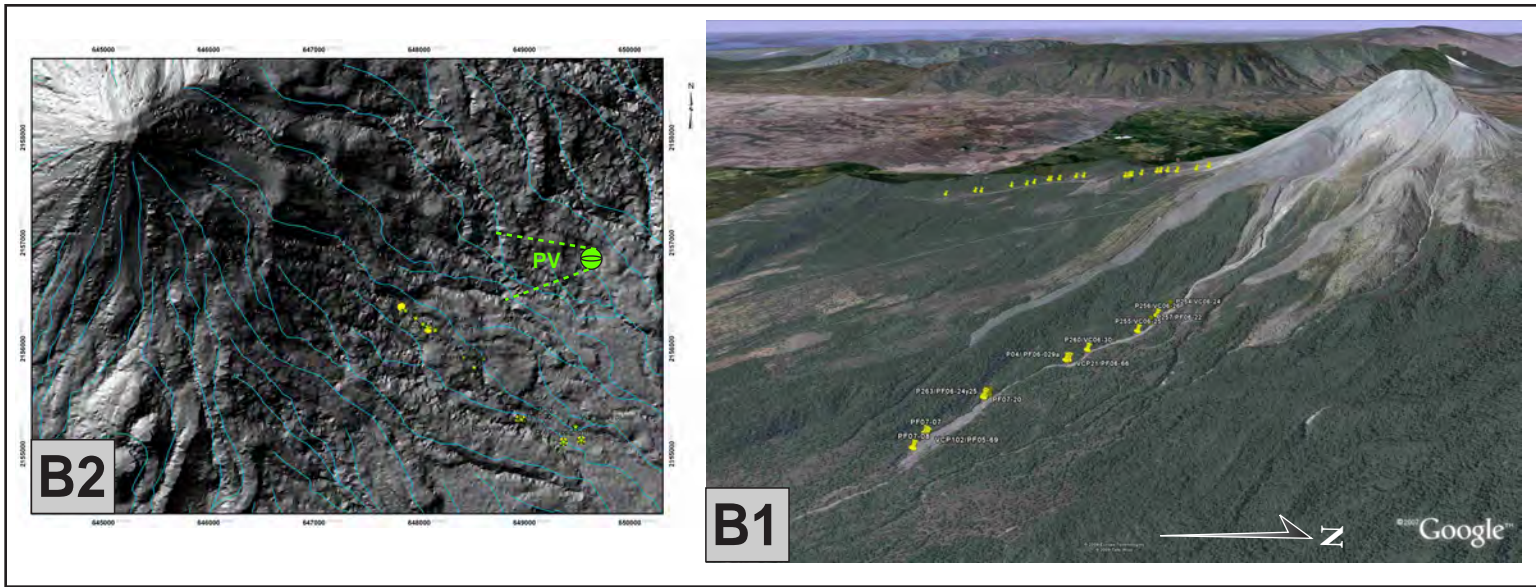
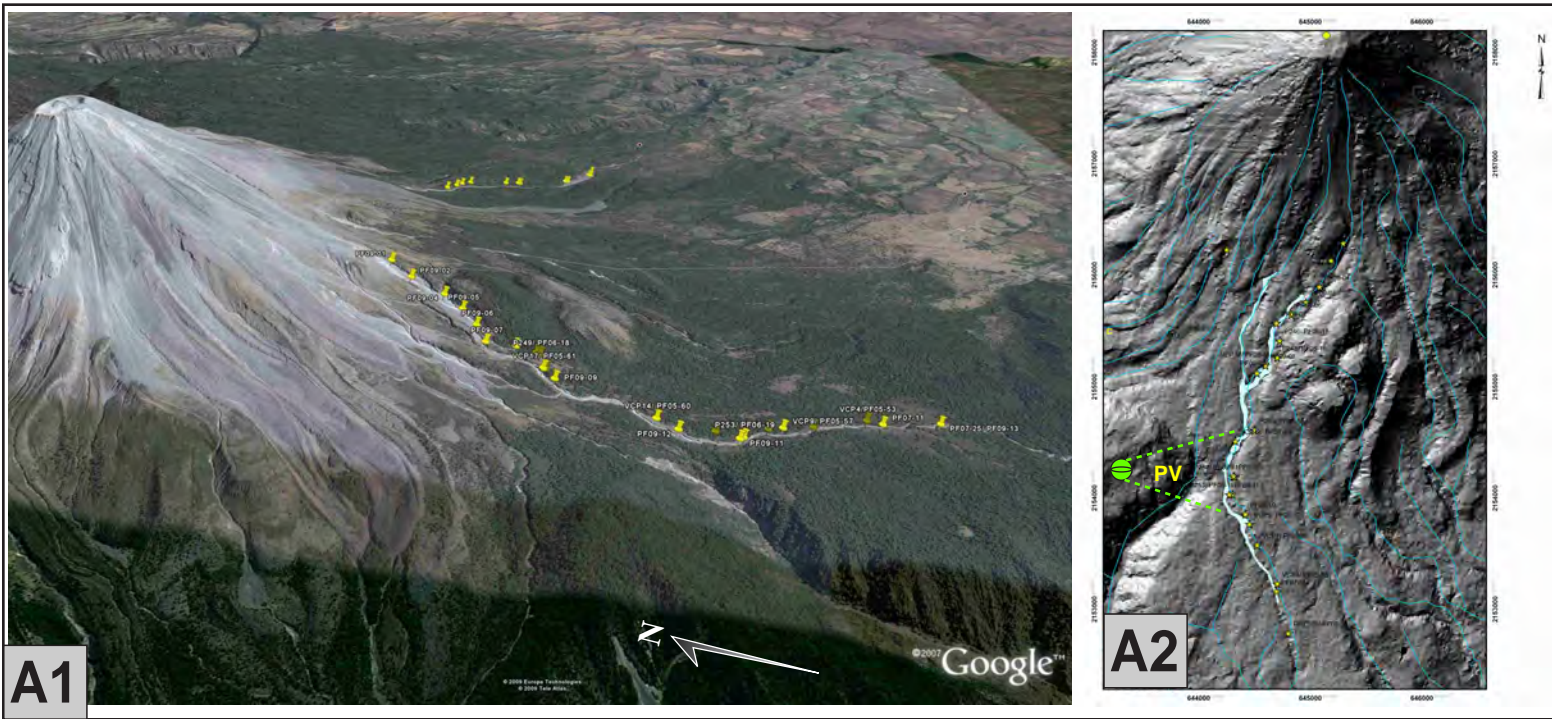
## IV.5 / Análisis Dimensional - Volumen

En la gran mayoría de las publicaciones e investigaciones sobre FBC, no se detalla mucho sobre los métodos usados para el cálculo de volúmenes. Debido a la importancia que representa el volumen generado por una explosión individual o por una secuencia de ellas, es necesario explicar claramente cuales fueron las consideraciones adoptadas en cada caso de depositación. Diversos autores han reportado para diversos volcanes del mundo (ej. Augustine, Merapi, Montserrat, Arenal, Unzen y Fuego) flujos piroclásticos de volumen pequeño en escenarios similares al Volcán de Colima durante el 2005; sin embargo, resaltan las diferencias técnicas de cuantificación y, por consecuencia, en los volúmenes estimados.

Por este motivo, para el presente trabajo, se ha optado por describir de la manera más detallada posible como se realizaron los cálculos dimensionales en la Barranca de Montegrande y en Barranca La Arena para los depósitos piroclásticos del 2005. Como primer paso, durante las campañas de campo se tomaron numerosos puntos de medición (24 para la Barranca de Montegrande y 13 para La Arena), en donde se midió ancho total de la Barranca y de los FBC. Adicionalmente, se hizo una sección transversal, con una breve descripción de los depósitos (producto de los eventos explosivos principales), el espesor de cada flujo y su respectiva georeferencia. Algunos de estos puntos se describieron justo después del emplazamiento de los flujos piroclásticos (año 2005), lo que permite conocer los alcances precisos de cada uno de los eventos eruptivos. Sin embargo, la mayoría fueron tomados en los años siguientes (2006 y 2007), en donde ya se habían formado canales de erosión evidentes. Por este motivo, el acceso a zonas adecuadas de descripción en muchos casos se limitó por las condiciones del terreno. La ubicación exacta de los puntos se observa en las *Figura IV.2 A y IV.2.B*.

La zona de mayor pendiente en los grandes estratovolcanes se ha considerado como una región primordialmente erosional y de limitada depositación (Saucedo, 2001; Sarocchi, 2006). En el Volcán de Colima, esta primera región (con pendientes mayores a 25°) deposita una fina capa de sedimentos que fácilmente son removilizados por las siguientes lluvias. Mas allá del quiebre de pendiente (zonas menores de 25°), inicia el emplazamiento de los principales volúmenes en ambas barrancas. Es después de este quiebre de pendiente donde se tomaron los puntos previamente mencionados.

Tres mediciones son importantes para el cálculo del volumen: a) el ancho de la barranca, tomado en cada uno de los puntos georeferenciados –valor *Y* de los puntos en la *Figura IV. 3a-*



**Figura IV.2:**

A1) Ubicación de los puntos de medición usados en la Barranca de Montegrando para la estimación de los volúmenes generados durante la fase explosiva del 2005. Vista del Suroeste hacia el Noroeste **Imagen:** Modelo Digital de Elevación de Google Earth (*Europa Technologies-Tele Atlas, 2009*).

A2) Modelo de Elevación derivado de LIDAR (*INEGI, 2005*) mostrando los mismos puntos que la imagen anterior. PV= punto de visión usado en la obtención de la imagen A1.

B1) Ubicación de los puntos de medición usados en la Barranca La Arena para la estimación de los volúmenes generados durante la fase explosiva del 2005. Vista de Este hacia el Oeste **Imagen:** Modelo Digital de Elevación de Google Earth (*Europa Technologies-Tele Atlas, 2009*).

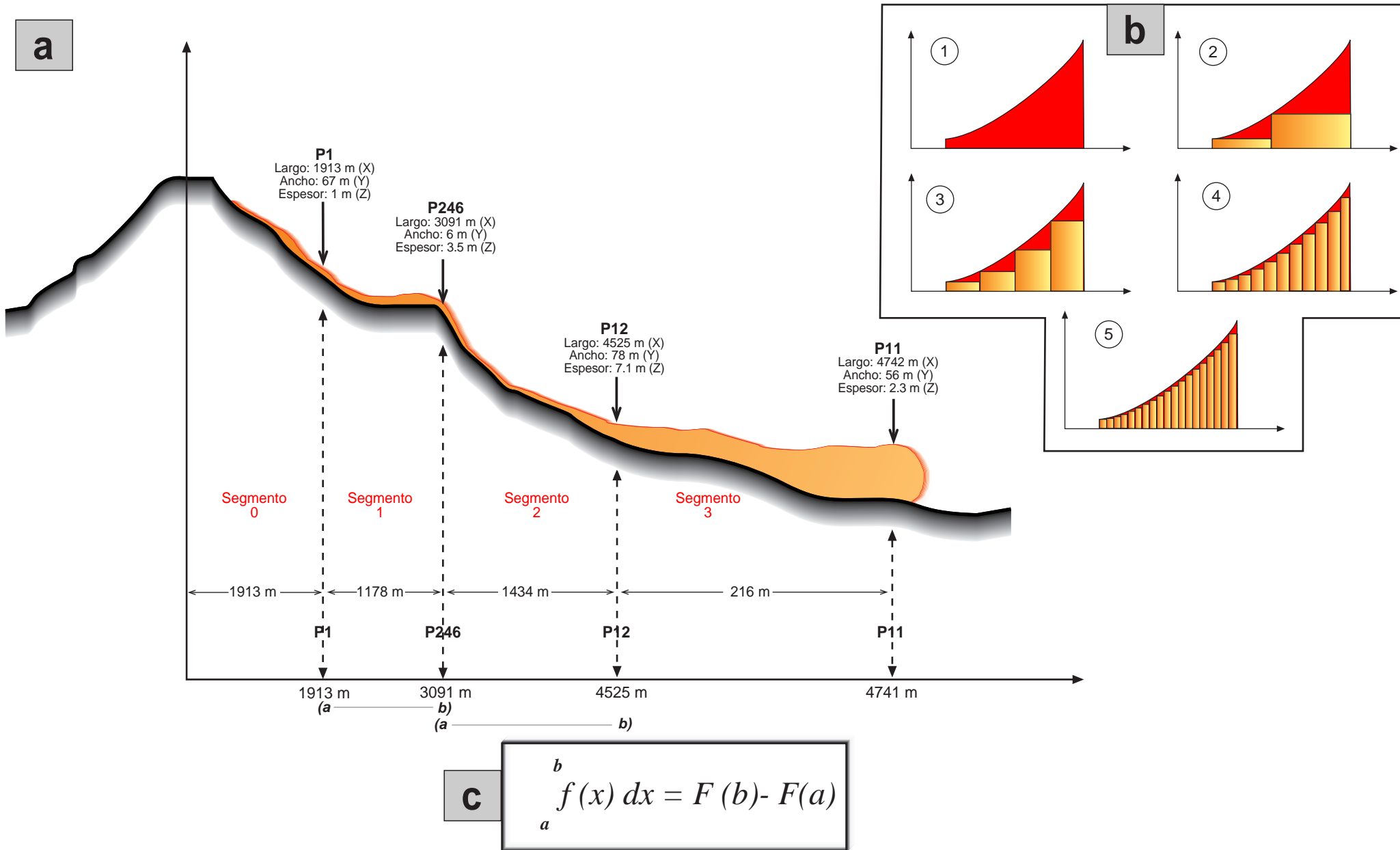
B2) Modelo de Elevación derivado de LIDAR (*INEGI, 2005*) mostrando los mismos puntos que la imagen anterior. PV= punto de visión usado en la obtención de la imagen B2.



b) el largo, que es la distancia existente entre punto y punto de medición –*distancia entre P1 a - 246, de P246 a P12 y así sucesivamente en la Figura IV. 3a-* y c) el espesor de cada Flujo, determinado en cada uno de los afloramientos –*valor Z de los puntos en la Figura IV. 3a-*. La multiplicación por segmentos de los valor X-Y-Z nos dará el volumen por segmentos del flujo. Por ejemplo, el volumen del segmento 1 (*Figura IV.3a*) será el resultado de la multiplicación entre la distancia del P1-P246 (1178 m) por el ancho promedio del flujo en este punto (67 m) por el espesor promedio medido en el afloramiento para un flujo dado (1 m). El resultado obtenido ( $78,926 \text{ m}^3$ ) será el volumen para el Segmento 1; se aplica el mismo método para los segmentos restantes. La suma de todos los segmentos es el volumen total. Las tablas detalladas con cada uno de los puntos y sus respectivos valores X, Y, Z se muestran en el *Apéndice*.

Se usa el principio matemático del área bajo la curva como método base de los cálculos. Como se observa en la *Figura IV.3b (paso 1 al 5)* a medida que tengamos más puntos de medición a lo largo de las Barrancas estudiadas, mayor será la aproximación al volumen real existente.

De igual manera, el Teorema de Stokes se aproxima al cálculo aproximado del volumen de un segmento determinado mediante la fórmula mostrada en la *Figura IV.3c*. Para este caso, el intervalo (a-b) sobre el que se calcula la función puede ser, por tomar ejemplos, la distancia de P1-P246, distancia P246-P12 ó la P12-P11. Los alcances del presente trabajo no abarcan un análisis vectorial y la obtención de funciones detalladas, sin embargo, es un primer intento para un cálculo cada vez más realistas de volúmenes generados por flujos piroclásticos.



**Figura IV.3**

**a)** Sección esquemática idealizada del Volcán de Colima en donde se muestran cuatro puntos de control tomados con el fin de explicar el cálculo de volúmenes. El valor de X (largo) es la distancia desde la cima del volcán hasta el punto de medición en línea recta. El ancho es (valor Y) es la medición transversal a la barranca tomada en cada punto. El valor Z (espesor) fue medido en los afloramientos de flujos piroclástico descritos. La metodología para el cálculo de volúmenes se explica en el texto.

**b)** Principio matemático del área bajo la curva. Esta es la misma base que el cálculo de volúmenes para FP en Colima. A medida que tenemos más puntos de medición, la aproximación mejora. Del punto 1 al 5 se observa como la zona sin cobertura por el método (región roja) se va haciendo cada vez más pequeña (cálculo de volumen más preciso).

**c)** Teorema de Stokes para la aproximación a los volúmenes de los segmentos. La función se evalúa en **a** y **b**, la posición de estos dos puntos de evaluación pueden cambiar dependiendo del segmento que se esté analizando.



## CAPÍTULO V

# DESCRIPCIÓN DE EVENTOS PIROCLÁSTICOS

### V.1 / Introducción

Desde 1999, en el Volcán de Colima se han observado pequeñas a moderadas fases explosivas, con columnas eruptivas de más de 6 km de altura y flujos piroclásticos emplazados hasta 5 km de su fuente. Entre estos eventos explosivos, lava andesítica proveniente de las principales fuentes intracráticas formaron domos pequeños, en ocasiones, de corta vida. Las lavas alimentadas, criptodomos, y ocasionalmente exodomos fueron destruidos por subsecuentes explosiones.

Según información del Observatorio Vulcanológico de la Universidad de Colima ([OVUC](#)) y el Boletín de la Red Global de Vulcanología (*Bulletin of the Global Volcanism Network* [BGVN](#)), el número de días en los cuales las columnas eruptivas fueron más grandes que 6 km de altura s.n.m. (poco más de 2 km sobre el nivel del cráter) llegó a ser en la segunda mitad de 1999 3 días; 2000, 1 día; 2001 y 2002 fueron 4 días cada año; 2003 tuvo 15 días, 2004 más de 24, mientras que 2005 solamente hasta junio, llevaba 31 días.

La última fase eruptiva-explosiva del Volcán de Colima ocurrió entre finales del año 2004 y durante la mayor parte del 2005. Inició con un proceso efusivo de emisión de un nuevo domo a finales de septiembre del 2004, después de que durante prácticamente todo el año 2004 el cráter del Volcán de Colima había permanecido sin presencia de domo y solamente material piroclástico no consolidado rellenaba parte del cráter interno (ver *Figura V.1A*).

El rápido crecimiento del domo provocó colapsos sectoriales principalmente en dirección SW, hacia la barranca La Lumbre. Durante todo noviembre y diciembre, flujos de lava en bloques andesíticos se extendieron hacia el flanco Norte, alcanzando la región conocida como El Playón. Adicionalmente pequeñas explosiones generaban flujos piroclásticos de corto alcance.

Durante los primeros meses del 2005, una nueva fase explosiva inició en el Volcán de Colima. Explosiones como las ocurridas en febrero y marzo (días 12 y 13 respectivamente) generaron flujos de bloques y ceniza que apenas superaron el quiebre de pendiente (alredor de 2.5 km de distancia desde el cráter). Posteriormente, en abril, explosiones continuas generaron columnas eruptivas de alrededor de 6.1-6.7 km de altura s.n.m Sin embargo, mayo del 2005 fue un mes caracterizado por grandes explosiones que rompieron los registros sísmicos máximos que se tenían desde la etapa explosiva de 1999. Las fases explosivas del 15, 23 y 30 de mayo se

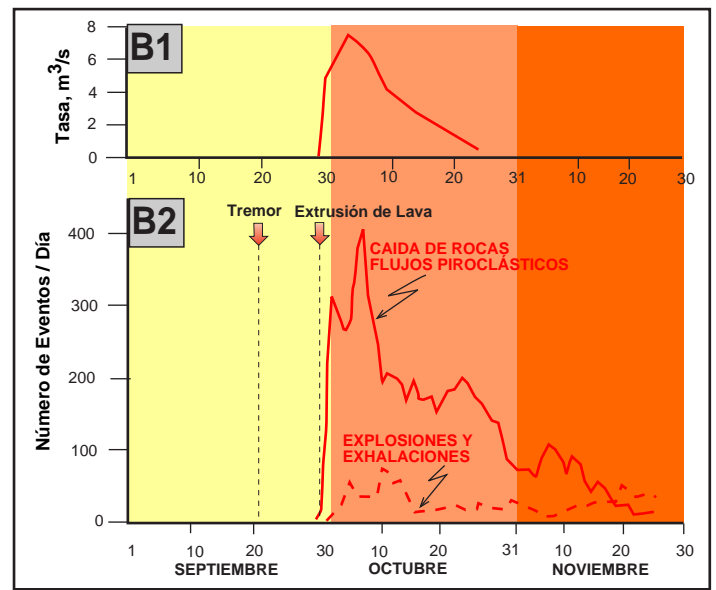




caracterizaron por una serie de explosiones cada vez más grandes productoras de flujos piroclásticos, las cuales alcanzaron columnas eruptivas cercanas a los 6 km de altura s.n.m. y flujos piroclásticos con distancias mayores a 4 km.

La erupción del 30 de mayo fue importante debido a que hasta ese momento, significó la explosión más grande registrada en los 20 años de existencia del monitoreo sísmico de la Red Sismológica de Colima. Sin embargo, la siguiente explosión, el 05 de junio del 2005, fue un evento más grande que del 30 de mayo. Esta secuencia eruptiva de mayo-junio fue la generadora del mayor volumen de FBC en el flanco sur y sureste del Volcán de Colima durante el 2005.

Después del 05 de junio, las únicas explosiones significativas fueron en julio (05 y 27) y septiembre (16 y 27), sin embargo, comparado con la fase febrero-junio, en estas últimas explosiones se observaba ya un franco decrecimiento en la energía, alcance de flujos e intensidad sísmica de las explosiones, situación ratificada en los meses y años posteriores (inicio 2006-presente) con explosiones menores de emisión de columnas eruptivas de corta altura y de nulos eventos generadores de flujos piroclásticos (*Figura V.1B2*).



**Figura V.1:**

**A)** Vista aérea del cráter del Volcán de Colima el 27 de febrero del 2004. *Tomada por el OVUC ( BGVN, 2004).*  
**B1)** Tasa de Emisión de Lava (sept-nov 2004). **B2)** Número de Eventos sísmicos producidos por fuentes distintas. Nótese el inicio de los tremores y la emisión de lava (flechas rojas). *Ambas tomadas del OVUC ( BGVN, 2005a) .*  
**C)** Imagen extraída de un video capturado por J.C. Gavilanes el 17 de octubre. Se observa un domo sumital desbordando en varias direcciones **D)** Fotografía mostrando el nuevo flujo de lava en bloques emplazado en el flanco N del Volcán de Colima. *Tomada por el OVUC ( BGVN, 2005 a)* **E)** Explosión pequeña del 08 de enero del 2005 *Foto: Víctor Vargas.* **F)** Explosión del 09 de enero del 2005 *Foto: Sergio Velasco*



## V.2 / Descripción Detallada de los Principales Eventos

### V.2.1 / Septiembre del 2004

El 28 de septiembre del 2004, un sobrevuelo en el Volcán de Colima permitió la visualización de un nuevo domo de lava en bloques que había iniciado su formación dentro del cráter del volcán. Ese mismo día, intensa actividad fumarólica generó columnas de vapor de agua de aproximadamente 500 m de altura. La nueva efusión de lava careció de premonitores sísmicos volcano-tectónicos o deformación significativa en el edificio volcánico, solamente un episodio de tremores volcánicos de 6 horas fue observado el 20 de septiembre de ese año (BGVN, 2005a).

Para el 30 de septiembre, un intenso enjambre de eventos sísmicos se registró por caída de rocas y flujos piroclásticos iniciados a partir de las 06:00. Los eventos sísmicos indicaron un sobrelleno del cráter por el domo y la formación de dos flujos de lava andesítica, principalmente hacia los flancos N y WNW (BGVN, 2005a - OVUC). De igual manera, alrededor de los últimos días del mes de septiembre e inicios de octubre, el domo alcanzó la mayor tasa de efusión, el inicio de colapsos sectoriales y flujos piroclásticos (Figura V.1B1 y V.1B2).

### V.2.2 / Octubre del 2004

Para el 03 de octubre, el flujo de lava N tenía más de 300 m de longitud, con espesor de 10 m y ancho de 150 m. En Macías et al (2006), J.C. Gavilanes describe que ese día se escucharon fuertes sonidos de jet con duración de 10 a 30 segundos, posiblemente relacionado con proyectiles generados en explosiones menores. Un rasgo importante a marcar de esta fase, es que, a diferencia de 1998 y eventos previos, en esta ocasión, era la primera vez que la fase explosiva se iniciaba a solo unos días de iniciada la fase extrusiva.

El 06 de octubre, se produjeron alrededor de 32 explosiones, generando columnas eruptivas de aproximadamente 400 m sobre el nivel del volcán (4500 m.s.n.m) (BGVN, 2004w1). Posiblemente dichas explosiones favorecieron el colapso sectorial registrado ese mismo día y que formaría un FBC con un alcance de 6.14 km de distancia en la Barranca La Lumbre, en el flanco SW del volcán, convirtiéndose en el flujo piroclástico de mayor alcance desde 1913.

En sobrevuelo realizado el 17 de octubre, se observó un domo sumital desbordando en varios flancos del Volcán con el desarrollo de varios puntos de emisión continua de fumarolas. Es importante hacer referencia de la marcada viscosidad visible en el domo, evidente en algunas de las fotografías y videos captados (ver Figura V.1C). Durante el 21-26 de octubre, el flujo de lava se



había extendido en el flanco norte alcanzando 1800 m de longitud y 200 m de ancho, mientras que en el flanco oeste-noroeste el flujo de lava alcanzó 600 m de longitud y 200 m de ancho (*Figura V.1D*). Sobre estos flancos fueron comunes el desarrollo de pequeños FBC producto de breves colapsos pequeños de lava, los cuales se distribuyeron sobre los flujos de lava activos. El 22 de este octubre, se reportó una emisión de 840 T/día de bióxido de azufre ([BGVN, 2004w2](#)).

### V.2.3 / Noviembre del 2004 - Enero del 2005

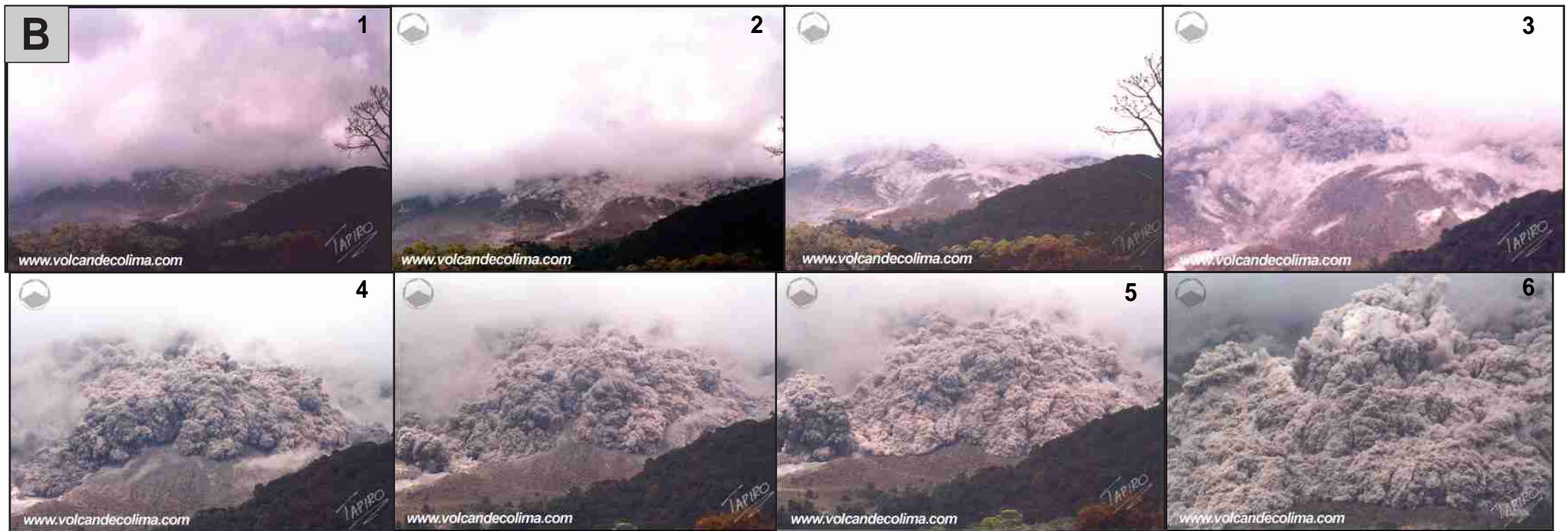
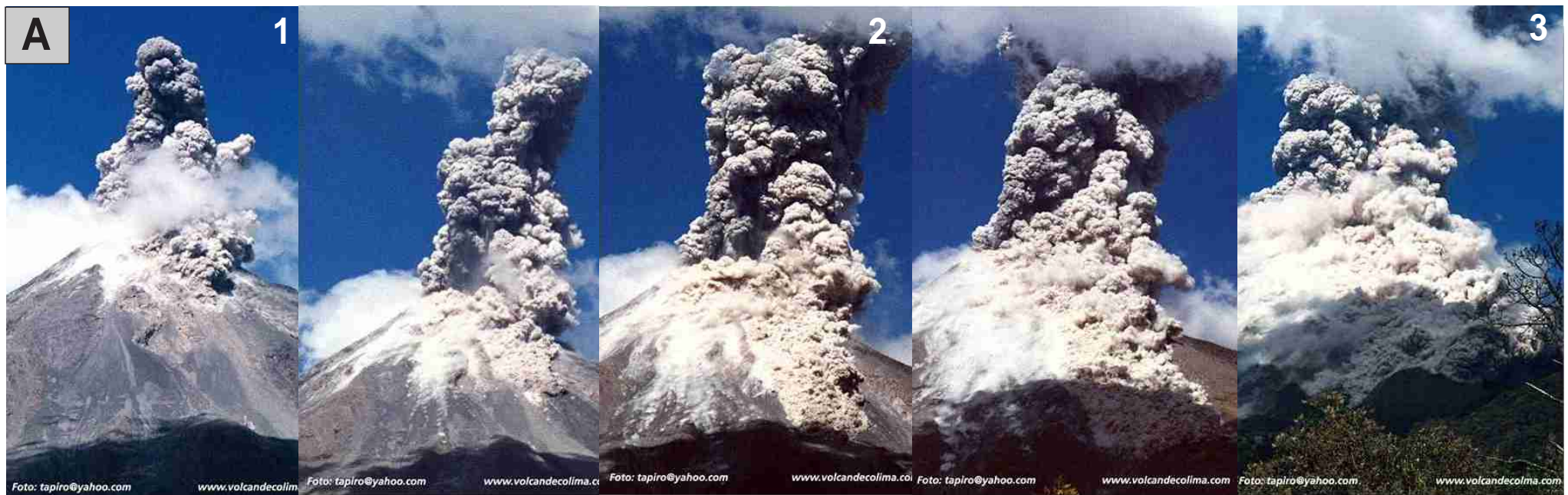
El mes de noviembre se caracteriza por un continuo avance de los flujos de lava previamente descritos, a pesar de que la tasa de efusión marcaba en franco decrecimiento durante todo el mes de octubre (*Figura V.1B1*). Asimismo, múltiples explosiones pequeñas regulares ocurrieron con generación de columnas eruptivas ricas en vapor de agua y ceniza (composición predominante), con dispersión de ceniza predominante hacia el NE ([BGVN, 2004w3](#) y [BGVN, 2004w4](#)).

En diciembre, mientras el flujo de lava finalmente se detuvo, las explosiones produjeron columnas eruptivas cada vez más cargadas en ceniza y con alturas de hasta 2000 m sobre el nivel del cráter. Durante Enero del 2005, se observaron explosiones continuas con lanzamiento de proyectiles balísticos a distancias de aproximadamente 1 km ([Macías et al., 2006](#)) (*Figura V.1D*). Autoridades de aviación locales y el VAAC reportaron explosiones con columnas de ceniza los días 6, 9, 17 y 26, que ascendieron entre 6400 y 7000 m.s.n.m., aunque sin generación de flujos piroclásticos reportada.

### V.2.4 / 12 de Febrero del 2005

Iniciada a las 14: 35 (hora local), con la formación de una columna eruptiva de 2500 m de altura, ésta explosión desestabilizó los bordes norte y sur del cráter, generando flujos piroclásticos que alcanzaron alrededor de 2.5 km de distancia en la Barranca de Montegrando-San Antonio y 1.2 km hacia el Norte, con una velocidad promedio estimada de 70 km/hr ([Macías et al., 2006](#)). La *figura V.2 A* muestra una excelente secuencia fotográfica en la que se aprecia que el flujo apenas alcanzó depositar más allá del quiebre de pendiente propuesto (localizado a 1910 m de distancia desde el cráter) para la Barranca Montegrando -flanco sur-.

VAAC ([2005a](#)) reporta una nube de ceniza que viajó en dirección noroeste a una velocidad aproximada de 37 km/h (ver *Figura V.3*). A pesar de que esta explosión no generó grandes depósitos, es significativamente importante debido a que es la primera explosión con generación de flujos piroclásticos durante el 2005 (*tabla V.1*).



**Figura V.2 A:** Columna eruptiva y secuencia de formación de Flujo Piroclásticos en la Barranca Montegrande. Explosión del 12 de Febrero del 2005.  
**Figura V.2 B:** Secuencia de emplazamiento de FP en la Barranca Montegrande producto de la explosión del 13 de Marzo del 2005.  
*Ambas secuencias fotográficas por Sergio Velasco García (Tapiro)*



### V.2.5 / 10 de Marzo del 2005

En esta fecha ocurrió una fuerte explosión que formó una columna eruptiva superior a 2600 m de altura sobre el cráter (6500 m.s.n.m.) y que fue la más grande hasta ese entonces en el 2005 (Macías et al., 2006). La nube de ceniza viajó rápidamente hacia el noreste reportándose caída de ceniza en Ciudad Guzmán y poblaciones cercanas, sin presentar esto un riesgo importante para la comunidad (OVUC). Para este momento se mantenían áreas de exclusión de 6.5 km a la redonda del Volcán y de alertamiento preventivo hasta 11.5 km desde la cima (DdeC,2005a.). Según el VAAC se reportó una erupción significativa que produjo una columna eruptiva moviéndose hacia el NE a una velocidad aproximada de 112 Km/hr (Figura V.4 A), alcanzando el Golfo de México antes de su disipación. Otra erupción alrededor de las 11:55 de menores magnitudes de igual manera fue detectada por el OVUC y corroborada por el VAAC (VAAC, 2005b).

### V.2.6 / 13 de Marzo del 2005

Esta explosión generó una columna eruptiva de más de 3000 m de altura sobre el cráter, lanzando balísticos a distancias mayores a 2 km (Macías et al., 2006). Al igual que la explosión del 12 de febrero, se cuenta con una secuencia fotográfica que evidencia el emplazamiento de flujos piroclásticos (Figura V.2 B) que alcanzaron 3.4 km de distancia en el flanco sur, con velocidad promedio de 200 km/h.

Esta explosión generó caída de lapilli en las zonas cercanas al volcán (<5 km); a la par se reportaron caída de cenizas en poblados localizados al NE del volcán, aproximadamente a 12.5 km en la población de los Mazos, Jalisco (BGVN, 2005b). El satélite de NOAA mostró una columna extendiéndose hacia el NE (VAAC, 2005c).

### V.2.7 / 10 de Mayo del 2005

Este día a las 09:16 se produjo una explosión que generó flujos piroclásticos en varias direcciones del volcán, pero principalmente hacia el sector sur del volcán, causando leves incendios forestales en la Barranca Montegrande (DdeC,2005b- PCC).

La columna eruptiva tuvo una dirección este-noreste causando lluvia de ceniza en sectores cercanos. Se reportó que la ceniza producida por esta erupción fue disipada poco después de las 6 horas en que se produjo el evento (VAAC, 2005d), por lo que los aeropuertos cercanos continuaron con su actividad normal.

Los sistemas de Protección Civil locales (PC Colima y PC Jalisco) mantuvieron la alerta preventiva, sin descartar una explosión similar a 1913 o mayor en los días siguientes. Las cámaras web del



Observatorio Vulcanológico de la Universidad de Colima (OVUC) captaron la explosión en sus estaciones Nevado y Naranajal –ver *Figura V.4B*-

### V.2.8 / 15 de Mayo del 2005

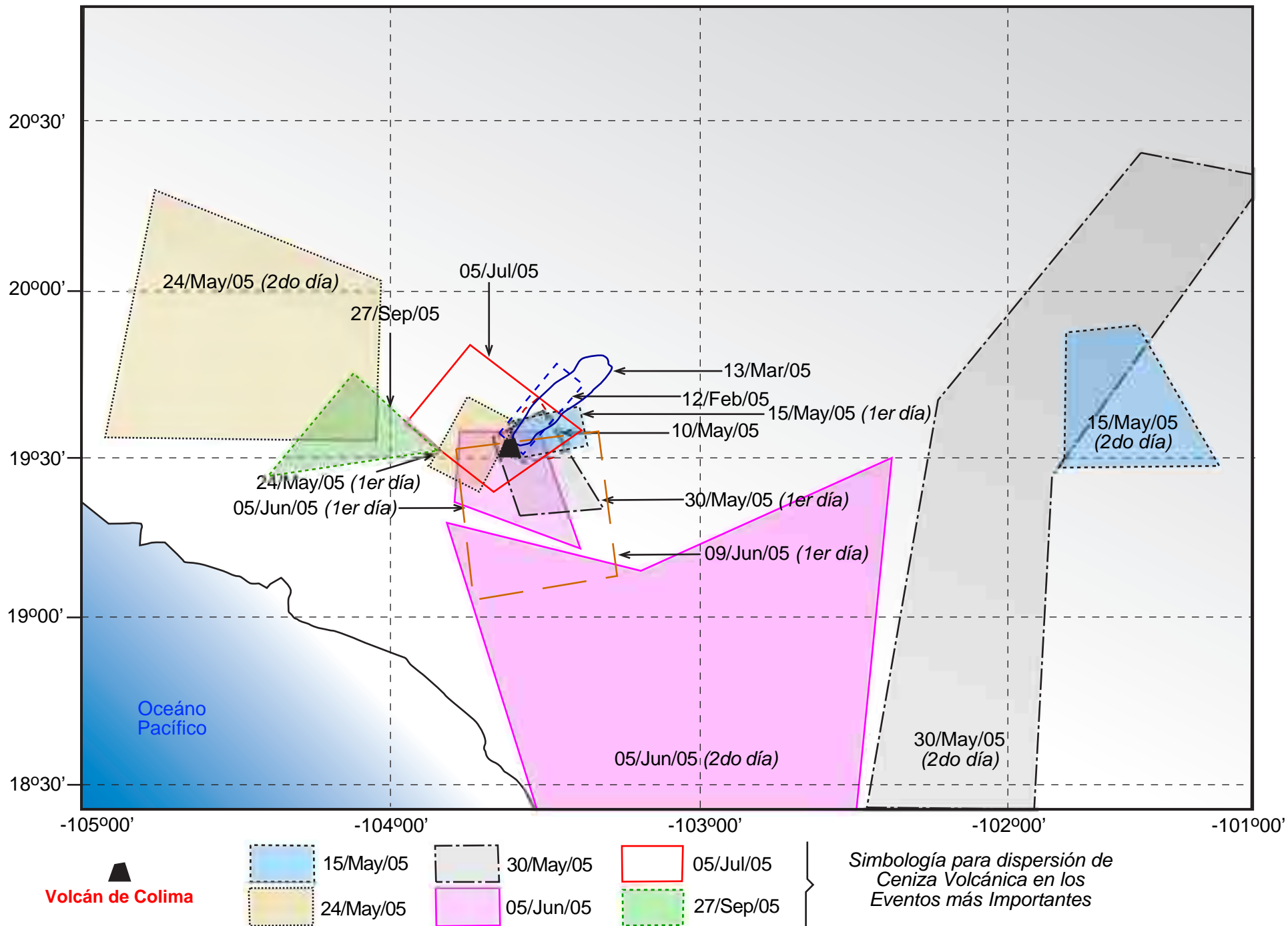
Esta explosión fue muy superior a las presentadas durante este año, dado que los flujos piroclásticos se extendieron hacia todos los flancos, teniendo mayor alcance hacia el flanco sur del volcán (Macías et al., 2006). Se observó múltiple incandescencia en esta explosión seguido de la formación de una columna eruptiva de aproximadamente 3700 m de altura (VAAC, 2005e) con proyectiles balísticos a distancias inferiores a los 2.0 km (BGVN, 2005w6, 2005c). Las primeras imágenes satelitales multiespectrales después de la erupción muestran una nube de ceniza moviéndose en dirección Este (VAAC, 2005e) –ver *Figura V.3*- .

Con base en los enjambres sísmicos detectados ese día, se determinó una duración total de los flujos piroclásticos de 780 seg. (Varley, 2009,com.personal escrita). Este evento se caracteriza por ser uno de los más voluminosos de la serie del 2005, así como el primer flujo en alcanzar zonas distales en la Barranca de Montegrande (4.35 km) provocando algunos incendios forestales de corta duración. Existe cierta falta de información visual del evento debido a que ocurrió durante la noche. Sísmicamente esta erupción se considera 1.44 veces mayor que la del 17 de Julio de 1999 explosión de referencia para el OVUC.

### V.2.9 / 23 de Mayo del 2005

Esta erupción, fue mayor que la del día 15 y por ende, mayor que la del 17-Jul-99 –explosión de referencia- con base en su intensidad sísmica (2.06 veces más que la referencia). La columna eruptiva de más de 5800 m sobre el nivel del cráter (BGVN, 2005w7, 2005c) generó proyectiles balísticos que alcanzaron hasta 2.5 km de distancia (Macías et al., 2006). Los flujos piroclásticos más grandes se encauzaron por las Barrancas de San Antonio (SE) y Montegrande (S) generando algunos incendios forestales menores. Se estimó que los flujos piroclásticos alcanzaron una velocidad de hasta 240 km/h (OVUC). Imágenes de la explosión y formación del flujo piroclástico se puede ver en la *Figura V. 4 D1 a V. 4 D4*.

La nube de ceniza se movió hacia el Oeste-Noroeste a una velocidad promedio de 29 km/h (VAAC, 2005f). El Centro Universitario de Investigaciones en Ciencias del Ambiente de la U.de C. detectó localmente una nube de aproximadamente 46 por 28 km moviéndose hacia el Suroeste del Volcán (Galindo et al, 2006) –ver *Figura V.3*- Después de esta erupción se aumentó la zona de exclusión del volcán de 6.5 a 7.5 km a partir de la cima del volcán, esto debido a que la magnitud de las últimas 4 erupciones fue aumentando, considerandose la posibilidad de eventos posiblemente mayores a los de 1999.



**Figura V.3** Proyección de los desplazamientos de las nubes de ceniza de los principales eventos explosivos del 2005. Las imágenes de desplazamiento de ceniza fueron tomadas de los reportes diarios del [VAAC-NOAA, Washington](#) (ver bibliografía). Las zonas coloreadas corresponden a la ceniza desplazada para los eventos más importantes. [Imágenes originales tomadas por el Satélite GOES-12.](#)

**ACLARACIÓN IMPORTANTE:** los polígonos de desplazamiento de la nube de ceniza NO son mapas de isopacas para los depósitos de caída. Estos solamente representan estimados del movimiento de la nube de ceniza a una altura determinada. Los trazados poligonales fueron tomados directamente de los reportes del VAAC-NOAA (ver abreviaturas), una agencia gubernamental norteamericana creada en inicio para la protección de las rutas aéreas ante posibles eventos volcánicos.





**Tabla V.1:** Principales eventos generadores de flujos piroclásticos en el Volcán de Colima durante el 2005. La duración de flujos piroclásticos fue calculada por [Varley \(comun. Personal escrita\)](#) basándose en datos sísmicos. La altura de la columna eruptiva es en metros sobre el nivel del cráter (m.s.n.c.).

La comparativa con la explosión del 17-Jul-99 (explosión de referencia) se hizo con base en mediciones de intensidad sísmica ([OVUC](#)).

Fecha	Hora	Dirección de FP	Longitud de FP	Duración de Flujos Piroclásticos <sup>(7)</sup>	Altura de Columna Eruptiva (s.n.c)	Comparativa con la explosión 17-Jul-1999	VEI estimado
<b>12-Febrero-2005</b>	14:35:00	S-SE	(MTG-2.5km <sup>(1)</sup> ) (PLA-1.2km <sup>(2)</sup> )		2500 <sup>(1)</sup>		2
<b>10-Marzo-2005</b>	08:10:00	S, N, SW	(MTG+/- 2.8 Km <sup>(3)</sup> )	250 seg	2600 <sup>(1)</sup>	0.43	2
<b>13-Marzo-2005</b>	15:28:00	S	(MTG-3.4 Km <sup>(1)</sup> )(SA-2.4 km <sup>(2)</sup> )	385 seg	3000 <sup>(1)</sup>	0.91	2
<b>25-Marzo-2005</b>	21:40:00	S	(SA-2.64 km <sup>(2)</sup> )	240 seg		0.47	2
<b>19-Abril-2005</b>	20:56:00	S-SW	(SA-2.64 km <sup>(2)</sup> )	440 seg		0.68	2
<b>10-Mayo-2005</b>	09:16:00	S	(SA-2.8 km <sup>(2)</sup> )	1er pulso:300 seg 2do pulso: 250 seg		0.75	2
<b>15-Mayo-2005</b>	21:01:00	S	(MTG-4.35 km <sup>(2)</sup> )	780 seg	3700 m <sup>(3,5)</sup>	1.44	2
<b>23-Mayo-2005</b>	19:10:00	S-SE	(SA-2.63 km <sup>(2)</sup> )	1er pulso:546 seg 2do pulso: 260 seg	5800 m <sup>(3)</sup>	2.06	3
<b>30-Mayo-2005</b>	03:26:00	S-SE	(MTG-4.2 km <sup>(2)</sup> )(SA-2.6 km <sup>(2)</sup> )	1er pulso:470 seg 2do pulso: 190 seg 3er pulso: 105 seg 4to pulso: 55 seg	4600 m <sup>(3,5)</sup>	2.61	2
<b>01-Junio-2005</b>	23:59:00	S	(MTG-4.5 km <sup>(3)</sup> )	1er pulso:295 seg 2do pulso: 270 seg	2200 m <sup>(1,3)</sup>	1.68	2
<b>05-Junio-2005</b>	14:20:00	S	(MTG-5.1km <sup>(3)</sup> )	1er pulso:470 seg 2do pulso: 170 seg	5000 m <sup>(3,5)</sup>	3.14	3
<b>06-Junio-2005</b>	23:05:00			1er pulso:670 seg 2do pulso: 50 seg	4600 m <sup>(1)</sup>	0.86	2
<b>09-Junio-2005</b>	21:54:00	SE	(LA-5.58km <sup>(2)</sup> )	1er pulso:490 seg 2do pulso: 140 seg 3er pulso: 80 seg 4to pulso: 75 seg	3000 m <sup>(5,6)</sup>	0.53	2
<b>05-Julio-2005</b>	18:21:00	SE	(LA-4.8 <sup>(1)</sup> y 5.2km <sup>(2)</sup> )(MTG-3.0km)	500 seg	5200 m <sup>(3)</sup>	0.76	¿?
<b>27-Julio-2005</b>	04:13:00	S-SE?	(MTG-3.8km <sup>(2)</sup> )	1er pulso:415 seg 2do pulso: 65 seg	4000 m <sup>(5)</sup>	0.22	2
<b>16-Sept-2005</b>	10:47:00	S,SE	(MTG-4.6 km <sup>(2)</sup> )(SA-2.45km <sup>(2)</sup> )	80 seg	5000 m <sup>(3)</sup> (¿?)	0.75	¿?
<b>27-Sept-2005</b>	05:08:00			65 seg	7600 m <sup>(4)</sup>	0.51	2



#### FUENTES DE INFORMACIÓN

- 1 Macías et al., 2006
- 2 Comun. Pers. Nick Varley
- 3 BGVN (Bulletin of the Global Volcanism Program)
- 4 Reportes del Observatorio Vulcanológico
- 5 NOAA (VAAC-Volcanic Ash Advisory Center)
- 6 Observatorio Vulcanológico de la Universidad de Colima
- 7 Comun. Pers. Nick Varley, basado en Registros Sísmicos

Recuadro con las principales fuentes de información referidas en la columna de *longitud del FP y altura de columna eruptiva* dentro de la *Tabla V.1*

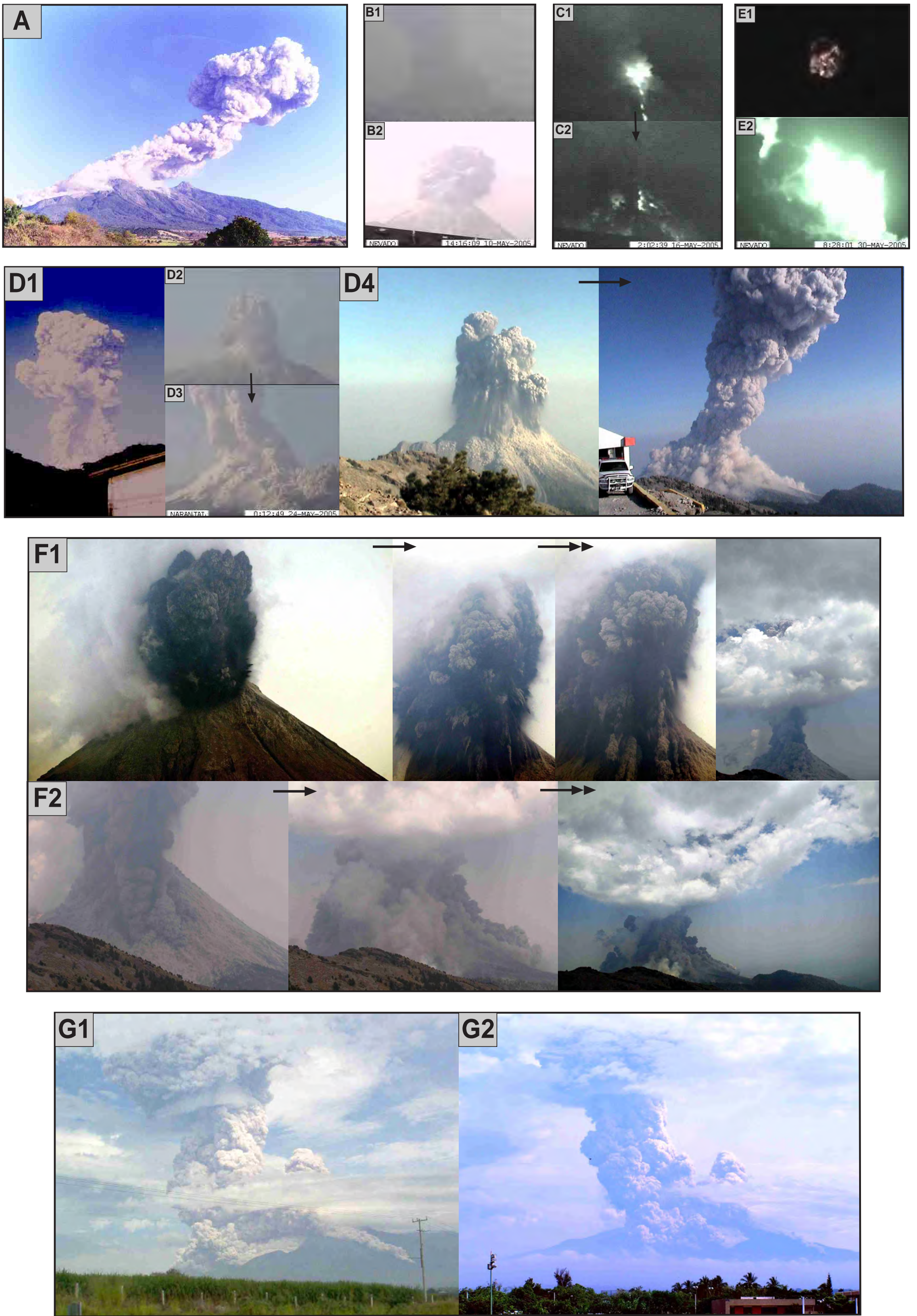
### V.2.10 / 30 de Mayo del 2005

A pesar de que las explosiones del día 15 y 23 de mayo habían sido más intensas que la explosión que fue referencia durante varios años (17-jul-99), la magnitud de las explosiones iba en franco incremento. La explosión del 30 de mayo fue la más grande registrada hasta el momento, siendo casi el doble de energética que la del 15 de mayo y poco superior a la del 23 de mayo ([con base en RESCO, OVUC](#)). Esto orilló a las autoridades locales de Protección Civil a crear planes de contingencia ante la posibilidad de una explosión de mayores dimensiones, asimismo, se incrementó la zona de exclusión en un radio de 6.5 a 7.5 km y la restricción de actividades en un radio de 11.5 km desde la cima del volcán. ([DdeC,2005c- PCC](#)).

La explosión generó flujos piroclásticos en dirección S-SE (Barranca Montegrando-San Antonio) alcanzando un máximo de 4.2 km de distancia. Con base en registros sísmicos, se determinaron cuatro pulsos de generación de flujos piroclásticos de duraciones distintas (*ver tabla V.1*). Como se puede ver en la *Figura V.4 E1 y E2*, ésta explosión generó importante incandescencia y algunos proyectiles balísticos. La columna eruptiva generada fue de ~4600 m sobre el nivel del cráter ([BGVN, 2005w7, 2005c](#)). Por medio de imágenes satelitales se pudo detectar que la nube viajaba en dirección ESE con una velocidad de 65 km/h, por lo que a solamente 3 horas posterior a la explosión la nube se había desplazado 100 km al SE, mientras que otra porción menor viajó en dirección NE a 45 km/h ([VAAC, 2005g](#)). Se reportó caída de ceniza en la ciudad de Colima, lo que obligó al cierre de operaciones provisional en el aeropuerto de dicha ciudad (*Figura V.3*).

### V.2.11 / 01 de Junio del 2005

Durante la noche del 1 de junio y la madrugada del 02 ocurrieron explosiones con tamaño menor a las del 23 y 30 de Mayo, que causaron lluvia de ceniza al Sur y Suroeste del volcán, afectando a las Ciudades de Colima y Villa de Alvarez, así como a poblaciones aledañas. La columna eruptiva generada por esta explosión fue de 2200 m sobre el nivel del cráter (reportada en 6.1 km s.n.m.m. en [Macías et al., 2006; BGVN, 2005w8](#)).



**Figura V.4** Imágenes de las Principales Explosiones generadoras de Flujos Piroclásticos durante el 2005.

**A)** 10 de marzo del 2005. Tomada desde el NE de la ciudad de Colima. *Foto por Carlos Huerta, Diario de Colima.*

**B)** 10 de mayo del 2005. B1) Desde estación Naranjal -15 km al S del Volcán. B2) Desde estación Nevado 5.3 Km al N del Volcán. *Cámara Web OVUC.*

**C)** 15 de mayo del 2005 C1y C2) Desde estación Nevado 5.3 Km al N del Volcán. C2 tomada 15 seg después que C1. *Cámara Web OVUC.*

**D)** 23 de mayo del 2005. D1) Tomada desde la comunidad de la Yerbabuena (SW del Volcán) *Foto por Salvador Jacobo Morán, Diario de Colima.* D2

y D3) Desde Estación Naranjal- 15 Km al S del Volcán. D3 tomada 15 seg después que D2. *Cámara Web OVUC.* D4) Secuencia de la explosión y

formación de FP tomadas desde Estación Nevado a 5.3 km al N del Volcán de Colima. *Foto de AP/Protección Civil Jalisco/Agencia Noticias EFE.*

**E)** 30 de mayo del 2005. E1) Desde Estación Naranjal -15 km al S del Volcán. E2) Desde Estación Nevado 5.3 Km al N del Volcán. *Cámara Web OVUC.*

**F)** 05 de junio del 2005. F1) Secuencia de inicio de explosión desde Estación Nevado *Foto de AP/Guillermo Arias.* F2) Secuencia de Emplazamiento

de Flujo Piroclástico. *Foto de AP/Guillermo Arias/ José Guadalupe Landín*

**G)** 16 de septiembre del 2005. G1) Explosión y desarrollo de FP desde Carretera a Guadalajara y G2) Desde Cd. de Colima. *Fotos de Nick Varley*



Cinco horas después [CIUCA-OVUC](#) detectaron por medio de imágenes satelitales una nube de ceniza a 62 km del volcán, sobre la Laguna de Cuyutlán (SSE) cubriendo un área de 40 por 29 km. Según el [VAAC](#) la nube de ceniza se desplazó a una velocidad promedio de 20 km/h.

### V.2.12 / 05 de Junio del 2005

Esta explosión fue la explosión con mayor amplitud sísmica en los 20 años de existencia del monitoreo sísmico en Colima y muy posiblemente desde la fase pliniana de 1913. Según [RESCO \(Red Sismológica Telemétrica del Estado de Colima\) –OVUC \(Observatorio Vulcanológico de la Universidad de Colima\)](#) esta explosión fue 3.14 veces más grande que la del 17-Jul-99 (explosión referencia) y poco mayor a la del 30 de Mayo.

Esta gran explosión generó los flujos piroclásticos más distales en la barranca Montegrande, alcanzando 5.1 km en línea recta desde el cráter. Produjo algunos incendios forestales leves. Según los registros sísmicos, el flujo piroclástico consistió en dos pulsos principales, con una duración total de más de 600 seg. En la *Figura V.4 F1 y F2* se observa una excelente secuencia fotográfica que muestra la explosión de este día, el colapso de la columna eruptiva y la formación de los flujos piroclásticos desarrollados.

La columna eruptiva alcanzó 5000 m sobre el nivel del cráter (8,900 m.s.n.m. según [BGVN, 2005w8 y VAAC, 2005h](#)). La nube de ceniza se distribuyó con dirección Sur-Sureste a una velocidad de entre 30-35 km/h. Por ende, fue reportada caída de ceniza en la Ciudad de Cuauhtémoc, Colima, Comala y Villa de Álvarez ([DdeC,2005d- Protección Civil Colima](#)). El aeropuerto Nacional de Buenavista, Colima, permaneció cerrado por más de 12 horas con el objetivo de limpiar las pistas de aterrizaje y garantizar la seguridad en el ascenso y descenso de las aeronaves ([Protección Civil Colima](#)) -ver *Figura V.3*-.

Debido a que esta explosión fue durante el día, afortunadamente se cuenta con diversos testigos de la explosión. Según un oficial del Sistema Estatal de Protección Civil que se encontraba en la población de Juan Barragan, Jalisco (9 Km al SE del volcán), la onda de choque producida por la explosión fue tan fuerte que estuvo a punto de derribarlo, mismo efecto fue descrito por algunas personas que se encontraban en la Estación Nevado (a 5.3 km al N del Volcán). Del mismo modo, en Juan Barragán se reportaron ventanales rotos y lesiones menores de oído en una persona. En la población de San Marcos, Jalisco (14 Km al SE del Volcán) se registraron daños similares a los anteriormente descritos ([Macías et al., 2006; J.C. Gavilanes, com. Personal](#)).



### V.2.13 / 09 de Junio del 2005

Explosión de mucho menor intensidad que la del 05 de junio (ver *Tabla V.1*), pero con la particularidad de haber sido la explosión posiblemente más ruidosa del 2005 (Macías et al., 2006). Se escuchó y sintió en todas las poblaciones cercanas, incluyendo la Ciudad de Colima y Villa de Alvarez .

Algunos habitantes de la población de Juan Barragán, Jalisco, describieron que minutos después de esta explosión se escuchó un fuerte sonido similar a un “río de rocas” bajando por la Barranca de la Arena, en el flanco sureste del Volcán de Colima. Este flujo piroclástico alcanzó una distancia poco mayor a 5.6 km, por lo que es el flujo piroclástico de mayor alcance desde 1913 en la Barranca La Arena . Este flujo piroclástico se compuso de 4 pulsos, con duración total de 785 seg (ver tabla V.1).

La columna eruptiva superó los 3000 m de elevación sobre el cráter; las cenizas viajaron en dirección sur, a una velocidad promedio de 55 Km/h, llegando a la ciudad de Colima en las horas siguientes a la explosión –ver imagen V.3- (VAAC, 2005i).

### V.2.14 / 05 de Julio del 2005

Generó flujos piroclásticos hacia el flanco sureste del Volcán, principalmente dirigidos hacia la Barranca de La Arena, alcanzando 4.8 km de distancia. La columna eruptiva reportada fue de 5200 m sobre el nivel del cráter, según el BGVN, 2005w9; sin embargo, no existe claridad sobre el valor reportado para la altura de esta columna, debido a que no corresponde a uno de los eventos de mayor producción de depósitos piroclásticos durante el 2005. La ceniza se desplazó hacia el noroeste a una velocidad cercana a los 30 km/h (VAAC, 2005j). Según personal de PC Colima, se reportaron caída de ceniza en las comunidades de La Yerbabuena y la Becerrera (a 8 y 12 km del cráter, respectivamente).

Personal de Ciencias de la Tierra de la Universidad de Colima (J.G. Landín, com. Personal) que fueron testigos presenciales del evento, describen el avance de la onda de choque, como una región de velocidad mayor que sacudió la vegetación de las zonas bajas del volcán (Macías et al., 2006). Esta explosión fue relativamente menor comparada con el evento explosivo de referencia (17-Jul-99).



### V.2.15 / 27 de Julio del 2005

Explosión menor que las previas (0.22 comparada con el 17-jul-09) pero que generó una columna eruptiva de altura considerable -4000 m sobre el cráter-. La ceniza se dispersó hacia el suroeste con velocidad de entre 28 y 45 km/h (VAAC, 2005k). Generó un flujo piroclástico con alcance máximo de 3.8 km sobre la Barranca de Montegrande. De acuerdo al análisis sísmico, la duración del emplazamiento de los flujos piroclásticos fue de alrededor de 480 segundos en dos pulsos.

### V.2.16 / 16 de Septiembre del 2005

Previo a esta explosión, el OVUC reportó intensa microsismicidad, la cual está en ocasiones asociada como precedente de explosiones volcánicas moderadas a intensas. Este mismo patrón se observó, aunque no de manera tan clara, en otras explosiones durante el 2005 (BGVN, 2006).

La columna eruptiva generada alcanzó cerca de 5000 m sobre el cráter (BGVN, 2006; BGVN, 2005w10). Presumiblemente, esta es una de las columnas eruptivas más grandes; sin embargo, al igual que para la erupción del 05 de julio, este no corresponde a uno de los eventos de mayor producción de depósitos piroclásticos durante el 2005, por lo que los valores reportados por el Boletín del GVN –previamente mencionado- quedan en duda. El viento predominante dispersó la columna hacia el W con una velocidad aproximada a los 30 km/h (VAAC, 2005l). Caída de ceniza fue reportada en las poblaciones de Atenquique y el Borbollón, además que la onda sonora generada por la explosión fue escuchada hasta la Ciudad de Colima (DdeC,2005e- PCC). No se reportaron daños ni afectaciones a las poblaciones cercanas al Volcán.

El flujo piroclástico generado se distribuyó principalmente hacia las Barrancas del Sur (Montegrande) y Sureste (La Arena). Un par de fotografías de la columna eruptiva y de los flujos piroclásticos descendiendo por los flancos antes mencionados se observan en la *Figura V.4 G1 y G2*. Se estima que la duración de este flujo fue muy corta, apenas superando un minuto (85 segundos).

### V.2.16 / 27 de Septiembre del 2005

El 27 de septiembre a las 05:07 hrs, una explosión produjo una columna con una altura de 3900 m sobre el nivel del cráter. La pluma viajó hacia el dirección oeste-suroeste, depositando pequeñas cantidades de ceniza en las ciudades de Colima, Villa de Álvarez y Comala. El OVUC estima que esta explosión fue la mitad de intensa que la explosión parámetro de 1999 (BGVN, 2006).



Esta fue la última explosión significativa de la secuencia del 2005. Se observa claramente que después del evento del 05 de junio del 2005, las explosiones decrecieron significativamente en energía. Así, pequeñas explosiones continuaron ocurriendo de octubre hasta febrero del 2006 produciendo columnas de ceniza de corta altura visible. La explosión del 12 de diciembre del 2005 generó pequeñas cantidades de ceniza que depositaron en las áreas al SW del volcán, siendo el último evento del año 2006. ([BGVN, 2006](#); [BGVN, 2005w11](#)).

Es muy importante hacer notar que los datos del RESCO (Red Sismológica telemétrica del Estado de Colima) que se han nombrado en los eventos explosivos previos son nada más una descripción de la sismicidad y no necesariamente un reflejo de la magnitud ni intensidad de la explosión. Las comparativas de las explosiones con referencia a explosiones previas y particularmente a la base del 17 de julio del 1997 no son comparaciones efectivas de energía liberada, sino solamente una comparativa burda con base en la amplitud de la señal sísmica generada. Este análisis comparativo de la RESCO-OVUC fue hecho rápidamente después de los principales eventos explosivos, sin embargo carece de un soporte científico robusto. Un cálculo de mayor validez es el método de desplazamiento reducido (*reduced displacement*) descrito por [Varley et al., 2010](#) para las erupciones vulcanianas del Volcán de Colima durante el 2005. Esto puede ser correlacionado con la energía sísmica de cada evento.



## CAPÍTULO VI

# ESTRATIGRAFÍA Y DISTRIBUCIÓN DE FACIES

### VI.1 / Parametros Descriptivos

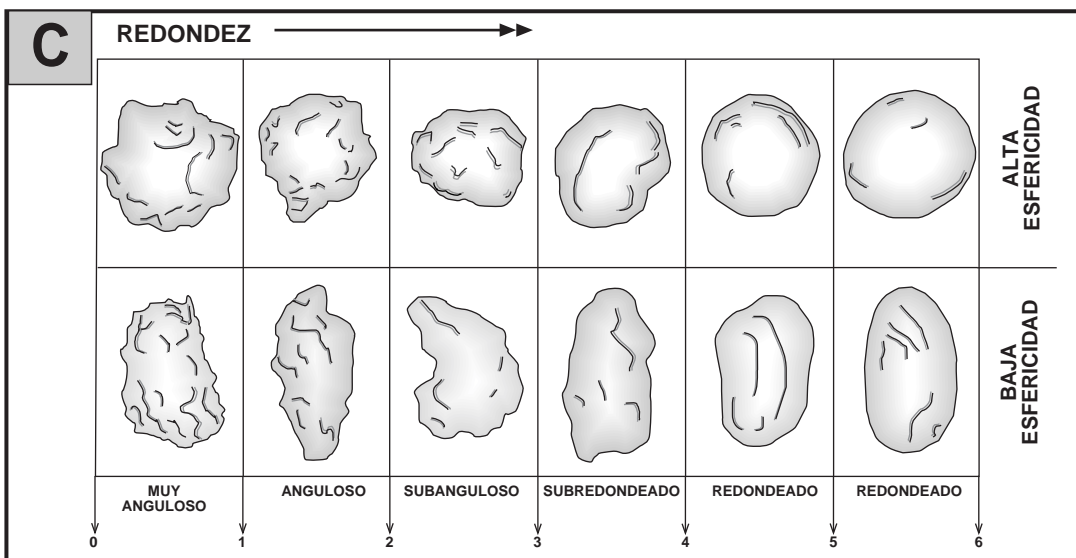
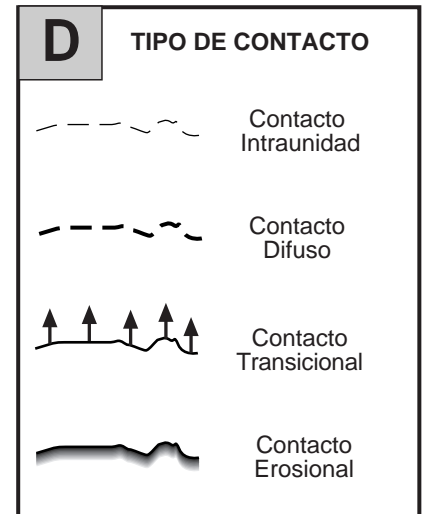
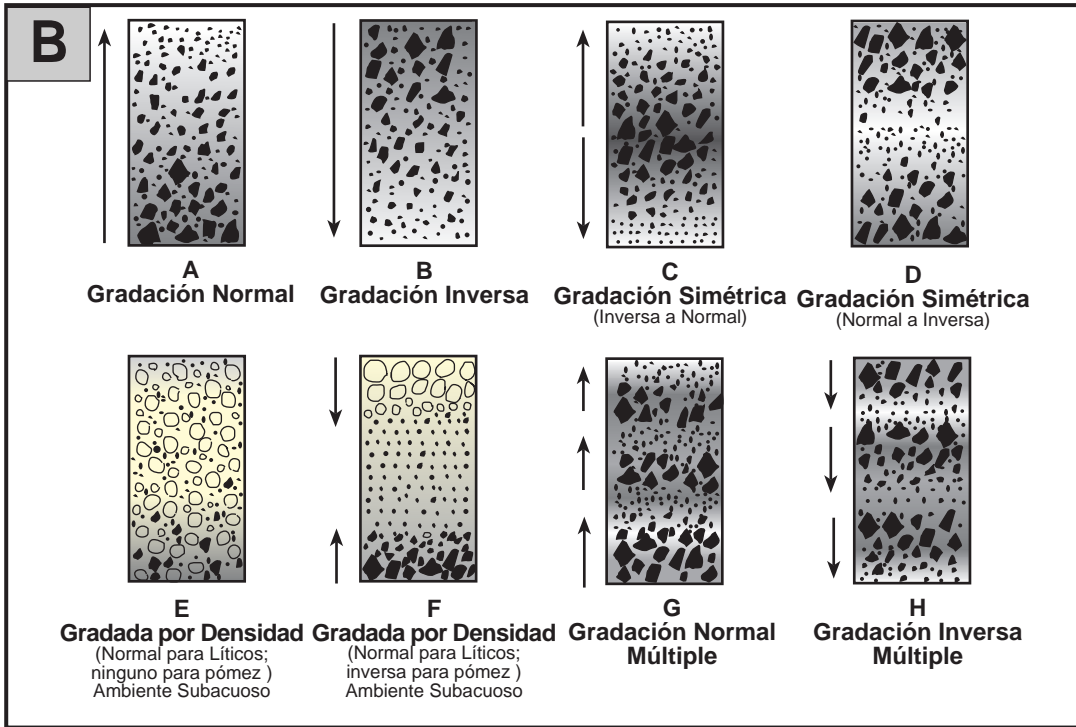
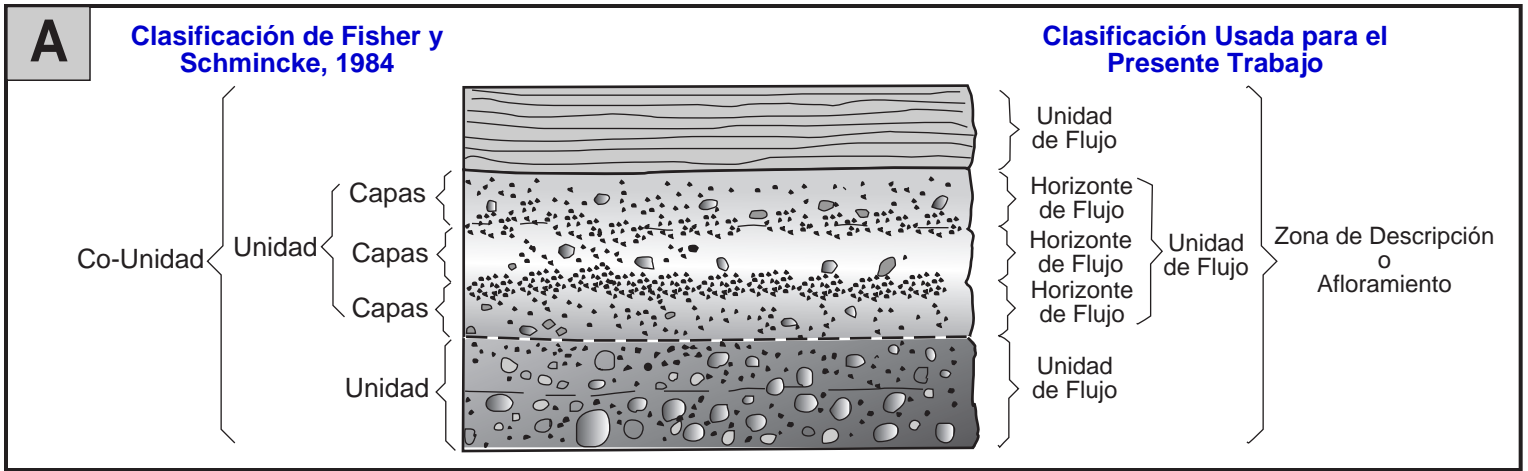
En este capítulo se describe de manera detallada las columnas estratigráficas levantadas en los diferentes afloramientos visitados en campo. Como ya se mencionó en la Sección IV.2 (Trabajo de Campo), la metodología aplicada para la descripción efectiva de los depósitos piroclásticos en el Volcán de Colima consiste en varios pasos que aplicados de manera sistemática, nos pueden brindar una cantidad significativa de datos. La descripción de los principales afloramiento se llevó a cabo con base en la *Tabla IV. 1*. En la sección *Apéndice 3* se describen algunos de los parametros estudiados para la descripción general y particular del Depósito. Además se describen las características más comunes encontradas en el Volcán de Colima para los flujos piroclásticos del 2005 (FP 2005).

### VI.2 / Estratigrafía y Distribución Espacial de los Depósitos

Los flujos piroclásticos que depositaron tanto en la Barranca de Montegrande (flanco sur), como en la Barranca de La Arena (flanco sureste), tendieron a nivelar la topografía, rellenando algunas zonas de las barrancas y creando superficies de flujo relativamente planas. Algunas muestras fueron tomadas de dichas superficies y principalmente de los frentes lobulares de los flujos piroclásticos prístinos. Después de los temporales de lluvia, la erosión fue creando barrancas profundas con exposiciones verticales de los principales depósitos de FBC. El muestreo sistemático se llevó a cabo en estas exposiciones. Es importante mencionar que el temporal del lluvias del año 2005 inició tarde (últimos días de junio), por lo cual la erosión solamente afectó a los flujos depositados durante julio y septiembre, mientras que la secuencia de febrero a junio tuvo la oportunidad de depositar continuamente sin interrupción de erosión por lahares.

Los depósitos fueron estudiados en 10 afloramientos a lo largo de poco más de 5 km de sección longitudinal sobre la barranca Montegrande, en el flanco sur del Volcán de Colima. De estos 10 afloramientos, en 7 se hizo descripción estratigráfica detallada y se recolectaron muestras; en los 3 restantes solo se realizaron las descripciones. De igual forma, en la Barranca de la Arena (en el flanco sureste del volcán), se trabajó en 6 sitios de donde se tomaron muestras y se llevó a cabo descripción estratigráfica detallada en 3 afloramientos restantes solamente se hizo descripción.





**Figura VI.1** Algunos de los principales parámetros estratigráficos descritos en los afloramiento de flujo piroclástico.  
**A)** Comparativa de rangos de estratificación. Izq- clasificación de *Fisher y Schmincke (1984)* Der- clasificación propuesta  
**B)** Diagramas de gradación y su nomenclatura. Las flechas indican la dirección hacia tamaños de grano finos en la secuencia. Los círculos abiertos abiertos son pómez. Fragmentos sólidos irregulares son líticos y los puntos son material de tamaño de ceniza. Clasificación tomada de *Fisher y Schmincke (1984)* .  
**C)** Tabla para estimación visual de esfericidad y redondez, propuesta por *Powers (1953)*.  
**D)** Tipos de contactos estratigráficos propuestos para las columnas estratigráficas dibujadas.

Tamaño	Phi	Depósitos Sedimentarios (Blair y McPherson, 1999)		Depósitos Volcánicos (Sohn y Chough, 1989)		Depósitos Volcánicos (Sarocchi, 2006)											
32.8-65.4 m	-15	muy grueso	Bloque	grueso	Bloque		Mega-Bloque										
16.4-32.8 m	-14	grueso															
8.2-16.4 m	-13	mediano															
4.1-8.2 m	-12	fino															
2.05-4.1 m	-11	muy grueso	Canto			grueso	Bloque		Bloque								
1.02-2.05 m	-10	grueso															
0.51-1.02 m	-9	mediano															
256-512 mm	-8	fino															
128-256 mm	-7	grueso	Guijarro					grueso	Lapilli		Lapilli						
64-128 mm	-6	fino															
32-64 mm	-5	muy gruesa	Grava	grueso	Lapilli							Lapilli					
16-32 mm	-4	gruesa															
8-16 mm	-3	mediana															
4-8 mm	-2	fina															
2-4 mm	-1		Granulo			grueso	Lapilli						Lapilli				
1-2 mm	0	muy gruesa	Arena											gruesa	Ceniza		Ceniza
0.5-1 mm	1	gruesa															
0.5-1 mm	2	mediano															
250-500 µm	3	fino															
125-250 µm	4	muy fino	Limo					mediana	Ceniza		Ceniza						
63-125 µm	5	grueso															
31-63 µm	6	mediano															
15-31 µm	7	fino															
8-15 µm	8	muy fino	Arcilla	fina	Ceniza							Ceniza					
4-8 µm	9																
2-4 µm	10																
1-2 µm	11																
0.5-1 µm	12																
0.25-0.5 µm	13																
0.12-0.25 µm	14																

**Figura VI.2**

Escalas granulométricas utilizadas en sedimentología y la comparativa con vulcanología.  
Para la presente tesis usaremos la clasificación propuesta por Sarocchi (2006) por las razones expuestas en el texto.

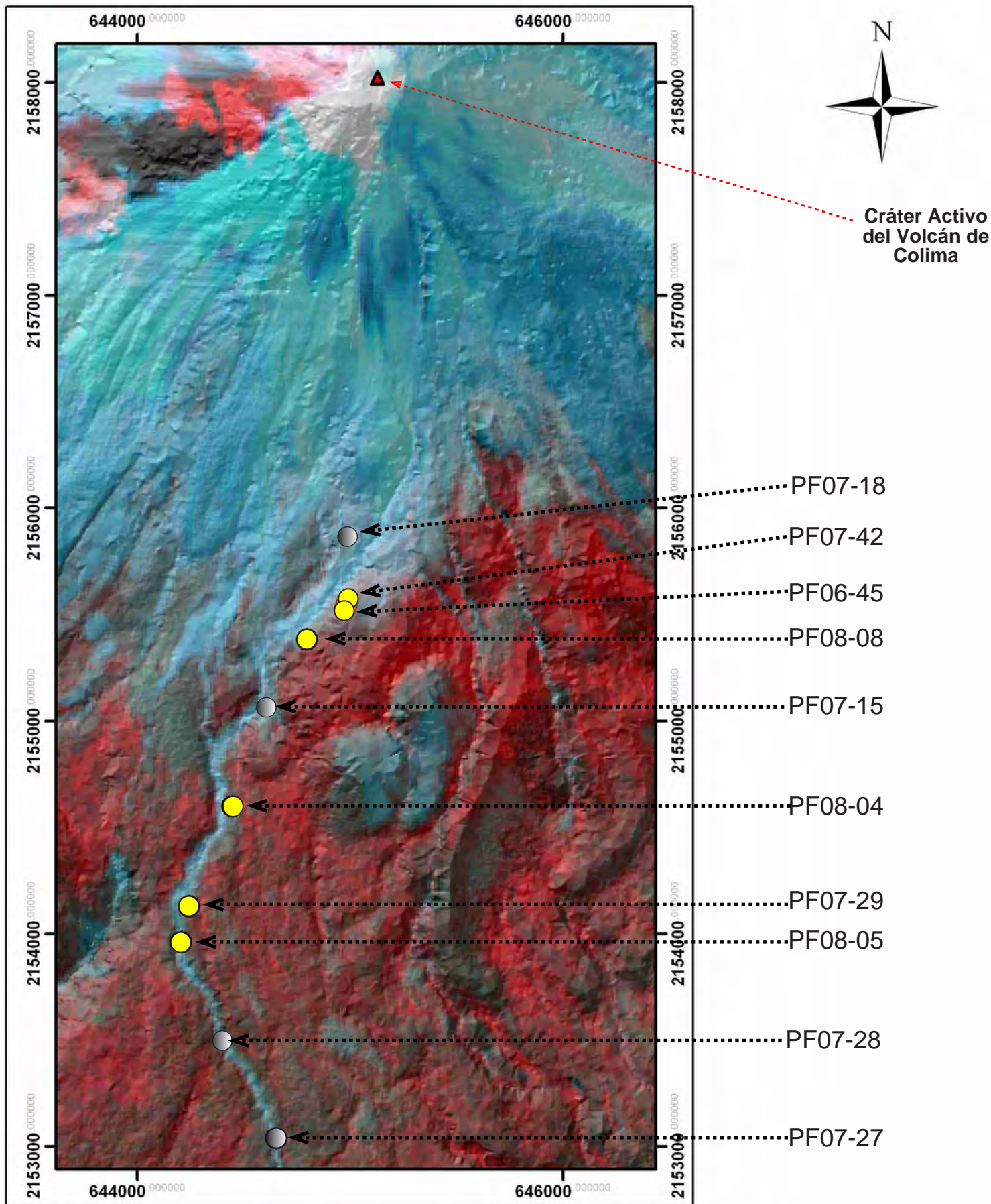


En la *Tabla VI.1* y *VI.2* se muestra la ubicación y detalles de los afloramientos estudiados en la Barranca de Montegrande y La Arena, respectivamente. La *Figura VI. 3* marca la ubicación de los principales afloramientos estudiados (puntos de control con muestreo) y algunos otros afloramientos descritos sin muestreo detallado en la Barranca de Montegrande. La *Figura VI. 4* muestra las mismas características pero sobre la Barranca de La Arena. Los afloramientos estudiados, fueron aquellos que presentaron las mejores condiciones de preservación y accesibilidad. En muchas zonas se tuvo la oportunidad de muestrear y describir adecuadamente el afloramiento; sin embargo, en otros puntos el espesor y la pobre compactación de las unidades de flujo limitó la recolección sistemática de las muestras.

**Tabla VI.1**

Afloramientos principales dentro de la Barranca de Montegrande (flanco sur) en donde se estudiaron los FBC producidos en el 2005. El nombre de los afloramientos y muestras se divide en PF= Flujo Piroclásticos, 05= el año de descripción y recolección (en este caso 2005) y -031, el número de muestra acumulada durante el año de estudio. Las muestras con asterisco son puntos de control pero sin muestreo. Las distancias mostradas son tomadas: a) en línea recta desde el cráter hasta el afloramiento ó b) medidas sobre el Modelo Digital de Elevación (MDE) usadas para el cálculo de volúmenes. En lo sucesivo usaremos la distancia en línea recta para referirnos a la posición de los afloramientos.

Afloramiento	Coordenadas	Distancia en línea recta	Distancia medida en MDE	Muestras Tomadas
<b>PF07-18 **</b>	644628 E 2156059 N 2727 msnm	1957 m	2092 m	
<b>PF07-42</b>	644985 E 2155558 N 2615 msnm	2400 m	2758 m	PF07-42 (A); PF07-42 (B); PF07-42 (B)-low; PF07-42 (B) cont inf; PF07-42 (C) cont inf; PF07-42 (D).
<b>PF06-45</b>	644973 E 2155524 N 2612 msnm	2443 m	2921 m	PF06-45 (1); PF06-45 (2); PF06-45 (3); PF06-45 (4); PF06-45 (5).
<b>PF08-08</b>	644798 E 2155382 N 2604 msnm	2597 m	3089 m	PF08-08 (A1); PF08-08 (A2); PF08-08 (B1); PF08-08 (B2).
<b>PF07-15 *</b>	644462 E 2154966 N 2555 msnm	3061 m	3714 m	
<b>PF08-04</b>	644447 E 2154597 N 2520 msnm	3426 m	4020 m	PF08-04 (A1); PF08-04 (A2); PF08-04 (A3); PF08-04 (B1); PF08-04 (B2).
<b>PF07-29</b>	644243 E 2154128 N 2288 msnm	3926 m	4500 m	PF07-29 (A) low; PF07-29 (A) med; PF07-29 (A) high; PF07-29 (A) 3l2; PF07-29 (A) 3h2;
<b>PF08-05</b>	644205 E 2153960 N 2301 msnm	4098 m	4755 m	PF08-05 (A); PF08-05 (B1);
<b>PF07-28 *</b>	644256 E 2153726 N 2249 msnm	4317 m	5006 m	
<b>PF07-27 *</b>	644652 E 2153036 N 2130 msnm	4947 m	5850 m	



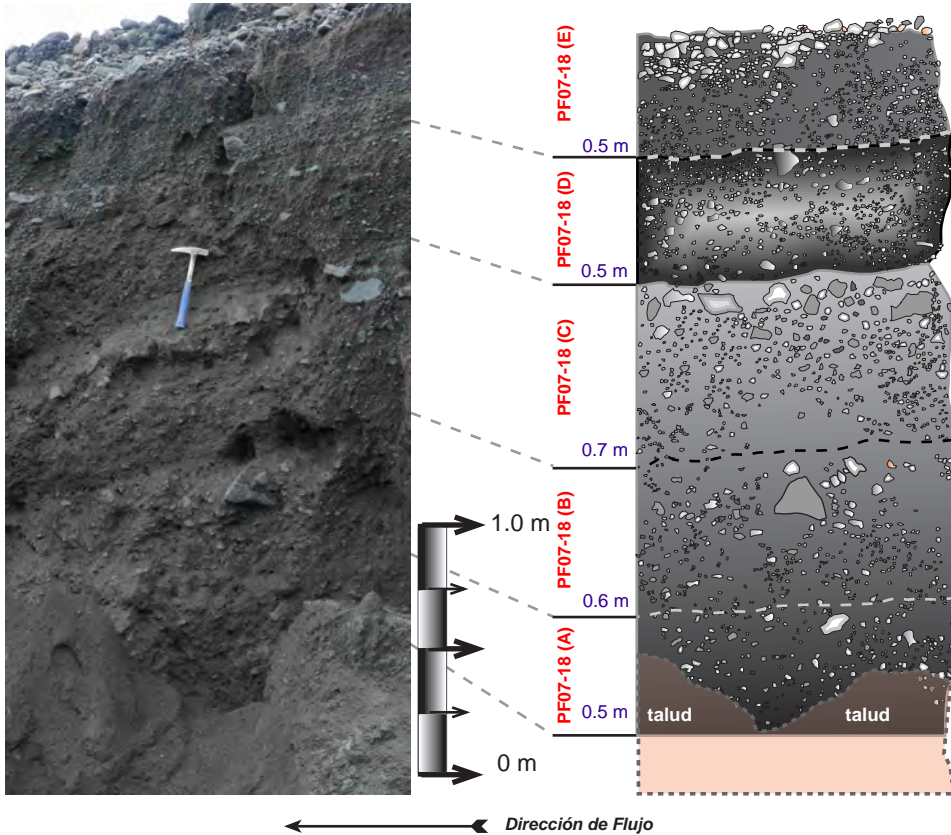
**Figura VI.3**

Ubicación de las principales *Zonas de Descripción o Afloramientos* en la Barranca de Montegrando, sobre el flanco sur del Volcán de Colima. Los puntos amarillos indican los afloramientos más importantes, en donde se hizo una descripción y muestreo completo que después será usada en las correlaciones estratigráficas. Los puntos negros indican afloramientos de control en los que se hizo descripción, pero que no son usados para la correlación, sin muestreo. Las características de todos los puntos se muestran en la Tabla VI.1. Imagen de Fondo: combinación de Modelo de Elevación derivado de LIDAR (INEGI, 2005) y una imagen ASTER VNIR, 2006 (combinación RGB) (imagen proporcionada por Lucia Capra).



**Afloramiento / Columna Estratigráfica PF07-18**

Distancia desde el cráter: 1957 m  
 Coordenadas: 644628 E, 2156059 N, 2727 msnm



**Descripción Estratigráfica de Campo (por Unidad de Flujo)**

**PF07-18 (E)** : color gris oscuro a negro, de estructura masiva general, bajo grado de compactación y gradación inversa visible. El grado de selección es moderado a bajo en la base y moderado a bueno hacia la cima. El soporte general es de matriz (85%) de ceniza fina a media general, con importante contenido de líticos vítreos y algunos minerales subangulosos. La unidad de flujo está compuesta de fragmentos andesíticos (unidad monolitológica), de entre 1 a 10 cm, siendo más predominantes los de 2 cm, subangulosos a subredondeados, no presenta variaciones laterales considerables excepto la acumulación de algunos líticos hacia la cima. El contacto inferior es difuso, no presenta estructuras de desgasificación ni vegetación visible.

**PF07-18 (D)**: color gris a negra con ciertas zonas de tonalidades más claras, espesor de 0.5 m, estructura general masiva-granular, de bajo grado de compactación, gradación simétrica normal a inversa. Selección moderadamente buena. Soportada por matriz, con un porcentaje de entre 70-75%, de tamaño de ceniza gruesa a media con importante contenido de cristales de plagioclasa libres (40%), fragmentos vítreos dispersos y pequeños líticos andesíticos color rojizo ladrillo (ceniza fina a media). Los componentes principales son andesitas vítreas de fractura prismática y en menor proporción bloques frescos vesiculados. Su tamaño predominante es de 5 cm, con algunos bloques de hasta 10 cm máximo, con un promedio de bloques de 6 cm. Predominan los fragmentos subangulosos y subredondeados de baja esfericidad. No presenta variaciones considerables de espesor ni en las características texturales hacia su cima. El contacto inferior es finamente erosivo. No se observan estructuras de desgasificación o vegetación, pero si marcada acción erosiva intensa hacia la cima del depósito.

**PF07-18 (C)**: gris oscura con zonas claras, de 0.7 m de espesor, masiva, pobremente compactada, gradación moderadamente inversa, inclinada en ciertos puntos, de selección diferenciada y moderadamente buena. El depósito está soportado por matriz (80%) contra un 20% de bloques. Al igual que el depósito anterior, la matriz presenta cristales de plagioclasa libres y algunos líticos vítreos, pequeños fragmentos rojizos son menos predominantes, así como un contenido de ceniza muy gruesa y lapilli muy fino. Presenta una abundancia de bloques andesíticos de matriz vítrea de entre 7-10 cm (promedio) y algunos de hasta 15 cm, moderadamente subangulosos (de baja a moderada esfericidad). De características granulométricas estables, con granulometría ordenada y bien clasificada, a excepción de algunos bloques andesíticos poco mayores a 15 cm que contrastan con la matriz y fragmentos finos. El contacto inferior es difuso. No se observan tubos de desgasificación. Tampoco vegetación relicta sana o afectada por calor.

**PF07-18 (B)**: gris verdosa a negra, de estructura masiva, pobre compactación, con gradación general simétrica, selección moderada a mala. La mayor parte de la unidad está soportada por matriz, con un porcentaje de 70% vs 30% de líticos. La matriz presenta color negro-verdoso con mayoría de fragmentos vítreos, finamente pulverizados, escaso contenido de alterados y porciones de minerales de plagioclasa y otros accesorios. La matriz presenta tamaño de ceniza media en la mayor parte del depósito, a excepción del contacto con PF07-18(C) donde existe predominancia de ceniza fina a muy fina. Los bloques son monolitológicos (andesita) pero de diferentes texturas, siendo los de matriz gris (40%) y los alterados rojizos -color ladrillo- (20%) los más abundantes. Principalmente subangulosos de baja esfericidad. La base del depósito es relativamente pobre en bloques y rica en matriz, mientras que hacia la cima va gradando en bloques mayores (más bloques y menos matriz).

**Descripción Estratigráfica de Campo** (*por Unidad de Flujo*) - continuación

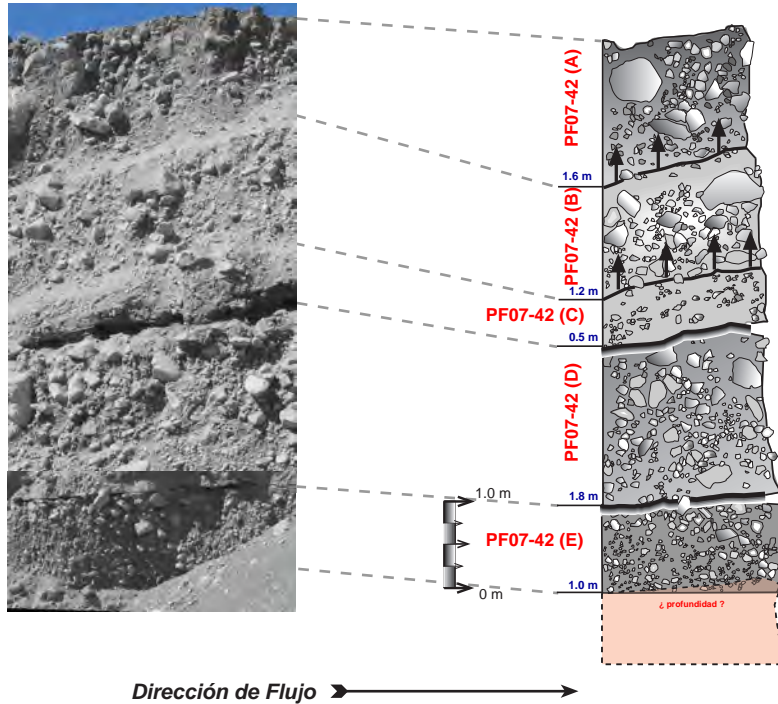
difuso, al igual que el superior. No presenta estructuras de desgasificación ni vegetación.

**PF07-18 (A):** color negro-verdoso, de 0.7 m de espesor, estructura masiva, pobre compactación, gradación discretamente inversa, de selección buena, unidad soportada por un 65% de matriz vs 35% bloques. La matriz es de color negro de tamaños entre cenizas gruesas y medias, ricas en cristales de plagioclasa, fragmentos vítreos y de roca rojiza (probablemente alterada), con algunos fragmentos accesorios. Los bloques presentes son de diferentes texturas y tamaños, pero todos andesíticos. Los más significativos son de matriz vítrea y fenocristales de plagioclasa moderadamente grandes. Otros fragmentos tienen menor contenido de matriz vítrea, con variaciones a matriz grisacea moderadamente escoriaea. Presuntos bloques alterados tienen una matriz de color café-rojizo. El tamaño general de los líticos oscila entre lapilli muy fino a fino (de entre 3-5 cm), cuyos fragmentos mayores no exceden los 10 cm (lapilli muy grueso). Presenta rasgos de subangulosidad con baja esfericidad. El contacto inferior no es visible porque está cubierto por talud es difuso. Sin estructuras de desgasificación ni vegetación.

**Afloramiento / Columna Estratigráfica PF07-42**

Distancia desde el cráter:  
2400 m

Coordenadas:  
644985 E  
2155558 N  
2615 msnm



**Descripción Estratigráfica de Campo (por Unidad de Flujo)**

**PF07-42 (A):** color gris oscuro, 1.6 m de espesor, masivo, bajo grado de compactación. No existen rasgos de gradación evidentes, salvo algunas pequeñas áreas donde zonas se observa incipiente gradación inversa. La unidad de flujo está soportada por matriz, con variaciones a zonas ricas en líticos (promedio global: matriz 60% vs líticos 40%). La matriz se compone de ceniza gruesa a muy gruesa de fragmentos líticos y concentración menor de cristales. Presenta una mezcla de diferentes tipos de líticos (rojizos, de fractura vítrea y otros alterados), pero todas son muestras homolitológicas andesíticas. El tamaño de líticos oscilan entre 10-55 cm, con tamaño dominante de 15 cm; de formas subangulosas a subredondeadas, de baja a moderada esfericidad. Variaciones laterales considerables por el aumento de tamaño de líticos en los afloramientos localizados pendiente abajo. El contacto con la unidad de Flujo inferior (PF07-42 B) es transicional, marcado por una mayor concentración de finos. No presenta estructuras de desgasificación, ni vegetación.

**PF07-42 (B):** color gris claro, espesor de 1.2 m de espesor, masiva, con zonas de alineación burda de clastos alargados, baja compactación, gradación no evidente y la selección es moderadamente mala. La unidad de flujo es casi siempre soportada por matriz, pero algunas pequeñas zonas hacia la cima del flujo son clasto-soportadas; la matriz es de ceniza media a gruesa. Es andesítica monolitológica, con clastos de entre 10 y 90 cm, pero tamaño dominante de 20 cm, angulosos y subangulosos de baja esfericidad. El depósito se acuña hacia el Norte y aumenta la proporción de fragmentos finos con respecto a la proporción de bloques. El contacto inferior es transicional. No presenta estructuras de desgasificación, ni vegetación clara.

**PF07-42 (C):** gris claro, de 0.5 m de espesor, estructura masiva, mala compactación, gradación burdamente simétrica y moderada a buena selección. Ampliamente soportado por matriz (85% matriz vs 15% bloques). Compuesta de fragmentos andesíticos, de tamaño de entre 2 y 5 cm, subredondeados a subangulosos de alta esfericidad. Sin variaciones laterales evidentes, el contacto inferior es erosional, sin estructuras de desgasificación ni vegetación.

**PF07-42 (D):** color gris medio, de 1.8 m, masiva moderadamente caótico, de baja compactación. Presenta gradación inversa, de buena selección en la zona superior de la Unidad de Flujo y moderada a baja en la base del mismo. Importante homogeneidad vertical y lateral de rasgos texturales. Soporte de clasto hacia la cima y soporte de matriz en la parte baja de la Unidad. La unidad es andesítica monolitológica; los bloques varían entre 15 y 200 cm, pero el rango predominante es de 25 cm. La mayoría de los bloques son subangulosos con variaciones entre baja y alta esfericidad; no se observa orientación preferencial de estos. El contacto inferior es erosivo.

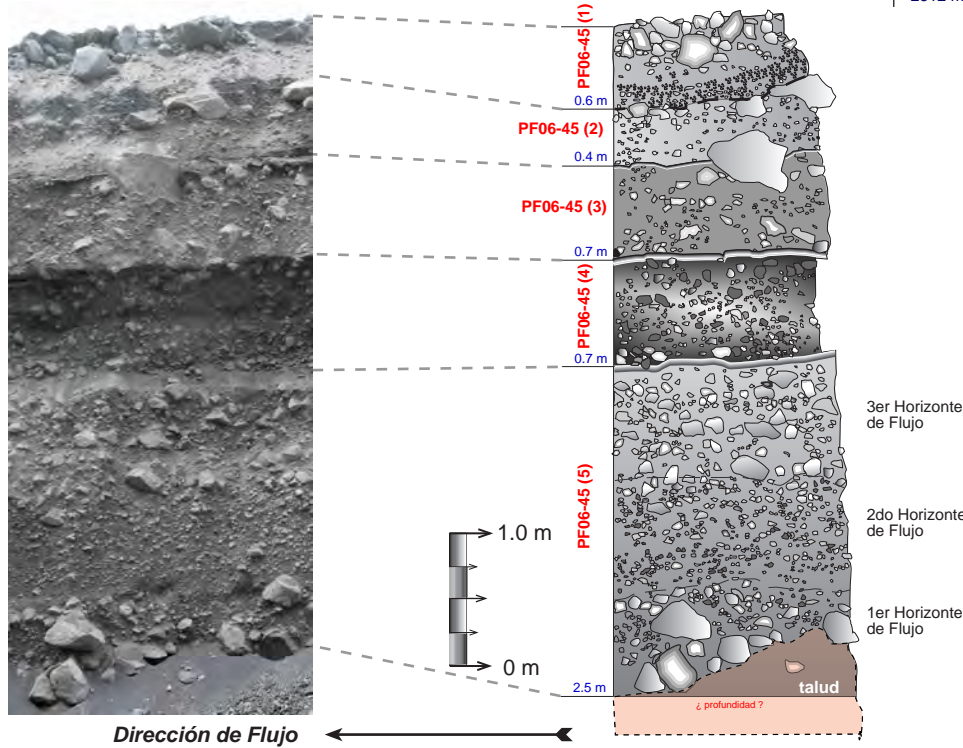
**PF07-42 (E):** color gris con tonalidades marrón, estructura masiva, de baja compactación, con gradación finamente inversa y una selección general moderada a buena. La unidad es soportada por matriz (65% matriz vs 35% bloques), siendo la matriz predominantemente del tamaño de ceniza gruesa a muy gruesa. Los bloques de la unidad de flujo son andesitas con variaciones leves en su textura. El tamaño oscila entre 10-25 cm en los clastos de la cima y 5-12 cm en los de base, con un promedio de 8 cm. Los más predominantes son angulosos y subangulosos de alta a moderada esfericidad. Presenta homogeneidad de rasgos texturales, pero lateralmente, en dirección Norte se observa acumulación de bloques hacia la cima. No aflora la base de este depósito (cubierta por talud). Sin estructuras de desgasificación o vegetación entre la Unidad de Flujo.



**Afloramiento / Columna Estratigráfica PF06-45**

Distancia desde el cráter: 2443 m  
 Coordenadas: 644973 E, 2155524 N, 2612 msnm

**Descripción Estratigráfica de Campo (por Unidad de Flujo)**



**PF06-45 (1):** color gris oscuro, 0.6 m de espesor, estructura masiva con estratos irregulares interrumpidos (posible producto erosivo de lahares). Baja compactación, gradación inversa notable, selección moderadamente mala en su base y buena hacia la cima. Depósito soportado por matriz en su base (aproximadamente 80% matriz vs. 20% bloques), pero clasto-soportado en los últimos 30 cms hacia la cima. La matriz está compuesta de ceniza gruesa a muy gruesa hasta lapilli muy fino. Los componentes presentan características andesíticas (monolitológicas), pero de importante variación textural dentro de la Unidad de Flujo. Los más importantes son fragmentos de matriz vítrea (posibles juveniles) 40%, bloques de matriz verdosa frescos (andesíticos) 25%, bloques vitreos con vesicularidad importante (10%) y pequeños fragmentos de color rojizo-naranja de cierta vesicularidad (10%). El tamaño dominante es de 3 cm, con un rango entre 1 y 20 cm y promedio de 7 a 10 cm. La mayoría son subredondeados a subangulosos de baja esfericidad. El contacto inferior es difuso en su mayor parte, no presenta estructuras de degasificación ni rasgos de vegetación o carbonizados.

**PF06-45 (2):** color gris medio a claro. Espesor de 0.4 m, con burda estratificación, evidenciada por fragmentos finos hacia la base, seguida de un alineamiento de bloques. De compactación moderada a baja, gradación inversa y una buena selección global. Soportado ampliamente por matriz (80% vs 20% bloques); la matriz es de cenizas medias a gruesas. Los bloques son andesíticos y varían entre 6 y 35 cm, con tamaño dominante de 8 cm y un promedio de 6 a 12 cm. Son subangulosos a angulosos de baja a moderada esfericidad, en general no presenta variaciones verticales y laterales considerables, a

excepción de la acumulación de ciertos bloques de mayor tamaño al Norte de la sección. Es importante hacer notar el alineamiento evidente que se presenta en algunos bloques en la parte media de la unidad de flujo, siempre en sentido del eje mayor de los mismos. El contacto inferior es finamente erosivo.

**PF06-45 (3):** color gris claro, de 0.7 m de espesor, estructura masiva con intenso contenido de bloques, grado de compactación bajo, sin gradación evidente, de selección moderadamente buena. El soporte presenta variaciones considerables, siendo la mayoría soportada clasto a clasto, con variaciones zonales de la matriz del tamaño de cenizas medias y gruesas, intercalado con lapilli muy fino disperso. La concentración de matriz existente es de 30-35%. Unidad monolitológica compuesta de andesita con variaciones texturales importantes. Predominan los vítreos que posiblemente se relacionen con material juvenil (30-35%) sobre los de color claro-verdoso, con textura porfídica vítrea y mineralogía de PI+Px (20%) y otros bloques de coloración más clara (20%). El otro 25% son fragmentos de alta densidad, con importante vesicularidad y característico color oscuro, de mineralogía PI+Opx. Varían entre 1 y 15 cm, siendo el rango más predominante de 2 a 4 cm y con un par fuera de la media de 45-50 cm. La mayoría de los bloques son subangulosos (principalmente los vítreos), mientras que los de mayor vesicularidad y alteración son subredondeados a redondeados. Presenta variación de rasgos texturales, con cambios bruscos en el límite soportado por clasto a soportado por matriz. El contacto inferior es erosional. No se observan estructuras de degasificación o vegetación dentro o en los límites de la unidad de flujo.

**PF06-45 (4):** Unidad de color gris oscuro de 0.7 m de espesor, estructura masiva, bajo grado de compactación y selección moderada a buena, gradación simétrica (de normal a inversa) y con intercalaciones zonales irregulares entre soporte por matriz y soporte clasto a clasto. El porcentaje de matriz oscila entre 40-45%, siendo esta de tamaño de ceniza gruesa a lapilli y constituida de partículas subredondeadas y pocos minerales sueltos. Los líticos andesíticos más importantes son fragmentos vítreos, con menores proporciones de alterados y vesiculados. El tamaño oscila entre los 5 y 35 cm, con una predominancia de bloques de 12 cm. La mayoría son bloques



### Descripción Estratigráfica de Campo (por Unidad de Flujo) - continuación

subredondeados de moderada a alta esfericidad. La unidad de flujo es bastante regular, con contactos superior e inferior erosionales, sin estructuras de desgasificación o vegetación existente.

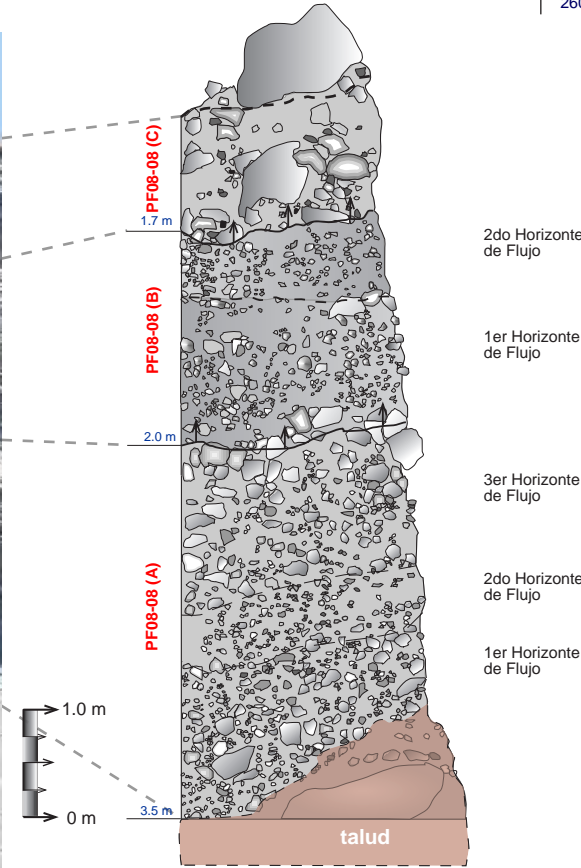
**PF06-45 (5):** color gris claro, de 2.5 m de espesor. Presenta burda estratificación debido a que la unidad de flujo está compuesta por tres horizontes moderadamente definidos. Grado de compactación bajo, en el primer y tercer horizonte, la gradación no es visible con facilidad, sin embargo, en el segundo horizonte es posible ver clara gradación inversa. El grado de selección es moderado a bueno en el 1er y 3er horizonte, malo en el 2do horizonte. Casi toda la unidad de flujo es soportada por matriz (60% matriz vs 40 bloques), el componente principal de esta es la ceniza gruesa a muy gruesa, en menores concentraciones cristales de posible plagioclasa. Los componentes principales son monolíticos (andesita) en donde se observa una mineralización aparente similar de  $PI+Px$  ( $Opx+Cpx$ )  $\gg$  Anf disperso, pero es importante marcar la diversidad textural presente, marcada por las siguientes variedades: 1) Bloques compactos, porfídicos de  $PI+Px$  (45%) 2) Bloques vítreos de  $PI+Px$  (25%) 3) Fragmentos vítreos de características vesiculares y  $PI$  (20%) 4) Fragmentos alterados color rojizo y otros (10%). El tamaño de los bloques oscila entre 2-25 cm, con un promedio de entre 6-7 cm. Van de subangulosos (vítreos) y los más vesiculados son subredondeados, ambos de baja esfericidad. El contacto superior es erosivo, mientras que la base del depósito hasta la fecha de descripción, no había sido expuesta por erosión.



**Afloramiento / Columna Estratigráfica PF08-08**

Distancia desde el cráter: 2597 m  
 Coordenadas: 644798 E, 2155382 N, 2604 msnm

**Descripción Estratigráfica de Campo (por Unidad de Flujo)**



← Dirección de Flujo

**PF08-08 (C):** color gris claro, de 1.7 m de espesor, estructura masiva con intenso contenido de bloques, grado de compactación bajo, sin gradación evidente, de selección moderadamente mala. Soportada en su gran mayoría clasto a clasto, pero hacia la cima aumenta la concentración de matriz, teniendo un porcentaje global de 30% matriz vs 70% bloques. La matriz varía del tamaño de cenizas finas a gruesas. Componentes monolitológica de andesitas con variaciones texturales importantes. Esta unidad es rica en bloques andesíticos de gran tamaño, que varían de entre 15 y 75 cm, sin embargo en la cima de todo el depósito se observan dos grandes bloques gruesos de 1.8 y 3.2 m, medidos en su eje mayor. La presencia de bloques de tal tamaño son discutidos más adelante en este capítulo. Los bloques son subangulosos y angulosos de baja redondez. La unidad varía considerablemente hacia el sur del punto tomado para descripción: pierde ampliamente su contenido de matriz y el flujo queda con una marcado soporte clasto a clasto, de mala selección y sin gradación evidente. El contacto inferior es transicional. Debido al fuerte proceso erosivo que se observa en esta unidad de flujo, es complicado marcar la presencia de estructuras de desgasificación. No hay vegetación sana o carbonizada en la zona.

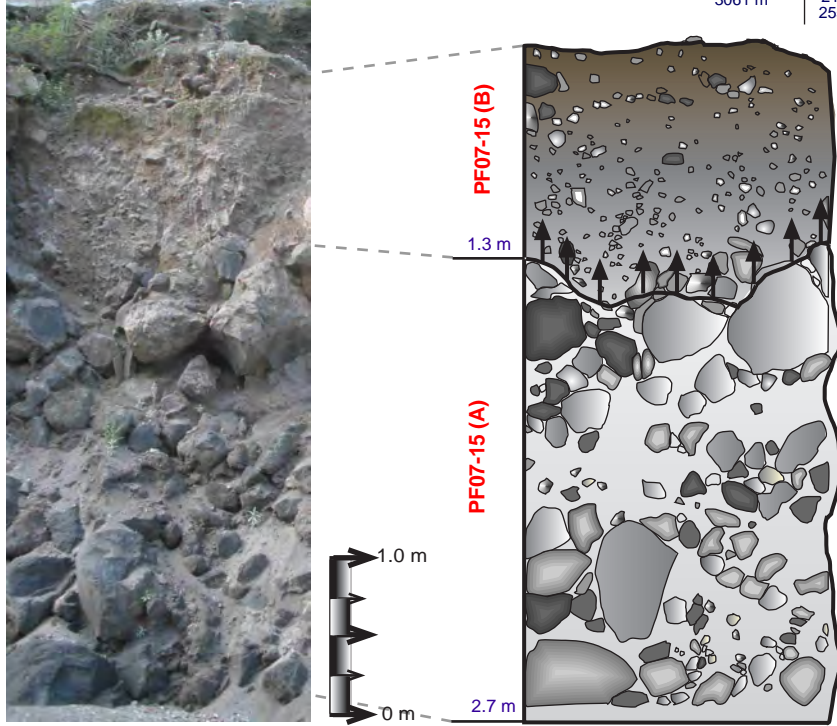
**PF08-08 (B):** color gris medio a claro. Espesor de 2.0 m, con estratificación marcada por horizontes de flujo masivos, de baja compactación e incipiente gradación inversa localizada en varias zonas. La selección es de moderada a buena, presenta un soporte de ceniza gruesa a lapilli fino (80% matriz vs 20% de clastos). La unidad es monolitológica andesítica con variaciones texturales importantes. El tamaño predominante oscila entre los 3 y 7 cms, sin embargo hacia la cima se alinean algunos bloques de cerca de 20 cm, subangulosos y angulosos con moderada a alta esfericidad. Hacia el Sur (aguas abajo) la unidad de flujo se empobrece en líticos y mejora sustancialmente la selección, asimismo, se dificulta la identificación de los horizontes de flujo. Hacia la cima de los horizontes de flujo se observa cierta orientación preferencial sobre el eje mayor de los líticos. El contacto inferior es transicional. No presenta estructuras de desgasificación o vegetación.

**PF08-08 (A):** color gris claro, de espesor de 3.5 m, compuesto de tres horizontes de flujo masivos de baja compactación, con incipiente gradación inversa en los tres horizontes. El grado de selección es moderado a malo y el soporte general de la unidad es sobre una matriz de ceniza muy gruesa con una proporción de 65% matriz vs 35% clastos. Los bloques son andesíticos, muy variados en características texturales, siendo los más comunes los de matriz vitrea con fracturamiento prismático, seguido de los vítreos con cierta vesiculación y algunos alterados. El tamaño de los bloques varía entre 3 y 25 cms, con algunos poco comunes de 55 cms. La mayoría de ellos son subangulosos con variaciones entre baja y alta esfericidad. El flujo conserva cierta regularidad pero existen zonas en donde se acumulan los bloques más grandes, asimismo, los horizontes de flujo no son perfectamente paralelos entre si, más bien se observan alineamiento sutiles oblicuos entre los clastos más grandes hacia la cima de cada horizonte. El contacto con la unidad superior es transicional, mientras que a la base no se observa el contacto expuesto. Entre los horizontes de flujo se observan contactos intaunidades.



**Afloramiento / Columna Estratigráfica PF07-15**

Distancia desde el cráter: 3061 m  
 Coordenadas: 644462 E, 2154966 N, 2555 msnm



**Descripción Estratigráfica de Campo (por Unidad de Flujo)**

**PF07-15 (B):** color gris claro a tonalidades verdosas (por presencia de vegetación), de 1.3 m, con un grado de compactación bajo a moderado, masiva, sin gradación evidente, de buen grado de selección y ampliamente soportada por matriz (75% aprox.) vs 25 % de bloques pequeños. La matriz está compuesta de ceniza fina a mediana, mientras que los líticos principales oscilan entre lapilli grueso y hasta bloques finos (4 a 18 cm) siendo los más comunes de 8 cm. La unidad es monolítica (andesítica) pero con textura variadas, predominando los líticos de matriz vítrea con fractura prismática sobre los líticos moderadamente vesiculados de similar matriz. Son subangulosos a angulosos, de moderada a alta esfericidad. Lateralmente la unidad se acuña y pierde significativamente espesor. El contacto inferior es transicional, no presenta estructuras de desgasificación. Muestra una cubierta de vegetación corta, pero que fue claramente formada después de la deposición y que le confiere el color característico al depósito. No se encontró carbón o vegetación con rasgos de calor en el interior de la unidad.

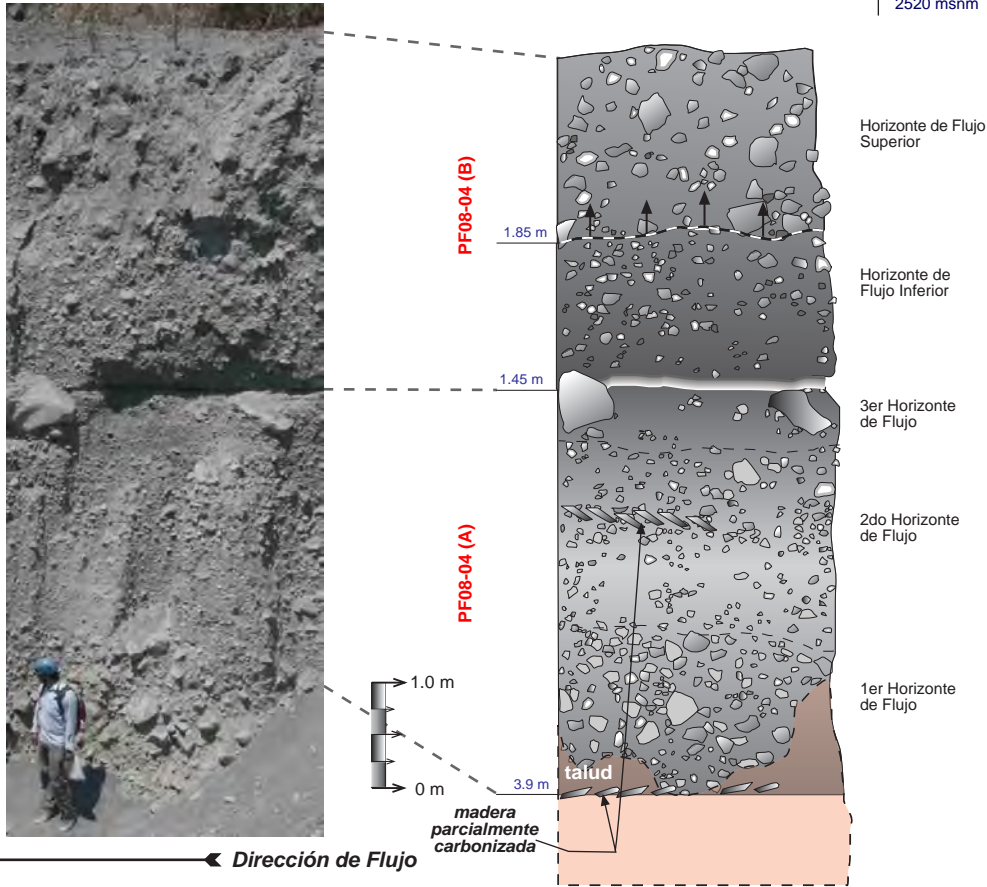
**PF07-15 (A):** color gris claro. Espesor de 2.7 m, masivo-caótico, de moderado grado de compactación, sin gradación evidente y grado de selección de moderado a bueno. Esta ampliamente soportado por clasto, con una proporción de 80-85% contra 20-15% de matriz. Prácticamente la matriz en este depósito está ubicada dentro de los intersticios dejados por el acomodo de los bloques. Esta proporción de bloques-matriz es un rasgo inusual en los depósitos de FBC de Colima. La matriz es de ceniza gruesa a muy gruesa con importante contenido de cristales de plagioclasa libres. Los bloques son de composición andesítica, los más importantes presentan fractura prismática y matriz vítrea fresca. Debido a su fracturamiento, son fácilmente desmembrables. El tamaño

de estos oscila entre 20 y 60 cm, de formas predominantes subangulosas a angulosas, de moderada a baja esfericidad. Los bloques andesíticos color negro, tienen matriz vítrea, importante concentración de vesículas y son pobremente escoriáceos; presentan tamaños de entre 15 y 35 cm, subangulosos de moderada a alta esfericidad. En menor proporción, existen algunos bloques de matriz vítrea, color grises, no vesiculares de formas subredondeadas a subangulares de baja esfericidad. Presenta variación significativa lateralmente, debido a que la proporción bloques disminuye significativamente y aumenta el contenido de matriz, cambiando a solo unos metros pendiente abajo de clasto-soportada a matriz-soportada. El contacto inferior no es visible ya que está cubierto por talud, mientras que el contacto superior es de tipo transicional. No hay estructuras de desgasificación ni vegetación existente.

**Afloramiento / Columna Estratigráfica PF08-04**

Distancia desde el cráter: 3426 m  
 Coordenadas: 644447 E  
 2154597 N  
 2520 msnm

**Descripción Estratigráfica de Campo (por Unidad de Flujo)**



**PF08-04 (B):** color gris oscuro, de espesor total de 3.30 m, con estructura general masiva pero caracterizada por la presencia de dos horizontes de flujos debidamente separadas. El grado de compactación es muy bajo y la caída de bloques es constante, lo que reduce paulatinamente el contenido de gruesos de la unidad. El horizonte de flujo inferior presenta una débil gradación inversa, la cual no es visible a lo largo de todo el depósito y en algunas zonas el depósito se muestra masivo-caótico. En el horizonte superior de flujo no se observa clara gradación. El grado de selección es bueno en el horizonte de base y moderado a malo en el de cima. Tanto el horizonte de base como el de cima son soportados por matriz, sin embargo, en el horizonte base el tamaño de los clastos oscila entre 5 y 15 cm, mientras que en el horizonte superior los bloques son de entre 7 y 25 cm. La mayoría de los bloques son andesíticos, subredondeados a subangulosos de baja a moderada esfericidad. El horizonte de flujo se enriquece en bloques pendiente hacia abajo, con la presencia de un aislado de 1.20 m de cierta imbricación a favor de la dirección de flujo. El contacto inferior es erosivo. Es posible la presencia de madera parcialmente carbonizada, aunque no se pudo encontrar muestra alguna debido a la altura a la que se localiza el depósito de la Unidad de Flujo.

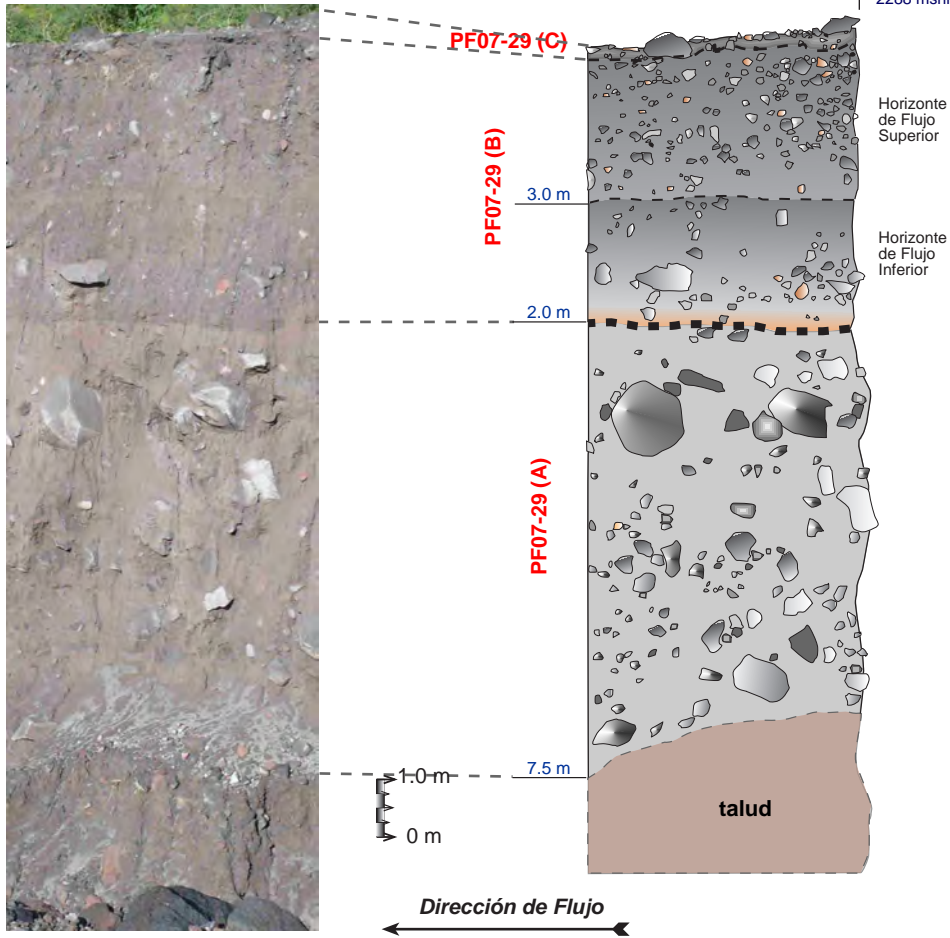
**PF08-04 (A):** color gris claro con tonalidades café claro, espesor de 3.9 m con tres horizontes de flujo definidos, con bajo grado de compactación. El 1er y tercer horizonte de flujo no presentan gradación clara (carácter masivo), en el 2do pulso se observa gradación inversa clara. El grado de selección es moderado a bueno en el primer y tercer horizonte, pero malo en el tercero. En los tres horizontes de flujo, se presenta un soporte por matriz, sin embargo las proporciones cambian 1er H.F.= 60% matriz vs 40% de clastos; 2do H.F.= 80% matriz vs 20% clastos -acumulados hacia la cima del depósito; 3er H.F.= 90% matriz vs 10% clastos. A pesar de que el tipo de líticos no cambia mucho entre los tres horizontes de flujo, el tamaño máximo y los promedios encontrados suelen variar considerablemente. El tamaño máximo en el 1er H.F. es de

8-45 cm, siendo comunes los fragmentos de alrededor de 10 cm. En el 2do. H.F, el tamaño oscila entre los 3 y 25 cm, siendo comunes los fragmentos de 5 cm. Los fragmentos más grandes se localizan hacia la cima del depósito, debido a su gradación. El 3era. H.F. presenta rangos de variación de entre 2 y 10 cm, siendo los de 5 cm los fragmentos más comunes. En el límite con la unidad superior (PF08-04 B) se presentan algunos bloques aislados de tamaño anómalo (entre 15 y 85 cm) sin orientación preferencial. La mayoría de los clastos presentes son angulosos con esfericidad baja a media. De los horizontes de flujo, no se presentan variaciones laterales considerables, a excepción del 3er horizonte. Hacia el Sur de este afloramiento, sobre la Barranca (aguas abajo) después de la presencia de un bloque grueso aislado -1.6 m-, la granulometría cambia abruptamente empobreciéndose en bloques y aumentando considerablemente las partículas finas. El contacto inferior de esta unidad de flujo no está expuesto; el contacto superior es de tipo erosivo, marcado por una acumulación de finos en el límite entre unidades. No presenta estructuras de desgasificación, posiblemente de haber existido, fueron removilizadas rápidamente por erosión. Todos los líticos presentes son andesíticos con variaciones texturales locales. Se observan presencia de madera parcialmente carbonizada en la base de la unidad y alrededor de la mitad del 2do Horizonte de Flujo. Estos troncos presentan cierto alineamiento en dirección al flujo. El borde de los pequeños fragmentos de madera se observa finamente carbonizado -transformación mineral-, pero en su interior aún preserva características vegetales originales.



**Afloramiento / Columna Estratigráfica PF07-29**

Distancia desde el cráter: 3926 m  
 Coordenadas: 644243 E, 2154128 N, 2288 msnm



**Descripción Estratigráfica de Campo (por Unidad de Flujo)**

**PF07-29 (C):** Capa delgada (alrededor de 30 cm) de unidad masiva con bloques menores a 10 cm, de buena selección y sin gradación evidente. La continuidad de este depósito es limitada hacia el Sur, perdiendo espesor pendiente abajo sobre la trayectoria de la Barranca hasta desaparecer. Presenta una mezcla de diferentes tipos de líticos (todos andesíticos), observándose un mayor enriquecimiento en los fragmentos rojizos. En la parte superior de esta unidad se observa ya el crecimiento de vegetación corta. Este depósito posiblemente se trata de una unidad de retrabajo (lahar).

**PF07-29 (B):** está compuesta por dos horizontes de flujo. Un Horizonte de Flujo Superior de color gris oscuro, de 3.0 m, masivo, sin gradación evidente, moderado a buen grado de selección, amplio soporte de matriz (80% matriz vs 20% bloques), rica en ceniza gruesa a muy gruesa, compuesta de lava andesítica con moderada vesicularidad y algunos cristales aislados de posible plagioclasa y piroxeno. Los bloques son de tipo andesítico, color gris claro intercalados con rojizos a naranja. El tamaño de los bloques en promedio es menor que en los depósitos subyacentes, oscilando los mayores entre 25 y 30 cm y tamaño predominante de aproximadamente 10 cm. La mayoría de bloques son subangulosos de baja a moderada esfericidad. En la parte central de la unidad de flujo se observa una concentración de bloques, pero hacia el Sur del depósito el tamaño de bloques disminuye de nuevo. El contacto inferior es difuso. No presenta estructuras de desgasificación, tampoco vegetación evidente. El Horizonte de Flujo Inferior es de color gris claro, de 2.0 m de espesor, gradación simétrica incipiente, grado de selección malo, baja compactación y soporte de matriz (70% matriz vs 30% bloques). Los bloques andesíticos presentan aproximadamente la misma concentración que en la unidad anterior, con la variación de una mayor concentración de bloques rojizos, pero continúa el predominio de los de color gris oscuro vítreos y bloques vesiculados. El tamaño es menor, principalmente entre 70-90 cm para los bloques mayores y 25 a 30 cm en los más comunes; predominan los bloques angulosos de baja esfericidad. La unidad de flujo tiene continuidad lateral hacia el borde Norte,

sin embargo, es más difícil darle seguimiento hacia el Sur del afloramiento que describimos. El contacto inferior es difuso, al igual que el superior. Sin estructuras de desgasificación o vegetación.

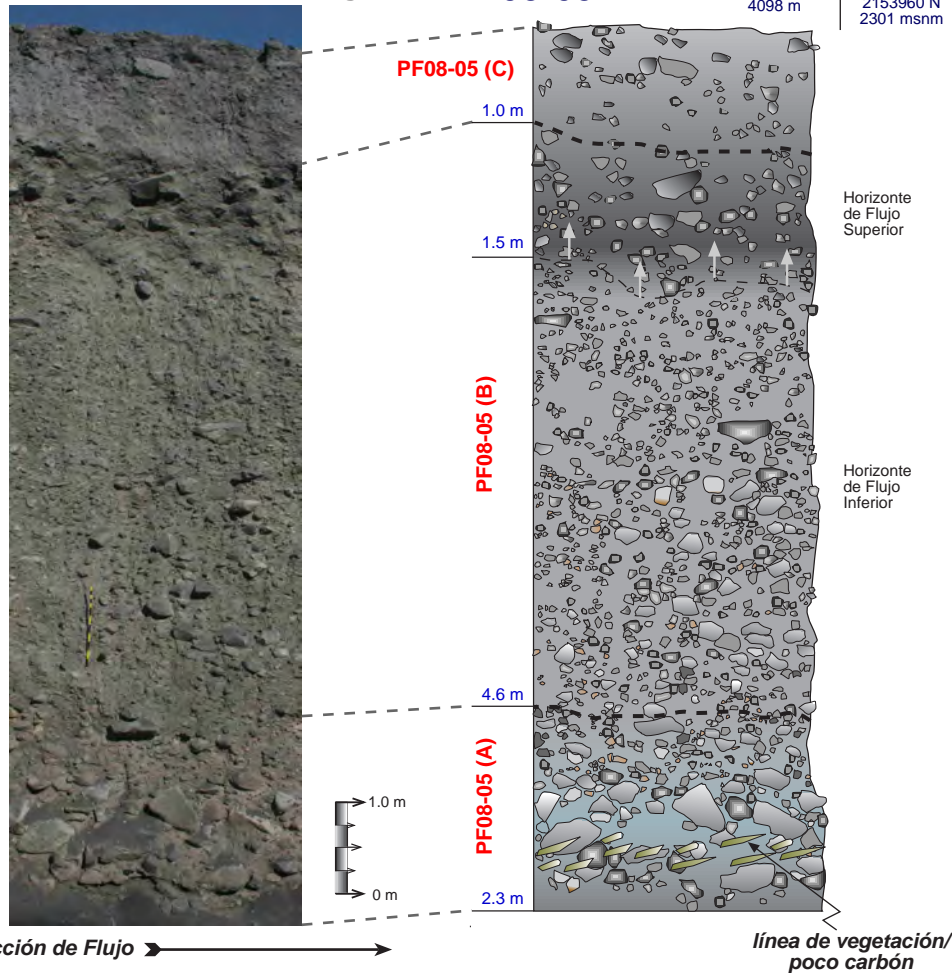
**PF07-29 (A):** color gris claro a tonalidades rosadas. De espesor aproximado de 7.5 m, de estructura general masiva, bajo grado de compactación (evidenciado por varios taludes y zonas de colapso del afloramiento) y sin gradación evidente. El grado de selección general es malo y presenta un soporte por matriz (60% matriz vs 40% bloques). La matriz es de ceniza gruesa a lapilli fino. Los bloques más importantes son andesitas de coloración gris oscura (posibles vítreos), seguidas de las muestras gris claro (muestras frescas) y algunos bloques andesíticos esporádicos color rojizo situados hacia la base de la unidad de flujo. El tamaño de los bloques oscila entre 8 y 85 cm, siendo los más comunes de entre 10-15 cms; algunos fuera del tamaño regular alcanzan 60-80 cm. La mayoría de los bloques son subangulosos de baja esfericidad. No hay evidencia clara de variaciones laterales, excepto que zonalmente la unidad de flujo manifiesta concentraciones de bloques anómalas. El contacto superior es difuso, mientras que el inferior no es visible, ya que no ha sido exhibido aún por erosión. No se observan estructuras de desgasificación. En la unidad no se presenta vegetación anterior o posterior a la deposición.



**Afloramiento / Columna Estratigráfica PF08-05**

Distancia desde el cráter: 4098 m

Coordenadas: 644205 E  
2153960 N  
2301 msnm



**Descripción Estratigráfica de Campo (por Unidad de Flujo)**

**PF08-05 (C):** Gris oscuro a marrón, masivo, de bajo a moderado grado de compactación, sin gradación evidente y de buena selección en la base del depósito pero moderada a baja en la totalidad. Está soportado por matriz (80% matriz vs 20% clastos), sin presencia de bloques de tamaño grande, a excepción de algunos dispersos cercanos a la base del depósito (55 cm). Estos bloques andesíticos son subangulosos y angulosos. Unos metros aguas abajo (hacia el sur) del sitio de descripción, en dirección del movimiento del flujo, es posible reconocer una zona más rica en bloques, de buena selección y con una marcada gradación inversa. El contacto inferior de la unidad es difuso, no existe vegetación o rasgos de estructuras de desgasificación.

**PF08-05 (B):** de color gris claro a la base con variaciones en tonalidades rosado-rojizo, está unidad de flujo se compone de dos horizontes de flujo definidos. El horizonte de flujo inferior es masivo, de baja compactación, de gradación moderadamente normal, buena selección, soporte por matriz (55% matriz vs 45% clastos), compuesta de bloques sin orientación preferencial de tamaño entre 15-25 cm que van siendo menos abundantes hacia la cima. El contacto inferior es difuso, mientras que el contacto superior es intraunidad-transicional (con respecto al Horizonte de Flujo Superior). No se observan estructuras de desgasificación o vegetación. Por otro lado, el Horizonte de Flujo Superior, color gris medio, de 1.5 m de espesor, con estructura general masiva, de gradación moderadamente inversa, buena selección y con una mayor cantidad de matriz que el horizonte de flujo Inferior (75% matriz vs 25% clastos); presenta algunos bloques dispersos grandes (40 cm) hacia el centro de la unidad. El contacto inferior es intraunidad-transicional, mientras que el superior es difuso.

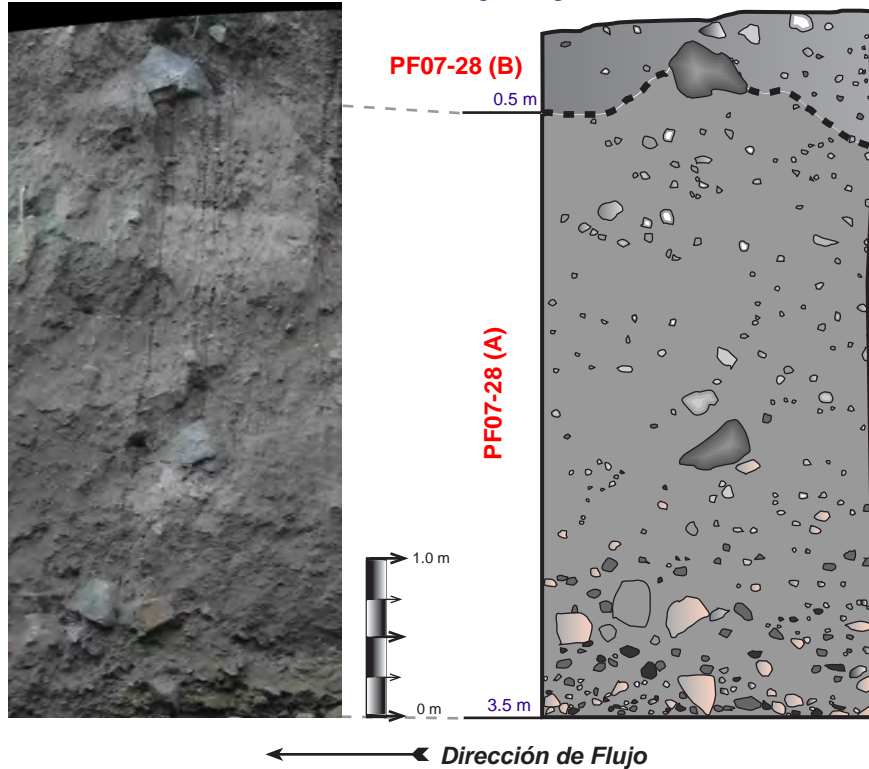
**PF08-05 (A):** color gris oscuro, de 2.3 m de afloramiento expuesto, masivo, de baja compactación, gradación normal burda, moderada a mala selección, soportado por escasa matriz con regiones soportadas clasto a clasto. La relación oscila entre 55% matriz vs 45% bloques a regiones de 35% matriz

vs 65% clastos. La matriz es de ceniza media a gruesa, compuesta de fragmentos andesíticos subredondeados con moderada vesicularidad y algunos subangulosos de matriz vítrea. La unidad de flujo es monolitológica compuesta por una abundancia de bloques andesíticos con sutiles variaciones texturales. El rango de tamaño de los bloques está entre 10-125 cm, sin embargo los más comunes están entre 15-20 cm. La mayoría son angulosos de baja esfericidad y muy angulosos de alta esfericidad. La unidad presenta gran contenido de bloques de diferentes tamaños y sin orientación preferencial, asimismo, existen zonas en donde se observa cierta coloración rojiza-naranja, con abundancia de cristales sublimados que forman una capa muy fina mineral sobre las rocas, dicha capa es fácilmente removible. Estas zonas posiblemente pueda tratarse de regiones de escape de gases y sublimados de yeso-azufre muy locales, respuesta de altas temperaturas de emplazamiento en las unidades de flujo. El contacto superior es difuso, mientras que el contacto inferior no ha aflorado aún. A pesar de que no existen estructuras de desgasificación visibles en el momento que se describió la muestra, es posible que se hayan formado y destruido por erosión, a juzgar por la presencia de las regiones de sublimados antes explicada. Aproximadamente a 1 m de la base del depósito, se observa un alineamiento de vegetación, sin presencia de raíz (posiblemente arrancada de fuentes cercana), de estructura sana, con muy bajos rasgos de carbonización.

**Afloramiento / Columna Estratigráfica  
PF07-28**

Distancia desde el cráter:  
4317 m

Coordenadas:  
644256 E  
2153726 N  
2249 msnm



**Descripción Estratigráfica de Campo (por Unidad de Flujo)**

**PF07-28 (B):** color gris oscuro, de 0.5 m de espesor, estructura masiva, con bajo grado de compactación, sin gradación clara y una selección moderada a mala. El soporte de la unidad es fuertemente por matriz (90% vs 10% clastos). Matriz compuesta de ceniza mediana a gruesa. Los pocos líticos muestran variaciones texturales significativas, desde andesita de matriz vítrea gris sin vesicularidad importantes hasta algunos fragmentos andesíticos de color rojizo-claro posiblemente asociado a fragmentos muy alterados. El tamaño de estos oscila entre 2 y 8 cm, aunque existen dos bloques de aproximadamente 15 y 25 cm. En general son subangulosos a angulosos de baja a moderada esfericidad. Lateralmente el depósito pierde continuidad, pero vuelve a ser visible varios metros pendiente abajo. El contacto inferior de la unidad es difuso, no presenta estructuras de desgasificación ni rasgos de vegetación anterior o posterior a su deposición.

**PF07-28 (A):** color gris medio a tonalidades claras, con 3.5 m de espesor, estructura general masiva, grado de compactación muy bajo y gradación levemente inversa, acentuada principalmente por el paso de corrientes de agua hacia la base del depósito, las cuales remobilizan fácilmente los finos y dejan relictos de partículas más gruesas. Ampliamente soportada por matriz (85% vs 15% matriz), la cual está compuesta de fragmentos andesíticos con fractura prismática, algunos óxidos y pequeños microvesiculados subredondeados. Los bloques más importantes son andesitas de matriz vítrea con fracturamiento prismático tabular (muestras frescas visibles), seguido de fragmentos oscuros de importante vesicularidad y algunos líticos rojizos-rosados marcadamente por presencia de alteración en la roca. El tamaño de las gravas oscila entre 5 y 32 cm, siendo los más comunes de aproximadamente 12 cm. Presentan subredondez a subangulosidad con rasgos de baja a moderada esfericidad. En los líticos más pequeños es común observar un factor de redondeamiento más acentuado. Verticalmente, se observa como los bloques más grandes se ajustan a la base del depósito, a excepción de algunos de tamaño significativo localizados en la parte media del depósito.

Lateralmente no se observan cambios significativos o de especial interés. El contacto inferior no es visible, ha sido finamente enmascarado por erosión de corrientes de agua y/o lahares; el contacto superior es difuso. No presenta estructuras de desgasificación ni vegetación visible.



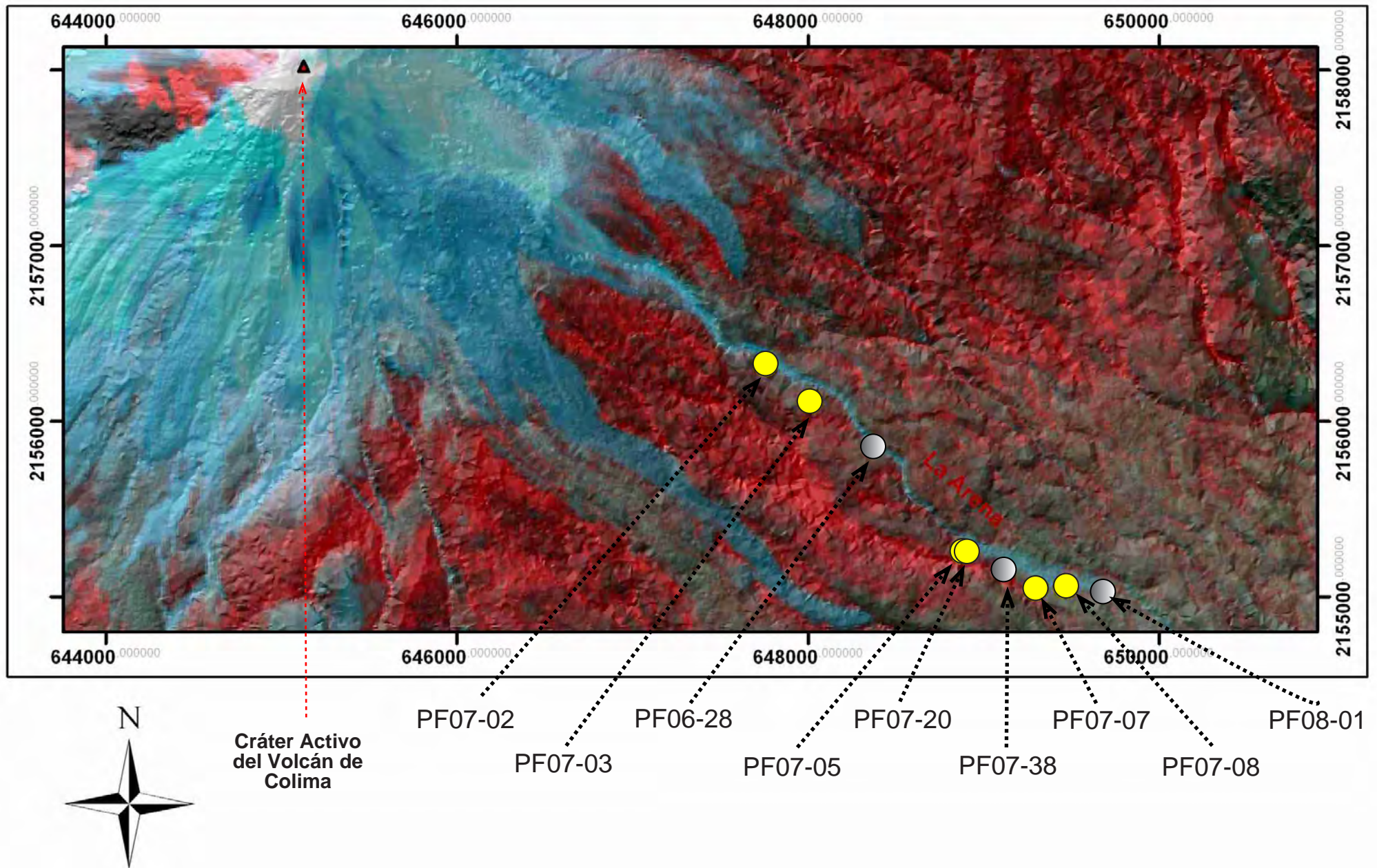
**Tabla VI.2**

Afloramientos principales dentro de la Barranca de La Arena (flanco sureste) en donde se estudiaron los FBC producidos en el 2005. Se usa la misma nomenclatura que en la Tabla VI.1. Se detalla la ubicación de cada afloramiento, distancia en línea recta desde el cráter y el nombre de las muestras tomadas, con el fin de ligar los datos a los capítulos siguientes. Las muestras con asterisco son puntos de control sin muestreo. Las distancias mostradas son tomadas: a) en línea recta desde el cráter hasta el afloramiento ó b) medidas sobre el Modelo Digital de Elevación (MDE) usadas para el cálculo de volúmenes. En lo sucesivo usaremos la distancia en línea recta para referirnos a la posición de los afloramientos.

Afloramiento	Coordenadas	Distancia en línea recta	Distancia desde el Cráter	Muestras Tomadas
PF07-02	647758 E 2156324 N 2119 msnm	3144 m	3450 m	PF07/02-1; PF07/02-2;
PF07-03	648013E 2156114 N 2083 msnm	3471 m	3820 m	PF07-03 (1); PF07-03 (3);
PF06-28 *	648257 E 2155996 N 2013 msnm	3741 m	4111 m	
PF07-05	648878 E 2155308 N 1955 msnm	4638 m	5185 m	PF07-05(A); PF07-05(B);
PF07-20	648899 E 2155258 N 1954 msnm	4684 m	5209 m	PF07-20(A); PF07-20(B); PF07-20(C);
PF07-38 *	649129 E 2155118 N 1905 msnm	4953 m	5327 m	
PF07-07	649298 E 2155045 N 1888 msnm	5133 m	5514 m	PF07-07(A);
PF07-08	649466 E 2155060 N 1857 msnm	5264 m	5690 m	PF07-08 (1913); PF07-08 (Junio);
PF08-01 *	649714 E 2154994 N 1845 msnm	5507 m	5890 m	

En las siguientes páginas, se describen los parámetros de la Sección VI.1 para cada uno de los afloramientos estudiados. Primero se detallan aquellos afloramientos localizados en la Barranca de Montegrande y posteriormente, de los afloramientos de la Barranca de La Arena.



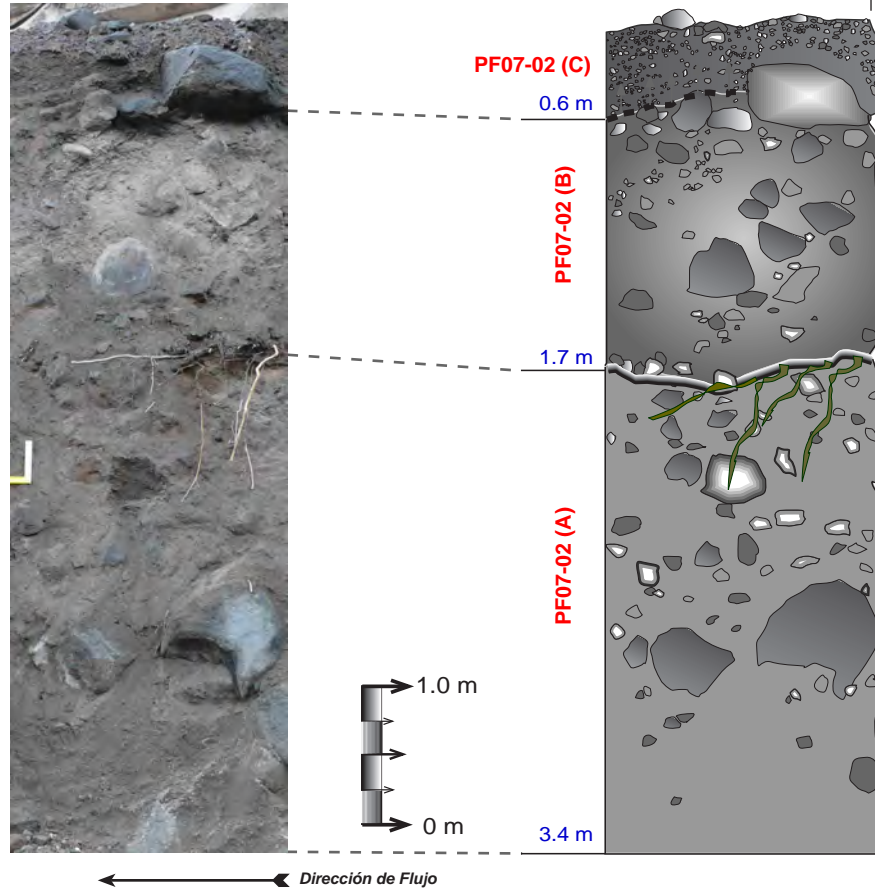


**Figura VI.4**

Ubicación de las principales *Zonas de Descripción o Afloramientos* en la Barranca de La Arena , sobre el flanco Sureste del Volcán de Colima. Los puntos amarillos indican los Afloramientos más importantes, en donde se hizo una descripción y muestreo completo que después será usada en las correlaciones estratigráficas. Los puntos negros indican afloramientos de control en los que se hizo descripción, pero que no son usados para la correlación, sin muestreo. Las características de todos los puntos se muestran en la Tabla VI.1. Imagen de Fondo: combinación de Modelo de Elevación derivado de LIDAR (INEGI, 2005) y una imagen ASTER VNIR, 2006 (combinación RGB) (imagen proporcionada por Lucia Capra).

**Afloramiento / Columna Estratigráfica PF07-02**

Distancia desde el cráter: 3144 m  
 Coordenadas: 647758 E, 2156324 N, 2119 msnm



**Descripción Estratigráfica de Campo (por Unidad de Flujo)**

**PF07-02 (C):** unidad color negro, de 0.6 m de espesor, masiva uniforme, con un grado de compactación bajo, gradación simétrica y grado de selección bueno. Soportados por matriz de ceniza fina a gruesa con débil acomodo de bloques. Los componentes son andesíticos, variados texturalmente, con tamaños de entre 5 y 15 cm, en un promedio de 7 cm. Predominantemente subangulosos a subredondeados con importante variación de fuente. Uniformidad de rasgos texturales en la mayoría del depósito y presencia de bloques de mayor tamaño hacia la cima. No tiene estructuras de desgasificación o rasgos de vegetación sana o carbonización.

**PF07-02 (B):** color gris marrón, espesor de 1.7 m, estructura masiva con un poco de estratificación de granulometría fina hacia la cima de la unidad. Grado de compactación moderado a bajo, de gradación inversa, con algunos bloques de mayor tamaño hacia la cima, con grado de selección general bueno. El depósito está soportado por matriz de grano fino (cenizas medias a finas) con un porcentaje aproximado de 60-70% del total de la unidad. Presenta una importante diversidad de bloques andesíticos, diferenciados del depósito anterior solamente por la abundancia en el contenido de bloques rojizos. Los bloques son subangulosos a subredondeados de baja esfericidad en su mayoría, tamaños entre 10 y 80 cm, con promedio de 12 cm. Existen variaciones en el espesor del depósito. Lateralmente, de Este a Oeste se observa un incremento en la granulometría hacia la cima, en la porción Este es posible encontrar una gradación inversa con granulometría de finos, mientras que en la porción Oeste es más evidente la presencia de grandes bloques hacia la cima, al igual que una reducción considerable de los espesores del flujo. El contacto inferior es muy evidente debido a que existe un buen marcador de vegetación, definido con una superficie irregular y discontinua, marcando un claro contacto erosional, mientras que el superior es difuso a transicional. Sin estructuras de desgasificación.

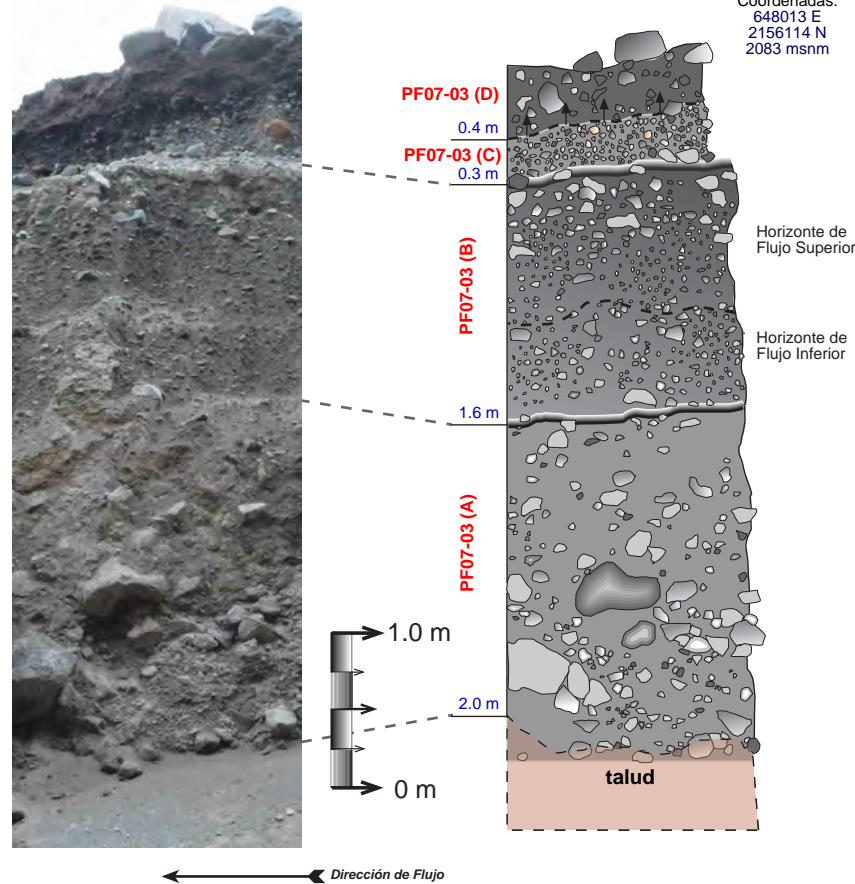
**PF07-02 (A):** color gris oscuro con zoneamiento gris y café claro dispersos. Espesor aproximado de 3.4 m. De estructura masiva con bloques de gran tamaño, sin embargo se estima que estos provienen de fuentes cercanas como producto de inestabilidad en flujos de lava circundantes antiguos. El grado de compactación es moderadamente bajo, su gradación es simétrica-caótica (normal a inversa), con selección moderadamente baja. La unidad está claramente soportada por matriz definida en algunos sitios con un porcentaje de 60% general, pero es importante hacer marcar que existen ciertas zonas con presencia abundante de bloques y soportada por clastos. La matriz general es de cenizas medianas a gruesas, con zonas de ceniza fina. La unidad de flujos es monolitológica, pero con heterogeneidad textural general. Las proporciones del depósito son:

Tipo A: andesita de matriz vítrea pero aparente vesicularidad (50%); Tipo B: andesita color gris claro, con minerales frescos (25%); Tipo C) andesita de matriz vítrea, fractura prismática (20%); Tipo D) bloques andesíticos rojizos dispersos (5%). Al parecer, solamente algunos vítreos y bloques de textura gris parecen ser juveniles, pero existe un contenido significativo de líticos frescos. El tamaño preferencial de los bloques oscila entre 2 y 80 cm con un promedio de 12 cm y un tamaño dominante de 8 cm. La mayoría de los bloques son subangulosos y en menor proporción, algunos subredondeados de baja a moderada esfericidad. No presenta variaciones laterales significativas. El contacto inferior no está expuesto aún, depósitos de talud recientes cubren la secuencia. No se observan estructuras de desgasificación bien definidas. La vegetación descrita previamente no muestra rasgos de carbonización o cocimiento, solamente una leve orientación en sentido del flujo y algunos troncos secos.

**Afloramiento / Columna Estratigráfica PF07-03**

Distancia desde el cráter:  
3471 m

Coordenadas:  
648013 E  
2156114 N  
2083 msnm



**Descripción Estratigráfica de Campo (por Unidad de Flujo)**

**PF07-03 (D):** color gris oscuro, de 0.4 m de espesor, estructura masiva. Grado de compactación bajo, de moderado a buen grado de selección, con una leve gradación inversa, con el acomodo de bloques más grandes de la unidad hacia la cima. Fuertemente soportado por matriz de aproximadamente el tamaño de las cenizas finas a medias, con un porcentaje de 75% de matriz vs 25% de líticos andesíticos. Los fragmentos presentes son completamente andesíticos (unidad monolitológica) pero con variaciones texturales considerables, pero con abundancia de andesita rojiza (parcialmente oxidada). La mayoría de los bloques son subangulosos y en menor proporción, existe otra población de subredondeados. El contacto inferior es difuso a transicional marcado por una clara variación en el tamaño de líticos de la unidad inferior (PF07-02.3). No existen rasgos de quemado o destrucción de vegetación, ni de estructuras de desgasificación.

**PF07-03 (C):** color gris claro, de 0.3 m de espesor, estructura masiva de granulometría muy fina, con fragmentos andesíticos (monolitológicos) pero caracterizados por variadas texturas, los tamaños varían de entre 4 a 10 cm, con un promedio general de 6 cm. La mayoría de los fragmentos son subredondeados a subangulosos. La unidad de flujo se caracteriza por un fuerte soporte de matriz (60% matriz vs 40% líticos), bajo grado de compactación y un muy buen grado de selección. No se observan estructuras de desgasificación. El contacto inferior es finamente erosional, el superior ya fue descrito en la unidad superior.

**PF07-03 (B):** color gris oscuro-café, de 1.6 m de espesor, estructura general masiva pero se evidencia la presencia de dos horizontes de flujo perfectamente definidos dentro de la unidad de flujo, con características similares pero de granulometría más fina en el horizonte superior. Grado de compactación bajo. La gradación se puede dividir en dos partes principales, dentro del Horizonte de Flujo Inferior se comporta de manera simétrica con una buena selección de clastos. Por otro lado, en el Horizonte de Flujo Superior se presenta gradación inversa y una moderada a buena selección de clastos. La unidad de flujo en general está soportado por matriz, aproximadamente del tamaño de cenizas finas a medias, de porcentaje aproximado a 65-70, por un 30% de bloques. Los componentes

son siempre andesíticos y presentan variaciones texturales en cuatro ordenes principales (monolitológicos pero heterotexturales): { *Tipo A (vesiculares-porosos)*: 35%, gris rojizo. Fenocristales grandes de plagioclasa (0.5-3 mm), fenos de Clinopiroxeno, Opx diqtaxítico (de forma irregular) con vesículas abundantes, principalmente equigranulares } { *Tipo B (vitreos)*: 15%, negro-café, de alteración grisacea, porfídico a moderadamente equigranular. Pl abundante, elongada, de entre 0.5 y 3 mm; matriz vítrea, principalmente negra } { *Tipo C (no-vesiculados)*: 30%, gris medio a bajo, vítreo-granular, muy rico en plagioclasa fresca, algunos fenocristales de hasta 3 mm. Color gris medio en superficie fresca. } { *Tipo D (oscuro-poroso)*: 20%, color negro-gris, abundantes vesículas, muestra porfídica con fenocristales menores que en otras muestras. El tamaño varía entre 0.5 y 20 cm, con un promedio general de 5 cm. La mayoría son subangulosos y en menor proporción, subredondeados}. La unidad presenta constancia lateral y vertical finamente marcada, sin embargo, se observa hacia el Este del depósito acuñamiento de la unidad sobre una serie de bloques, lo que podría suponer un cambio en la pendiente de deposición. El contacto inferior y superior de la unidad de flujo es erosivo, presencia constante de madera carbonizada.

**PF07-03 (A):** color gris claro con espesor de 2 m, estructura masiva con grandes bloques de cierta apariencia caótica. Baja compactación, gradación simétrica burda, sin un arreglo preferencial de los bloques más grandes y fragmentos pequeños. Depósito pobremente seleccionados. Bloques soportados por moderado contenido de matriz que presenta variaciones entre cenizas mediana y gruesas (65% matriz vs 35% bloques). Componentes andesíticos monolitológicos, presentan características texturales variadas. Los bloques principales encontrados son:

### Descripción Estratigráfica de Campo (por Unidad de Flujo) - continuación

*Tipo A (andesita vítrea)* -70% del total de bloques- gris con fenocristales transparentes, grano medio, plagioclasa de 2 a 3 mm, ortopiroxeno observado, vesículas alargadas delgadas paralelas entre sí. Textura porfídica a moderadamente granular; roca muy rica en cristales.

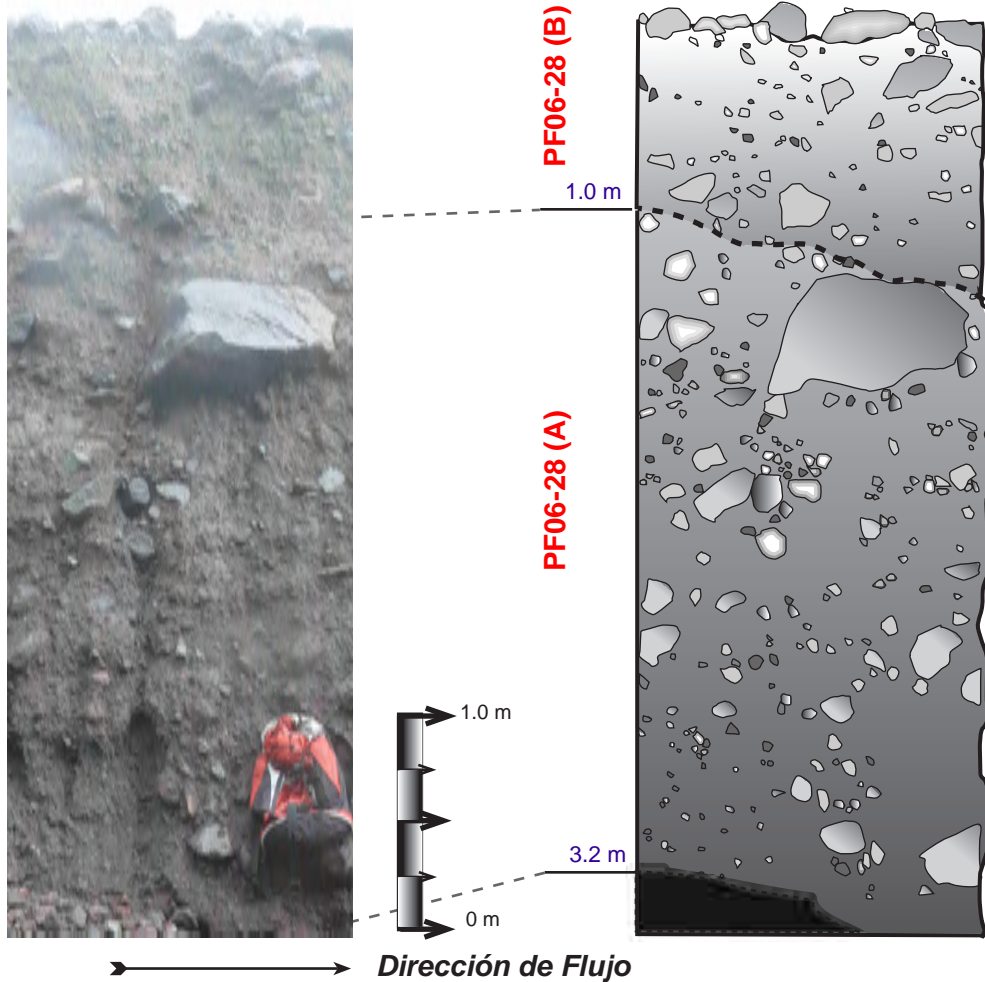
*Tipo B (andesita rojizas-alteradas)* -20%- principalmente rojas, algunas grises a rojizas, textura general diktaxítica con vesicular abundantes, clinopiroxeno de color verde, matriz vítrea abundante, los cristales presentan intenso intercrecimiento parecido al de rocas intrusivas; minerales color rojo-café moderadamente abundantes.

*Tipo C (andesita vítreas, gris)* -10%-.

Los bloques varían entre 5 cm y más de 100 cm, con tamaño dominante de 6 cm y promedio general de 10 cm. Redondez variada entre los clastos que constituyen el depósito, aunque la gran mayoría son bloques subangulosos y angulosos de baja a moderada esfericidad. Se observan variaciones locales dentro del depósito en el acomodo de los bloques, presentando zonas puntuales de mayor y menor acumulación, con cierta acomodo "ondulatoria" no bien definido. Se observa una orientación aleatoria de la mayoría de los fragmentos, pero algunos marcan su eje mayor orientado hacia el Noroeste. Ciertos bloques tienen zonas de manchas de color rojizo pardo que pueden corresponder a zonas de alteración hidrotermal. El contacto presente con la unidad superior es erosional, el contacto inferior no es posible observarlo debido a que ha sido cubierto por un talud de inestabilidad de ladera. No presenta claras estructuras de desgasificación, pero si es importante la presencia de drenaje en la mayoría de las zonas preferenciales. Hay porciones de vegetación y raíces existentes dentro del depósito, pero sin presentar evidencia de quemado o destrucción.

**Afloramiento / Columna Estratigráfica PF06-28**

Distancia desde el cráter: 3741 m  
 Coordenadas: 648257 E, 2155996 N, 2013 msnm



**Descripción Estratigráfica de Campo (por Unidad de Flujo)**

**PF06-28 (B):** unidad color gris medio a café claro, de 1 m de espesor, con estructura masiva general, bajo grado de compactación y moderada selección en la base del depósito. Gradación inversa, evidenciada por la acumulación de bloques con leve alineamiento hacia la cima del depósito. Esta soportada por matriz en la zona base y media del depósito (75-80%). Dicha matriz es de ceniza fina a media con presencia importante de fragmentos oxidados y vítreos subredondeados de alta esfericidad. Los líticos más importantes son andesitas, que como ya se mencionó, se localizan hacia la cima del depósito, presentan variedades de bloques de fractura prismática angulosos a subangulosos, de matriz vítrea y en menor proporción, de matriz vítrea con leve vesicularidad y asociación mineral de Plagioclasa-Clinopiroxeno. El tamaño de los bloques ronda entre 5 y 35 cm, la mayoría con relativa elongación. El depósito no presenta variaciones laterales importantes. El contacto inferior es difuso, no presenta estructuras de desgasificación o vegetación existente. En cuanto a la coloración y rasgos de compactación resulta complicado evaluar acertadamente el depósito debido a que la muestra y la descripción fue tomada durante temporal de lluvias.

**PF06-28 (A):** Café-gris medio a oscuro, de 3.2 m de espesor, estructura general masiva, de grado bajo de compactación, con débil gradación inversa, grado de selección moderado a bajo por zonas, con soporte completo por matriz con promedio de 75% del total del depósito. Las características de la matriz de color café claro a gris con importante presencia de ceniza media a gruesa, compuesta de cristales de plagioclasa y piroxenos subhedrales diseminados entre la ceniza que la compone. Los bloques más importantes son andesitas de textura vítrea bien desarrollada con un fracturamiento radial prismático regular. Estos bloques son de entre 10 y 65 cm de tamaño, subangulosos y angulosos de moderada a alta esfericidad. Bloques andesíticos de matriz vítrea- grises son menos comunes, con un rango de tamaños que van de los 3 a 40 cm, subredondeados y de alta esfericidad. La unidad no presenta variaciones laterales considerables; solamente en zonas puntuales es posible ver acumulación de bloques hacia la cima de la unidad, lo que denota una posible gradación inversa de la muestra. El contacto inferior no es

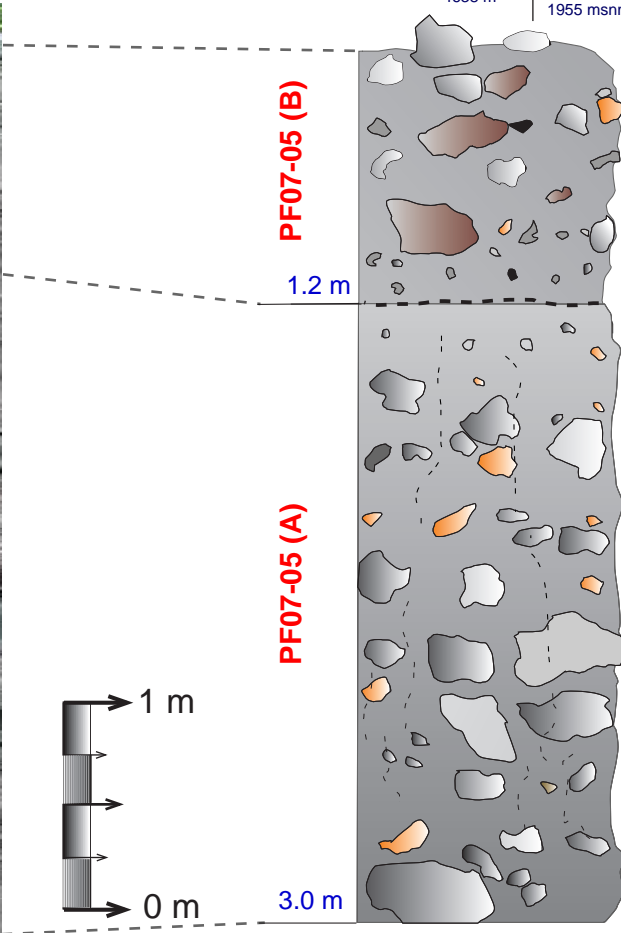
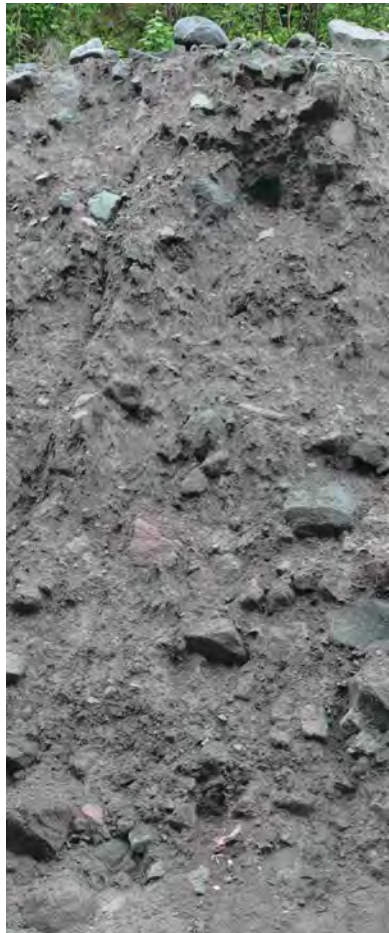
visible. No hay estructuras de desgasificación o vegetación presente en la muestra.



**Afloramiento / Columna Estratigráfica**

**PF07-05**

Distancia desde el cráter: 4638 m  
 Coordenadas: 648878 E  
 2155308 N  
 1955 msnm



**Descripción Estratigráfica de Campo (por Unidad de Flujo)**

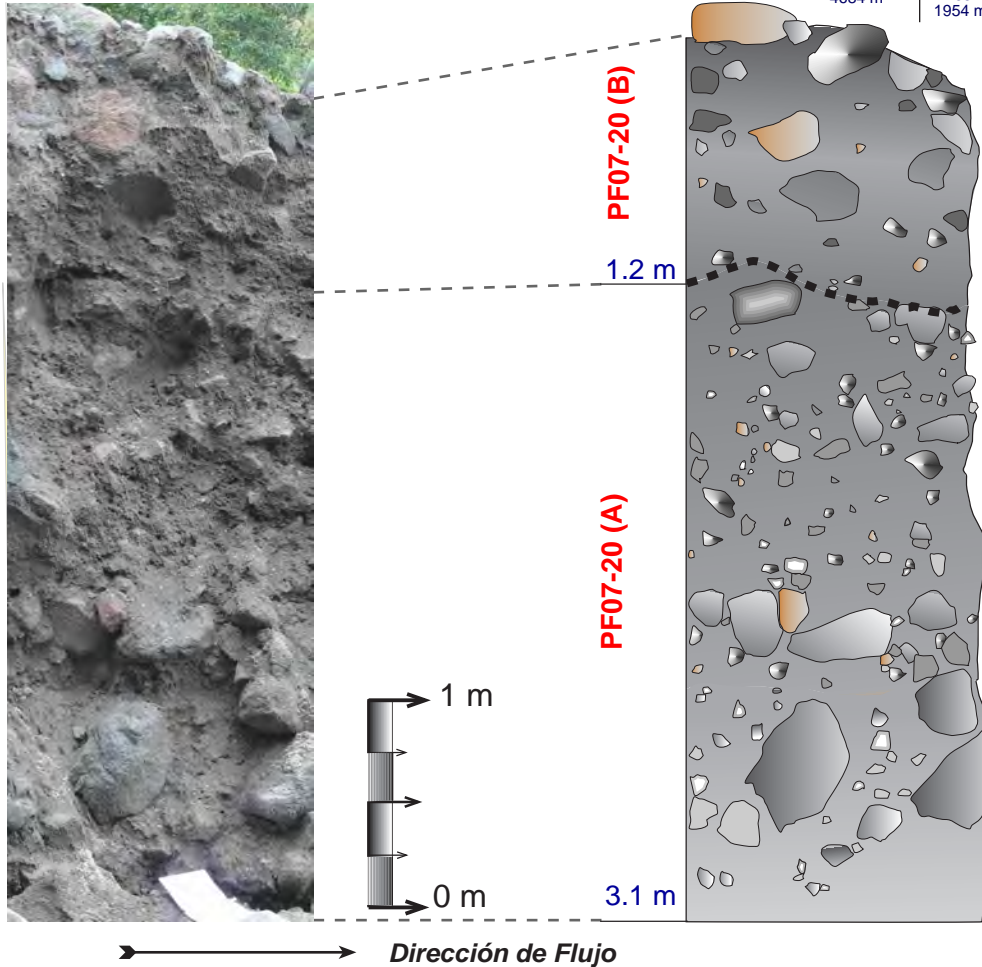
**PF07-05 (B):** unidad color gris media a oscura con espesor de 1.5 m, estructura masiva, sin la presencia de horizontes intermedios. Unidad de flujo pobremente compactada, de gradación inversa, moderadamente seleccionada con zonas de concentración en grandes bloques. Está soportada por matriz que representa el 70% de la muestra, contrastan solamente algunos bloques y fragmentos líticos. La matriz está compuesta de ceniza mediana a gruesa, rica en fragmentos vítreos, plagioclasa y menores de piroxeno dispersos. Al igual que la unidad previamente descrita, es andesítica(monolitológica) pero predominan los bloques de andesita con matriz vítrea ricos en PI-Px de formas subangulosas con textura visible de corteza de pan. El tamaño de los bloques está entre 5 y 55 cm, siendo los más comunes de 25 cm. Son principalmente subangulosos a angulosos de baja esfericidad. No se observan variaciones considerables laterales o verticales dentro de la unidad de flujo. El frente del corte de la Barranca se observa muy rico en partículas finas de 2 mm a 2 cm que se concentran por producto de retrabajo en las paredes. Cercano a este punto se observa un gran lobulo relleno de bloques que pudieran ser el primer frente asentado de la unidad de flujo. Las estructuras de desgasificación posiblemente fueron removilizadas por acción erosiva de la lluvia. No se observa vegetación dentro de los depósitos, solo incipiente creciente vegetación sobre el deposito.

**PF07-05 (A):** Gris medio a oscuro, de 3.0 m de espesor, estructura general masiva con un solo estrato marcado sin horizontes visibles ni imbricación de los bloques andesíticos. Grado de compactación bajo, sin gradación evidente, pero con cierta tendencia a ser simétrica (de normal a inversa). Mala selección. El depósito está soportado por matriz con un porcentaje de aproximadamente 60 contra 40% de bloques. La matriz está compuesta de ceniza fina a media, rica en cristales de plagioclasa y piroxeno granular subangulosos y alto contenido de partículas vítreas en forma de agregados glomerulares. Unidad de flujo predominantemente monolitológica con variaciones texturales entre los bloques importantes, siendo los grupos más comunes los siguientes:

- 1) Andesita de tonalidades rojizas-alterados
- 2) muestras de andesita frescas de matriz vítrea coloración verdosa
- 3) andesita negra con tonalidades rojizas
- 4) andesita negra con fenocristales de PI, Px y óxidos
- 5) Bloques andesíticos verdes ricos en Piroxeno glomerular. El tamaño de los bloques oscila entre 5 y 35 cm, con algunos líticos grandes de hasta 90 cm. Sin embargo, el promedio general dentro de la muestra es de 15 cm. Los bloques son predominantemente subangulosos a angulosos. No muestran una orientación preferencial, ya que sus ejes mayores están dispuestos de manera aleatoria. El contacto superior de la unidad es difuso. No se observan estructuras de desgasificación o vegetación clara existente.

**Afloramiento / Columna Estratigráfica PF07-20**

Distancia desde el cráter: 4684 m  
 Coordenadas: 648899 E, 2155258 N, 1954 msnm



**Descripción Estratigráfica de Campo (por Unidad de Flujo)**

**PF07-20 (B):** color negro-café marrón, de 1.2 m de espesor, estructura masiva tabular con cierto alineamiento de grandes bloques a los lados del depósito, leve gradación inversa -presencia de grandes bloques hacia la cima-, con un bajo grado de compactación y selección moderada a buena. El depósito está soportado por matriz (70% matriz vs 30% bloques). La matriz presenta gran cantidad de fragmentos líticos de tamaño de ceniza gruesa a muy gruesa vítreos, cristales de plagioclasa subangulosa y mucho menor contenido de líticos rojizos (con relación a los bloques). El tamaño de la matriz es de ceniza media aunque existen zonas de lapilli redeondeadas importantes. La muestra es monolitológica de andesita, contiene gran cantidad de bloques resaltando los de color rojo-tabique, que posiblemente relacionados a fuentes alteradas de los conductos o remanentes de domo. El tamaño de los bloques oscila entre 15-45 cm, siendo principalmente de formas subangulosas de baja esfericidad.

**PF07-20 (A):** Gris oscuro a negro, con 3.1 m de espesor, estructura masiva-caótica sin estratificación laminada interna, de bajo grado de compactación y sin una gradación evidente, mala selección. El soporte es en su mayoría clasto-clasto, sin embargo hay zonas con un porcentaje importante de matriz (relación 55% matriz vs 45% clastos a zonas de 30% matriz vs 70% clastos). La matriz se compone de ceniza media a gruesa, con alto contenido de plagioclasa fragmentada subangular, menores piroxenos y fragmentos vítreos. En proporción menor, existen fragmentos oxidados de posibles bloques alterados. Los bloques (todos andesíticos) más comunes son:

- Tipo 1: bloque andesítico-rojizo, porfídico, fenocristales de plagioclasa, euhedrales y ferromagnesianos, algunos de ellos alterados.
- Tipo 2: andesita gris-verdosa, porfídica, textura moderadamente sacaroide, plagioclasas frescas tabulares y minerales alterados intersticiales.
- Tipo 3: andesita rojiza, de matriz afanítica, altamente vesiculada, leve fracturamiento prismático y fenocristales de plagioclasa y piroxeno.
- Tipo 4: andesita negra y gris oscura, porfídica, rica en fenocristales de plagioclasa dentro de una matriz vítrea.

Los tamaños de bloques oscilan entre los 10-60 cm, siendo el rango más común de 15-20 cm; la mayoría son subangulosos a subredondeados de baja esfericidad. No presenta variaciones laterales o verticales considerables, a excepción de ciertas zonas ricas en bloques, que están clasto-soportadas. No se observa orientación preferencial del eje de los bloques andesíticos. No se observa el contacto de la unidad con algún depósito inferior, ni tampoco hay estructuras de desgasificación o líneas de vegetación debidamente marcadas.

**Afloramiento / Columna Estratigráfica PF07-38**

Distancia desde el cráter: 4953 m  
 Coordenadas: 649129 E, 2155118 N, 1905 msnm



PF07-38 (B)

PF07-38 (A)

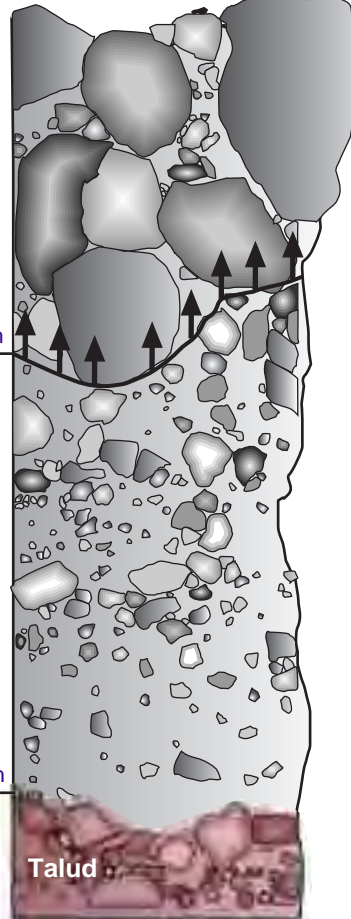
1.5 m

1.9 m

1 m

0 m

Dirección de Flujo



**Descripción Estratigráfica de Campo (por Unidad de Flujo)**

**PF07-38 (B):** Unidad de color gris claro a medio con un amplio contenido de bloques, de aproximadamente 1.5 m de espesor pero con irregularidad significativas producto de los grandes bloques depositados. Estructura masiva-caótica, de gradación difícil de identificar, pero con cierto rasgos de ordenamiento inverso, por la presencia de grandes bloques andesíticos sin matriz intersticial hacia la cima (aunque la porción de finos pudo haber sido fácilmente removilizada por lluvia o incipientes corrientes pluviales). El grado de selección es de moderado a bajo. Esta unidad es soportada por clastos en su mayor distribución, con muy pequeñas zonas alternadas soportadas por matriz. En global, la muestra presenta 10-15% de matriz vs 90-85% de bloques. La evidencia de erosión pluvial es muy fuerte, visible en los canales formados por agua. Los bloques presentan características monolíticas, con cambios texturales y de coloración. El tamaño de los bloques es muy variable, con tamaños que oscilan entre los 25-40 cm, pero con bloques mayores de hasta 1.5 m. No se observa orientación preferencial en ellos (disposición caótica), pero si zonas importantes de aglutinación con ausencia de matriz. La variedad de bloques encontrados es la siguiente:

- 1) Andesita afanítica, color gris-rosado: con mineralogía de plagioclasa, piroxeno y algunos fenocristales alterados de piroxeno y hornblenda.
- 2) Andesita porfídica color gris-café: moderado a bien compactado, minerales de plagioclasa, piroxeno, hornblenda, minerales de alteración, rico en fenocristales de plagioclasa.
- 3) Andesita negra a gris-oscuro, similar a las muestras previas pero con ausencia de vesículas y tamaño de cristales más fino dentro de una matriz vítrea.
- 4) Andesita gris oscura, de grano grueso y con fenocristales de plagioclasa y piroxeno (algunos alterados).

En general, no hay rasgos claros de imbricación o alineamiento de clastos. Los clastos son principalmente subangulosos a angulosos de baja esfericidad, con algunos pocos de moderada esfericidad. No existen variaciones laterales considerables. El contacto inferior es transicional, no presenta estructuras de desgasificación ni vegetación existente dentro o sobre el depósito.

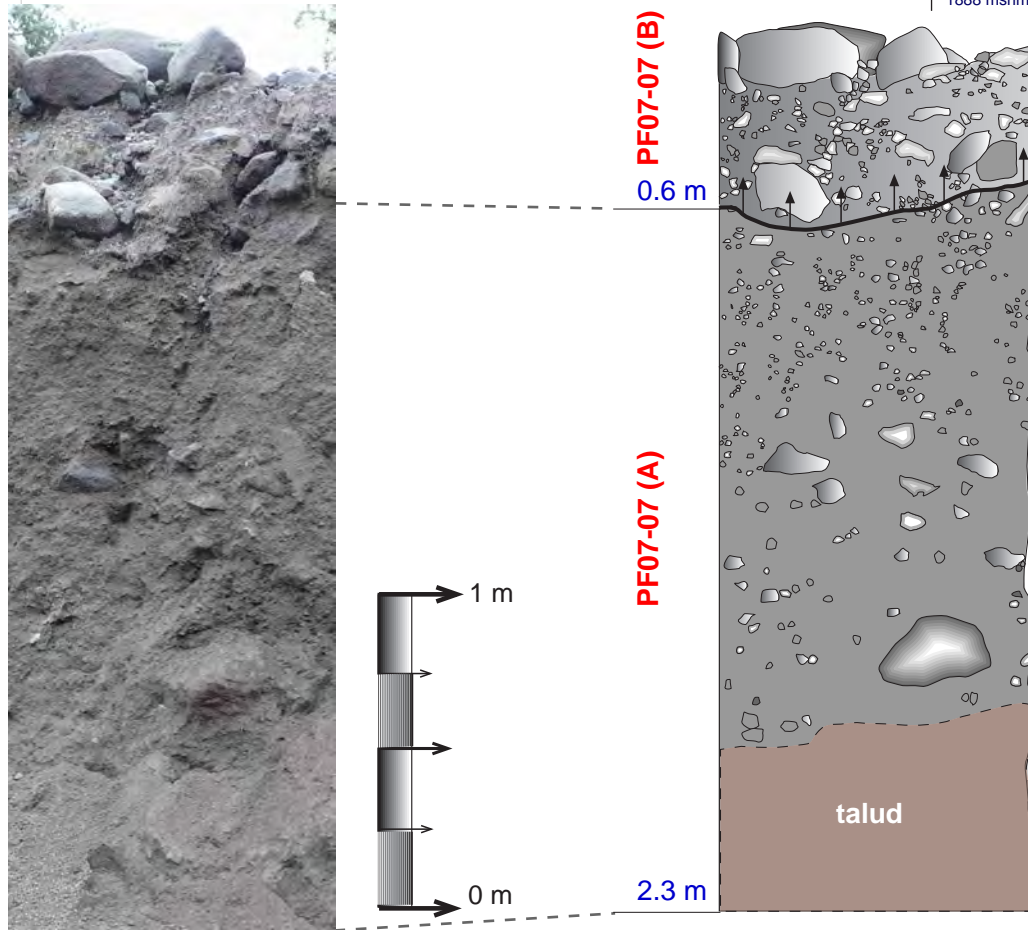
**PF07-38 (A):** unidad de color gris claro a tonalidades café-marrón. Espesor de 1.9 m, estructura general masiva-caótica, con bajo grado de compactación y gradación débilmente inversa, con grado de selección general malo y zonas moderadamente bien seleccionadas. Soportado por matriz, con un porcentaje de 70% con respecto a los bloques presentes (30%). Dicha matriz es de color gris claro, compuesta de: microcristales de plagioclasa, fragmentos angulosos pequeños de bloques andesíticos vítreos y algunos fragmentos rojizos alterados importantes. El tamaño general es de cenizas medianas a gruesas con cristales evidentes. Se observan pequeños líticos en la matriz de abundante vesicularidad. Con relación a los bloques, en la parte basal se presentan características de tamaño similares pero de texturas diferenciales. Un rasgo importante a considerar es la sensible imbricación de los clastos principales hacia la base del depósito. Los tipos de muestras más comunes son: 1) andesita porfídica grisacea compuesta de minerales de plagioclasa, piroxeno, anfíbol y otros minerales alterados. 2) andesita afanítica color gris oscuro, minerales de plagioclasa y piroxeno, bastante similar al tipo 1, pero con mayor grado de vesiculación. 3) Similar al tipo 1, pero con mayor proporción de plagioclasa, fractura prismática. 4) andesita porfídica color rojizo, minerales de plagioclasa y anfíbol. Los tamaños predominantes oscilan entre 12 y 14 cm, aunque hay bloques de hasta 30 cm. En general son angulosos y subangulosos de baja esfericidad. La unidad no presenta variaciones laterales importantes. El contacto inferior está cubierto por depósito de talud, no hay estructuras de desgasificación ni vegetación existente.





**Afloramiento / Columna Estratigráfica PF07-07**

Distancia desde el cráter: 5133 m  
 Coordenadas: 649298 E  
 2155045 N  
 1888 msnm



**Descripción Estratigráfica de Campo (por Unidad de Flujo)**

**PF07-07 (B):** unidad de color gris medio, de 0.6 m, con estructura general masiva, grado de compactación bajo, gradación inversa y selección moderada en la base y en la parte central, pero mala hacia la cima. La unidad está dominada por bloques (soportada por clastos) y zonalmente en pequeñas zonas por matriz. La matriz es de cenizas medias a gruesas, ricas en cristales de plagioclasa y piroxeno euhedrales, pero abundante en fragmentos subredondeados de matriz vítrea presente. Los líticos andesíticos varían en su característica textural general, desde algunas con fracturamiento prismático evidente hasta bloques subredondeados de matriz vítrea con cierta vesicularidad. El tamaño de los bloques oscila entre 12 y 45 cm, siendo los más predominantes de 20 cm en su eje mayor. La forman más comunes son subangulosos a angulosos, con baja esfericidad. Existen variaciones laterales sutiles en la concentración de clastos hacia el sur del depósito descrito. Los clastos se concentran marcando una clara tendencia de soporte por clastos (dominan bloques). El contacto entre la unidad inferior está entre difuso y transicional, variaciones que se presentan en algunas regiones del depósito solamente. Son de especial importancia la acumulación de bloques andesíticos de gran tamaño (55-70 cm) acumulados sobre el depósito sin orden preferencial. No es posible ver estructuras de desgasificación, pero si un nivel muy avanzado de erosión debida al escurrimiento de agua sobre el afloramiento. Se observa una fina capa de reciente vegetación posiblemente generada durante durante el último año.

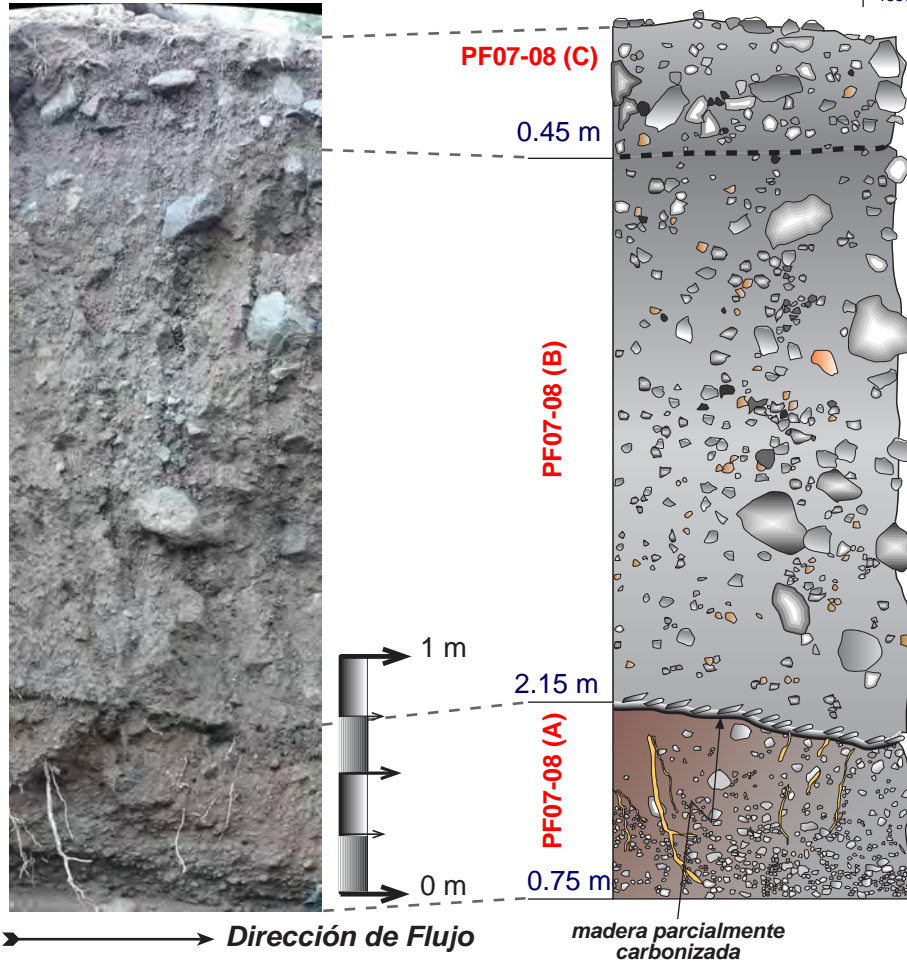
**PF07-07 (A):** Gris oscuro a café, de 2.3 m de espesor, con estructura masiva en donde no es posible identificar estratos marcado, sino un gran paquete masivo. Su grado de compactación es bajo, tiene una gradación incipiente simétrica (de inversa a normal). La selección es moderadamente buena, el soporte de la unidad de flujo es de matriz (en aproximadamente 70-75% de la muestra). Esta matriz presenta características granulométricas de grano medio (cenizas medias a muy gruesas), con componentes de cristales de plagioclasa, fragmentos andesíticos rojizos producto de bloques alterados y fragmentos andesíticos negros posiblemente relacionados a fragmentos líticos vítreos. Los líticos principales son de tipo monolitológico (andesita) con variaciones de rasgos texturales importantes. El tamaño promedio de los bloques es de 4-8

cm, de formas subangulosas y subredondeadas, de baja esfericidad. El depósito presenta cierta homogeneidad textural aunque resulta complicado de definir debido a su importante grado de erosión. El contacto inferior no puede ser reconocido debido a que presenta múltiples depósitos de talud por inestabilidad de flanco. El contacto superior es transicional. No existen estructuras de desgasificación ni vegetación existente.

**Afloramiento / Columna Estratigráfica**

**PF07-08**

Distancia desde el cráter: 5264 m  
 Coordenadas: 649466 E, 2155060 N, 1857 msnm



**Descripción Estratigráfica de Campo (por Unidad de Flujo)**

**PF07-08 (C):** color gris medio a oscuro, 0.45 m de espesor, estructura masiva, bajo grado de compactación y gradación moderadamente simétrica (inversa a normal), el grado de selección es malo y el soporte es en matriz (60% vs 40% bloques). Los bloques son andesitas texturalmente muy variados, pero con amplia presencia de fragmentos oxidados de cierta vesicularidad, misma proporción que los líticos de matriz vítrea. En general, los del primer tipo son más abundantes como fragmentos pequeños, los descritos posteriormente son más comunes en los líticos mayores de la muestra. El tamaño oscila entre 5 y 30 cm, siendo los más comunes de entre 12-18 cm, subangulosos y angulosos de baja esfericidad. No presenta variaciones laterales considerables; el contacto inferior es difuso, no se observan estructuras de desgasificación marcadas ni líneas de vegetación.

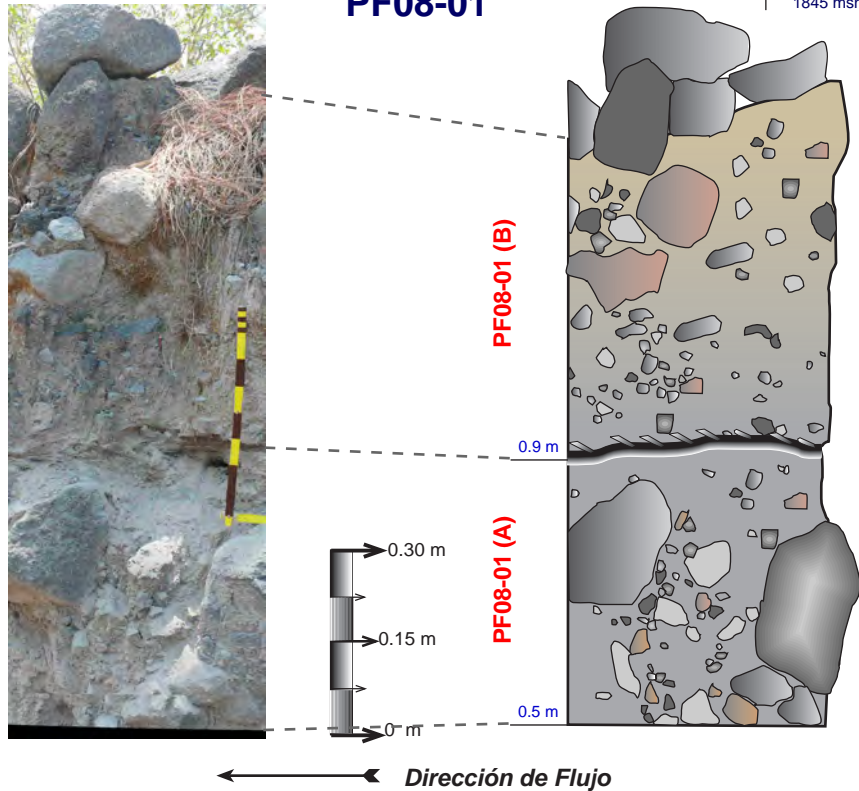
**PF07-08 (B):** unidad color rojizo-negro de espesor aproximado de 2.15 m. Estructura masiva caótica con un grado de compactación bajo a moderado, gradación moderadamente simétrica (inversa a normal), de mala selección. El depósito está soportado por matriz de grano fino (ceniza fina y media), rico en cristales de plagioclasa, algunos óxidos rojizos y vítreos. La matriz compone el 60% de la unidad, siendo los 40% restantes bloques. Existe una gran variedad en las características texturales de los bloques, siendo todos andesíticos, principalmente vítreos y frescos con cierta vesicularidad. El tamaño está entre 5 y 35 cm, siendo los fragmentos más acentuados los de 10 cm. Subredondeados y subangulares de baja esfericidad. En general, resulta homogéneo en sus características generales, sin poderse observar diferentes niveles o estratos, ni tampoco variación vertical en el depósito. El contacto inferior es marcadamente erosivo y se evidencia fácilmente por las raíces alineadas en el depósito. El contacto superior es difuso. No presenta estructuras de desgasificación o vegetación dentro de la unidad, a excepción del carbón alineado en la base del depósito y que será descrito con más detalle en la unidad de flujo siguiente.

**PF07-08 (A):** unidad de color café-ocre a tonalidades rojizas-naranja. Espesor de 0.75 m, de estructura masiva, con bajo grado de compactación, sin gradación visible fácilmente, de muy buen grado de selección, soportado por matriz casi por completo, con un porcentaje de 90% de matriz vs 10% de clastos. La matriz se compone de ceniza fina a mediana, con cristales de plagioclasa subangulares y posible anfíbol subredondeado. Los líticos varían entre lavas andesíticas vesiculadas de matriz vítrea y un gran contenido de pómez color café claro a ocre, con mineralogía de plagioclasa, anfíbol (posiblemente hornblenda) y en menor proporción piroxeno. El tamaño medio de los líticos encontrados oscila entre 1 y 10 cm, con un tamaño medio de 2 cm. La mayoría son subredondeados a redondeados de moderada a alta esfericidad. Se presenta bastante uniforme hacia los lados del punto de afloramiento, sin embargo, su continuidad es muy limitada hacia el Sureste del depósito (aguas abajo). El contacto con la unidad superior es marcadamente erosivo, mostrando el desarrollo de una capa de pocos centímetros de ceniza muy fina a fina con estratificación tabular uniforme. El contacto inferior no es visible. No presenta estructuras de desgasificación claras. Dentro de la unidad de flujo es posible observar una cantidad importante de vegetación seca en todos los niveles de la unidad expuestos, pero principalmente los localizados hacia la base del depósito. En el contacto superior existe concentración de pequeños troncos (de 1-5 mm de diámetro) carbonizados y alineados en dirección preferencial al flujo. Hacia la base de la unidad expuesta se observa un marcado empaquetamiento de la granulometría, prevaleciente de lapilli muy fino a fino con pobre presencia de matriz (soporte clasto a clasto).

gradación visible fácilmente, de muy buen grado de selección, soportado por matriz casi por completo, con un porcentaje de 90% de matriz vs 10% de clastos. La matriz se compone de ceniza fina a mediana, con cristales de plagioclasa subangulares y posible anfíbol subredondeado. Los líticos varían entre lavas andesíticas vesiculadas de matriz vítrea y un gran contenido de pómez color café claro a ocre, con mineralogía de plagioclasa, anfíbol (posiblemente hornblenda) y en menor proporción piroxeno. El tamaño medio de los líticos encontrados oscila entre 1 y 10 cm, con un tamaño medio de 2 cm. La mayoría son subredondeados a redondeados de moderada a alta esfericidad. Se presenta bastante uniforme hacia los lados del punto de afloramiento, sin embargo, su continuidad es muy limitada hacia el Sureste del depósito (aguas abajo). El contacto con la unidad superior es marcadamente erosivo, mostrando el desarrollo de una capa de pocos centímetros de ceniza muy fina a fina con estratificación tabular uniforme. El contacto inferior no es visible. No presenta estructuras de desgasificación claras. Dentro de la unidad de flujo es posible observar una cantidad importante de vegetación seca en todos los niveles de la unidad expuestos, pero principalmente los localizados hacia la base del depósito. En el contacto superior existe concentración de pequeños troncos (de 1-5 mm de diámetro) carbonizados y alineados en dirección preferencial al flujo. Hacia la base de la unidad expuesta se observa un marcado empaquetamiento de la granulometría, prevaleciente de lapilli muy fino a fino con pobre presencia de matriz (soporte clasto a clasto).

**Afloramiento / Columna Estratigráfica**  
**PF08-01**

Distancia desde el cráter: 5507 m  
Coordenadas: 649714 E, 2154994 N, 1845 msnm



**Descripción Estratigráfica de Campo (por Unidad de Flujo)**

**PF08-01 (B):** color gris a tonalidades amarillas hacia la cima, con importante presencia de vegetación seca que enmascara las características originales del depósito. De estructura masiva, muy bajo grado de compactación y pobre selección hacia la cima, pero buena en la base de la unidad. Gradación inversa marcada, evidente por la acumulación de bloques sin orientación preferencial hacia la cima del depósito. La unidad está soportada por matriz, con un porcentaje mayor en la base (75% matriz) comparado con su cima, en donde hay empobrecimiento marcado de ésta y un soporte de clastos. Está compuesta de ceniza media a fina, de gran contenido de fragmentos moderadamente alterados y subredondeados vesiculares. Los líticos que la componen son muy andesíticos. La unidad es monolitológica pero dominan dos tipos de bloques principales, aquellos moderadamente vesiculares de matriz vítrea, mineralogía de Plagioclasa y Piroxeno, y por otro lado, los bloques andesíticos con ciertos rasgos de alteración (muestra color naranja-rojiza) con mineralogía similar a la anterior, pero con variaciones significativas a nivel de la matriz. Los bloques mayores se localizan coronando la unidad (de entre 10 y 25 cm), mientras que bloques de menores dimensiones se presentan hacia la base del depósito (de entre 4 y 15 cm). La mayoría son subangulosos y angulosos de alta esfericidad. Esta concentración de bloques se debe a que este afloramiento corresponde a la región final del flujo emplazado, pendiente hacia arriba (hacia el NW) la abundancia de bloques en la cima del depósito disminuye significativamente. El contacto inferior es marcadamente erosional, no presenta estructuras de desgasificación pero si abundante vegetación postdeposicional hacia la cima del depósito. De igual manera, en el contacto con la unidad inferior es posible ver pequeños fragmentos (menores a 3 cm de madera con cierto grado de carbonización).

**PF08-01 (A):** color gris medio a claro, de 0.5 m de espesor, con estructura general masiva, muy bajo grado de compactación y gradación no evidente. Su grado de selección es malo y está soportado por matriz que se ubica entre los intersticios de los grandes

bloques andesíticos. No muestran rasgos claros de imbricación u orientación preferencial, normalmente con formas subangulosas a angulosas de baja esfericidad (los más grandes) a moderada (en los bloques más pequeños). El tamaño de los bloques oscila entre los 5 y 25 cm. Los tipos de bloques andesíticos presentan alrededor de las mismas características que los de la unidad anterior, pero con una clara predominancia de bloques andesíticos de matriz vítrea con fracturamiento prismático (de apariencia fresca). No se observan variaciones laterales considerables, el contacto superior es erosivo, mientras que el inferior está enmascarado por costras remanentes por el paso de lahares. No presenta estructuras de desgasificación y una delgada capa de vegetación generada durante los últimos temporales de lluvia (post-deposicional) cubre el depósito.



El emplazamiento de los flujos piroclásticos generados en el Volcán de Colima, como ya se mencionó, está marcadamente controlado por las características topográficas. El rasgo más importante que controla el movimiento y emplazamiento de los FBC es la pendiente misma del volcán (Sarocchi, 2006). Rodríguez-Elizarrarás (1991) y Saucedo (2004) han descrito un quiebre de pendiente mayor en el Volcán de Colima, que va de  $> 30^\circ$  hasta  $< 20^\circ$ . Para este estudio, hemos encontrado que este quiebre de pendiente se ubica a 1910 m de distancia desde el cráter (cota 2700 msnmm) para el caso de la Barranca de Montegrande y a 2360 m de distancia en la Barranca de la Arena.

Para un mejor ordenamiento, los afloramientos descritos se han dividido en tres zonas principales: zona proximal, zona media y zona distal. Estas fueron definidas de manera arbitraria para el presente estudio en las dos Barrancas de estudio, tomando en cuenta la distancia desde la fuente (el cráter activo) –Figura VI.3 Y VI. 4 – y la distribución de los sitios de descripción.

### VI.2.1/ Identificación de Depósitos Piroclásticos y de Lahar

Con base en las propiedades físicas sintetizadas en la Sección III.3, la gran mayoría de los depósitos piroclásticos descritos en las columnas/afloramientos de las páginas previas corresponden a depósitos de flujos de bloques y ceniza (FBC). El principal criterio de clasificación ha sido la ausencia total de pómez original, así como la predominancia de bloques densos, juveniles, pobremente vesiculados, siempre soportados por una matriz rica en ceniza.

Sin embargo, durante el trabajo de campo, en muchos de los sitios resultó complicada la identificación y discriminación entre aquellos depósitos piroclásticos primarios y los depósitos retrabajados. Las características tanto de estratificación, gradación, clasificación, tamaño y disposición de clastos son muy parecidas en los depósitos de FBC y lahares.

Asimismo, la confusión se produce porque muchos de los depósitos de retrabajo fueron transportados a cortas distancias desde su sitio primario de depositación. Esto favorece que se preserven sus características originales de FBC aún cuando los depósitos hayan sido afectados por un proceso de retrabajo.

Con el fin de discriminar entre depósitos primarios y secundarios, Sarocchi (2006) utiliza parámetros morfométricos, usando dimensiones fractales y análisis de Fourier. La aplicación de esta valiosa técnica está fuera del alcance de los propósitos de la presente tesis.



Aún así, algunos de los criterios fundamentales que usamos en el campo para la separación entre estos dos tipos de depósitos fueron los siguientes:

- En algunos depósitos de lahar en la Barranca de Montegrando es posible ver la difusa acumulación de bloques de mayor tamaño hacia la cima, con cierta orientación preferencial, sin estructuras de desgasificación -caso afloramientos PF07-42(A), PF06-45(1), PF07-29(D) y sobre todo, hacia la cima de PF08-08 y PF07-27-.
- Por otro lado, en la Barranca de la Arena, en zonas proximales los lahares presentan amplio soporte por matriz con líticos de tamaño reducido (alrededor de 7 cm), con algunos bloques de mayor tamaño en la cima del depósito y un buen grado de selección –caso unidades PF07-02 y PF07-03-. Sin embargo, en la zona distal, los depósitos de lahar son dominados por bloques, algunos de gran tamaño (de hasta 1.5 m en el afloramiento PF07-38) mientras que otros, de aproximadamente 60 cm (en PF07-07) se ubican hacia la cima del depósito, alineados sobre su eje mayor.

A pesar de que los criterios previamente expuestos pudieran no ser lo suficientemente discriminarios, afortunadamente para la presente investigación, se cuenta con un registro estratigráfico detallado consecutivo de los meses y años posteriores a las explosiones que nos permite reconocer con certeza que tipo de depósitos son en cada caso .

Las unidades de flujo estudiadas en los principales afloramientos representan el registro físico de los principales eventos explosivos en el 2005 para las dos Barrancas de estudio. En base a los criterios expuestos en la *Tabla V.1*, los eventos explosivos más importantes productores de depósitos de FBC fueron en *Barranca Montegrando*:

- 15 de Mayo
- 30 de Mayo
- 05 de Junio
- 05 de Julio
- 16 de Septiembre

y en *Barranca La Arena*:

- 09 de Junio
- 05 de Julio
- 16 de Septiembre

De igual manera, para la identificación del evento explosivo al que corresponden cada una de las unidades de flujo, se hizo un seguimiento exhaustivo de la posición que ocuparon los diferentes FBC durante su emplazamiento y por ende de las secuencias estratigráficas esperadas en cada uno de los afloramientos una vez que estos fueran expuestos (posterior a temporales de lluvias).



Con base a ello, se pudo decidir directamente cuales de las unidades descritas son primarias y cuales fueron formadas por removilización en lahares. En las *Figuras VI. 5 y VI. 6* se muestra dicha configuración.

### VI.2.2/ Barranca Montegrande

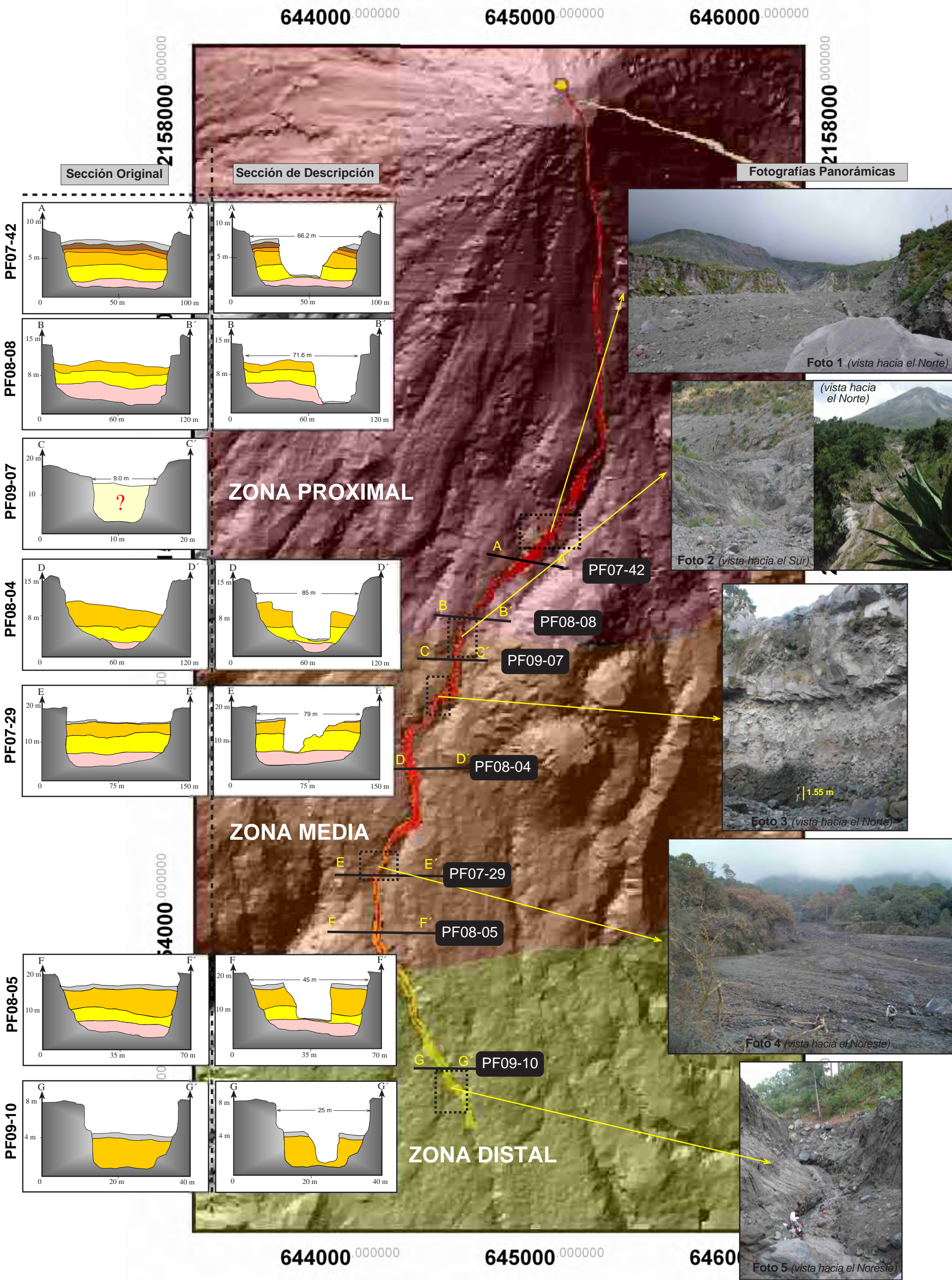
Los flujos piroclásticos en esta Barranca alcanzaron más de 5 km de distancia. Se observa una sobreposición de los depósitos provocados por las principales explosiones. Debido a que no existieron lluvias severas entre los meses de enero y junio del 2005, es posible ver en mayoría de los depósitos una regular estratificación tabular subparalela. Fue hasta principios de Julio donde el temporal de lluvias inició la excavación de algunas zonas de los afloramientos y formó canales de erosión que exhibieron las principales Unidades de Flujo descritas.

De acuerdo a la separación de los afloramientos de FBC propuesta con respecto a la distancia desde la fuente, la zona proximal en la Barranca de Montegrande estaría conformada por las siguientes columnas: *PF07-18, PF07-42, PF06-45 y PF08-08* (zona de transparencia rojiza en la *Figura VI.5*).

De estos cuatro afloramientos, *PF07-18* presenta características contrastantes con respecto al resto de los depósitos. Este es el único punto descrito (en ambas barrancas de estudio) que se encuentra arriba del quiebre de pendiente, en una zona de aproximadamente 27°. Difiere fuertemente del resto de los depósitos de la zona proximal y de las otras zonas por las siguientes características:

- a) las unidades de flujo presentan espesores pequeños y regulares entre sí (entre 0.5 y 0.7 m); esto contrasta fuertemente con los demás depósitos de FBC que presentan entre 1 y hasta 7.5 m por unidad de flujo. Esta característica, propia de este afloramiento, se debe posiblemente al paso rápido y altamente energético de los flujos en este punto.
- b) El contacto entre las unidades es muy difuso y solamente se puede reconocer por una muy débil gradación inversa hacia la cima de algunos flujos. La continuidad de estas unidades probablemente se debe al breve espacio de tiempo en que los flujos fueron depositados.
- c) El tamaño de los bloques es significativamente menor que en el resto de los depósitos. A pesar de que algunos bloques alcanzan hasta 15 cm –bloques finos-, la mayoría de los líticos oscila en el rango de lapilli grueso a muy grueso (ver *Figura VI.2*).

El resto de los afloramientos presentan características globalmente similares entre sí, mismas que serán discutidas con más detalle en la Sección VI.3 - Correlación Estratigráfica. Estos tres afloramientos restantes de la zona proximal se depositaron en un área de anchos considerables,



**Figura VI.5**

Modelo de Elevación derivado de imagen LIDAR (INEGI, 2005) sobre la Barranca Montegrande en la que se muestran los siguientes rasgos:

a) Ubicación de algunas secciones que muestran las principales unidades de flujo en la manera que depositaron (sección original) y la sección al momento de la descripción -Sección Izquierda-. La tabla de colores usados se detalla a la derecha del texto.

b) Zonas arbitrarias usadas para la ubicación de muestras. 1- Proximal: transparencia roja. 2- Media: transparencia naranja. 3- Distal: transparencia amarillo-verdosa.

c) Derecha: fotografías panorámicas de algunos rasgos importantes de la Barranca Montegrande. Las descripciones de las fotografías son explicadas dentro del texto. Fotografías tomadas por el autor de la presente tesis en diferentes salidas a campo durante el periodo 2005-2009

- Depósitos Antiguos (Flujos de Lava y FP)
- Depósitos de Lahar -posteriores a FP 2005
- Depósito de FP - 16 de Septiembre, 2005
- Depósito de FP - 05 de Julio, 2005
- Depósito de FP - 05 de Junio, 2005
- Depósito de FP - 30 de Mayo, 2005
- Depósito de FP - 15 de Mayo, 2005



donde posiblemente los flujos pudieron disminuir su velocidad (*Figura VI.5 c- Foto 1*). Posterior al punto *PF08-08* y antes del punto *PF07-15*, la Barranca de Montegrande sufre un confinamiento mayor debido a que la roca sustrato sobre la que depositaron los FBC del 2005 son flujos de lava antiguos de cierta característica fluidal (ver *Figura VI.5c- Foto 2*).

La Zona Media está conformada por los siguientes afloramientos: *PF07-15*, *PF08-04*, *PF07-29* y *PF08-05* (zona de transparencia naranja en la *Figura VI.5*). Además del quiebre de pendiente mayor en el Volcán de Colima (cambio de  $>30^\circ$  a  $\sim 20^\circ$ ), existen otros cambios en la pendiente, mucho más locales, asociados a las rocas base (basamento pre-flujos) sobre las que se depositaron los FBC durante el 2005. El caso más evidente en la Barranca de Montegrande se localiza poco antes del punto *PF07-15*. En este caso, el “basamento” está compuesto de lava antiguas que forma un acantilado vertical de aproximadamente 15 metros de altura (*Figura VI.5c- Foto 3*). Este acantilado tendrá un efecto directo en el movimiento del flujo piroclástico tal como se puede apreciar en la separación entre los afloramientos de base y cima en el afloramiento *PF07-15*, discusión que será retomada en la parte de Interpretación.

Después del salto en el paredón antes descrito, los flujos continuaron su movimiento pendiente abajo debido a que preserva suficiente energía cinética y a que posiblemente fueron continuamente alimentados por pulsos posteriores. La evidencia de que los flujos recuperan sus propiedades intrínseca de transporte poco después de estos cambios bruscos de pendiente se muestra en el afloramiento siguiente: *PF08-04*. En este se observan dos unidades de flujo claramente definidas, con características estratigráficas y texturales similares, compuestas por varios horizontes de flujo. Las unidades de flujo, además, están separadas por un contacto marcadamente erosional. Depósitos con características similares se muestran en el resto de los afloramientos de la zona media. El afloramiento *PF07-29* es el de mayor espesor descrito en la presente tesis (poco más de 12 m de espesor total). Del mismo modo, en esta zona en particular el flujo encuentra el ancho máximo medido para la Barranca de Montegrande (79 m). Posiblemente debido a la regularidad del paso y emplazamiento de los flujos piroclásticos en esta pequeña zona de ensanchamiento, las unidades de flujo presentan cierta regularidad textural cuando hacemos una comparativa lateral en los depósitos (*Figura VI.5c- Foto 4*).

La zona Distal de Montegrande está conformada por solamente dos afloramientos: *PF07-28* y *PF07-27*. Estos presentan unidades de flujo simples, sin horizontes de estratificación marcados y de espesores relativamente menores que los FBC de las zonas previas. En este punto, la barranca es muy estrecha y el flujo termina siendo muy confinado (*Figura VI.5c- Foto 5*). El significado estratigráfico de estos afloramientos será descrito en el apartado VI.3. Esta zona está representada en la *Figura VI.5* en la región de transparencia amarillo-verdosa.





### VI.2.3/ Barranca La Arena

En esta Barranca, los flujos alcanzaron cerca de 6 km de distancia, siendo algunos de los más distales generados desde la fase pliniana de 1913. Al igual que en la Barranca de Montegrande, existe un fuerte control topográfico para el emplazamiento de los FBC. La diferencia principal reside en que el quiebre de pendiente en La Arena está localizado a 2360 m de distancia en línea recta desde el cráter, significativamente más alejado que en la Barranca de Montegrande. Esto se debe a que la distribución de pendientes en el Volcán de Colima no son simétricas (principalmente por acumulación de depósitos de flujos de lava o piroclásticos antiguos).

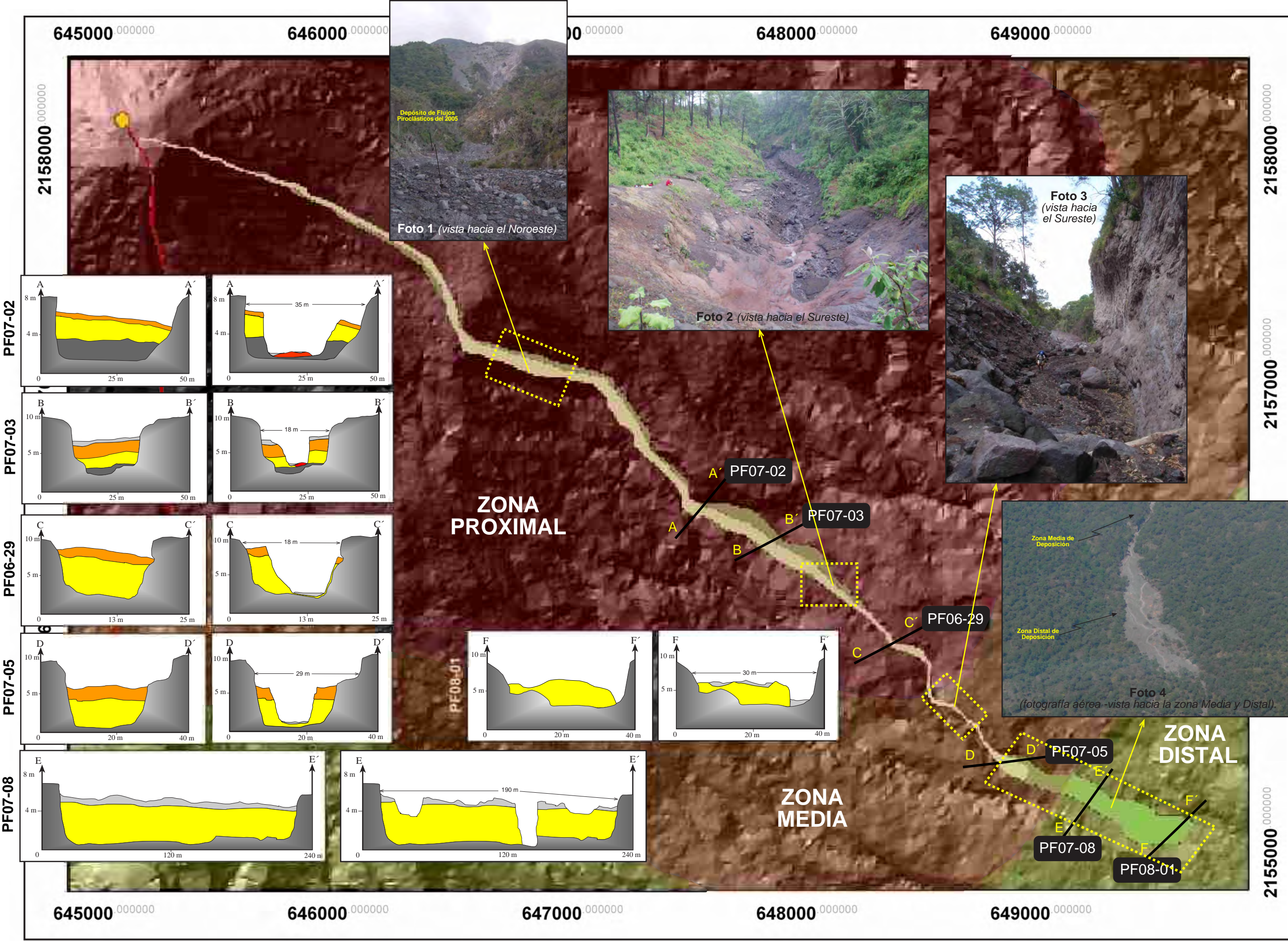
La zona proximal de esta barranca está conformada por los afloramientos *PF07-02*, *PF07-03* y *PF06-28* (zona de transparencia rojiza en la *Figura VI.6*). Antes del punto *PF07-02* una pendiente moderadamente pronunciada (25-30°) es producida por una serie de flujos de lavas antiguos de cierto aspecto “fluidal” –posible andesita basáltica no fechada- (ver *Figura VI.6c- Foto 1*). Los puntos *PF07-02* y *PF07-03* se localizan en una zona de la barranca relativamente amplia donde los flujos alcanzaron a rellenar y nivelar la topografía preexistente (*Figura VI.6c Foto 1-base*). Después del punto *PF07-03*, la barranca entra a una zona cada vez más confinada y de cambios constante en la topografía.

En esta zona se depositaron unidades piroclásticas, sin embargo, fueron rápidamente erosionadas debido a que la roca base preexistente (flujos de lava) funcionó como un lubricante natural sobre el cual las corrientes de lahar pudieron erosionar con mayor facilidad (ver *Figura VI.6c- Foto 2*). El depósito *PF06-28* fue descrito en los primeros meses del 2006, sin embargo, después del temporal de lluvias de ese año, este y la gran mayoría de afloramientos depositados 800 metros aguas abajo después de este punto, fueron fácilmente removilizados, favorecidos por el efecto de una barranca estrecha y donde el flujo depositó inestablemente.

La zona media está marcada por una modificación significativa de las condiciones de transporte y consecuentemente de deposición. En el mapa de la *Figura VI.6* se marca como una zona de transparencia naranja. Justo antes de esta zona, los flujos pasaron de una región altamente confinada dentro de la barranca hacia una zona de gran amplitud, similar a un abanico aluvial, donde pierde significativamente espesor, pero ganan anchura (ver *Figura VI.6- Foto 3 y 4*). Los afloramientos de la zona media (*PF07-05*, *PF07-20*, *PF07-38*) se encuentran depositados en este gran abanico aluvial, mostrando características estratigráficas similares.



Los afloramientos que incluyen la zona distal son: *PF07-07*, *PF07-08* y *PF08-01*. Cercano al punto *PF07-08* el abanico alcanza el ancho máximo reportado entre las barrancas estudiadas (185.95 m de longitud transversal) –ver *Figura VI.6*-. Por otro lado, este mismo afloramiento es uno de los pocos estudiados en donde la erosión ha sido lo suficientemente fuerte para bisectar los depósitos de FBC y exhibir el contacto real entre los depósitos generados durante el 2005 y los previos (posible flujo de ceniza de la explosión pliniana de 1913). Se muestra en la en la *Figura VI.6* en la región como una transparencia amarillo-verdosa.



**Figura VI.6**  
 Modelo de Elevación derivado de imagen LIDAR (INEGI, 2005) sobre la Barranca La Arena en la que se muestran los siguientes rasgos:  
 a) Ubicación de algunas secciones que muestran las principales unidades de flujo en la manera que depositaron (sección original) y la sección al momento de la descripción -Sección Izquierda- La tabla de colores usados se detalla a la derecha del texto.  
 b) Zonas arbitrarias usadas para la ubicación de muestras. 1- Proximal: transparencia roja. 2- Media: transparencia naranja. 3- Distal: transparencia amarillo-verdosa.  
 c) Derecha: fotografías de algunos rasgos importantes de la Barranca Monte grande. Las descripciones de las fotografías son explicadas dentro del texto. Fotografías tomadas por el autor de la presente tesis en diferentes salidas a campo durante el periodo 2005-2009, excepción de Foto 4 (propiedad de PC Jalisco).

Depósitos Antiguos (Flujos de Lava y FP) [Color: Gray]  
 Depósitos de Lahar -posteriores a FP 2005 [Color: Light Gray]  
 Depósito de FP - 16 de Septiembre, 2005 [Color: Red]  
 Depósito de FP - 05 de Julio, 2005 [Color: Orange]  
 Depósito de FP - 09 de Junio, 2005 [Color: Yellow]



### VI.3 / Correlaciones Estratigráficas

De los afloramientos analizados en la Barranca de Montegrando y La Arena se hizo la debida correlación estratigráfica considerando los principales eventos productores de flujos de bloques y ceniza durante el 2005. Se debe de hacer la consideración inicial que los depósitos generados durante estas explosiones presentan características texturales muy similares entre sí y sobre todo, tienden a cambiar drásticamente sus propiedades durante su recorrido pendiente abajo, así como lateralmente dependiendo de la posición con respecto al eje de la barranca.

Esto complica fuertemente la simple correlación estratigráfica de las unidades de flujo. En la estratigrafía convencional, las unidades se correlacionan con base en características únicas y distinguibles de estructura, granulometría e inclusive composición química. Como ya se explicó, para los depósitos de FBC del Volcán de Colima estas consideraciones son vanas, ya que se carecen de parámetros discriminatorios entre los depósitos.

Esta complicación se resolvió adecuadamente mediante la evidencia *físico-temporal* de los depósitos. Esto es, mediante un detallado control de los alcances y distribución precisa de cada uno de los depósitos que se emplazaron en las barrancas de estudio durante el 2005, obtenido gracias a la evidencia fotográfica lograda en visitas de campo antes, durante y después de la fase generadora de FBC se puede comparar adecuadamente que depósitos se pueden encontrar en cada zona de estudio (Afloramientos).

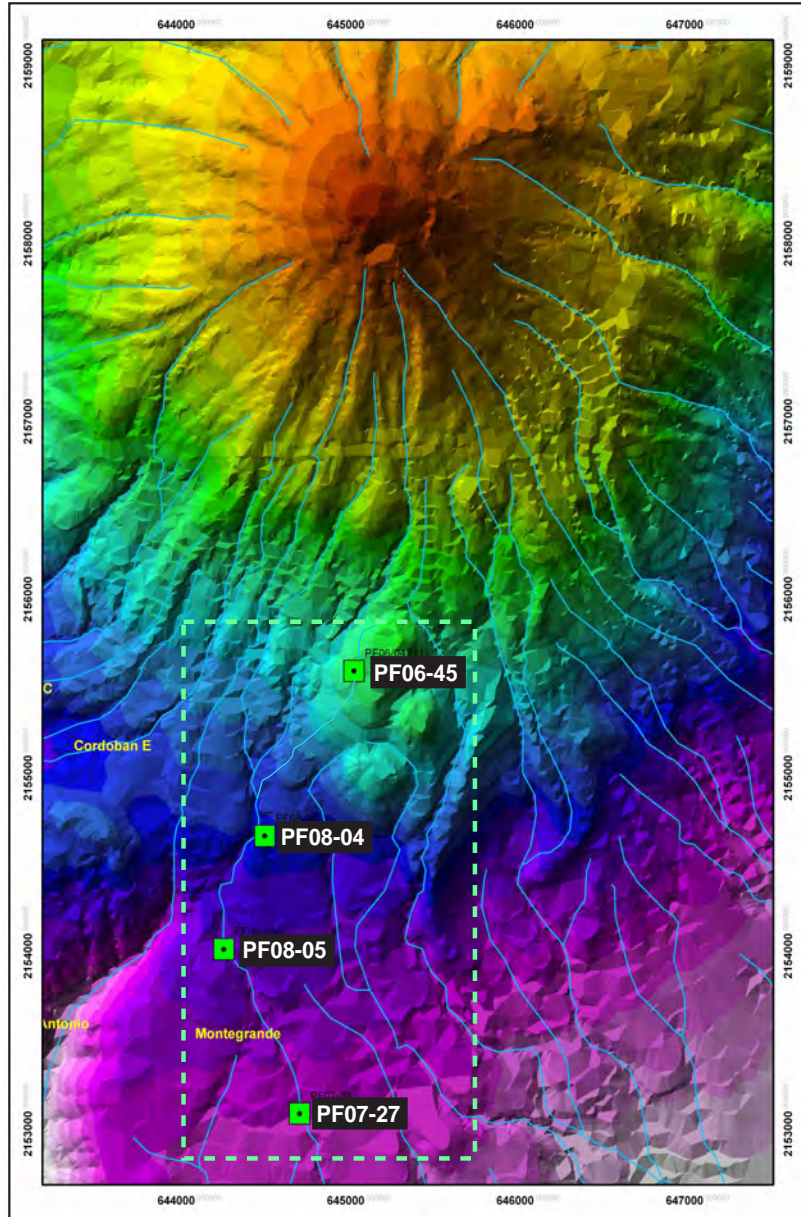
Es importante aclarar que de no ser por dichas visitas a campo, hubiera sido muy complicado tener un control directo de la distribución y emplazamiento de los FBC sobre cada zona de las barrancas y por ende, resultaría casi imposible definir en cada afloramiento que unidades de flujo depositaron. Este caso especial de reconstrucción estratigráfica, como ya se detalló, solamente es posible soportarla gracias al oportuno control de depositación que se llevó durante las visitas a campo. De no haber realizado dichas visitas, hubiera resultado virtualmente imposible definir cada uno de los depósitos, ya que presentan características texturales practicamente idénticas.

Una vez definido lo anterior, se establecieron las adecuadas correlaciones entre las diferentes unidades de flujo, que a continuación se separan y detallan para los principales eventos que rellenaron las Barrancas de estudio:

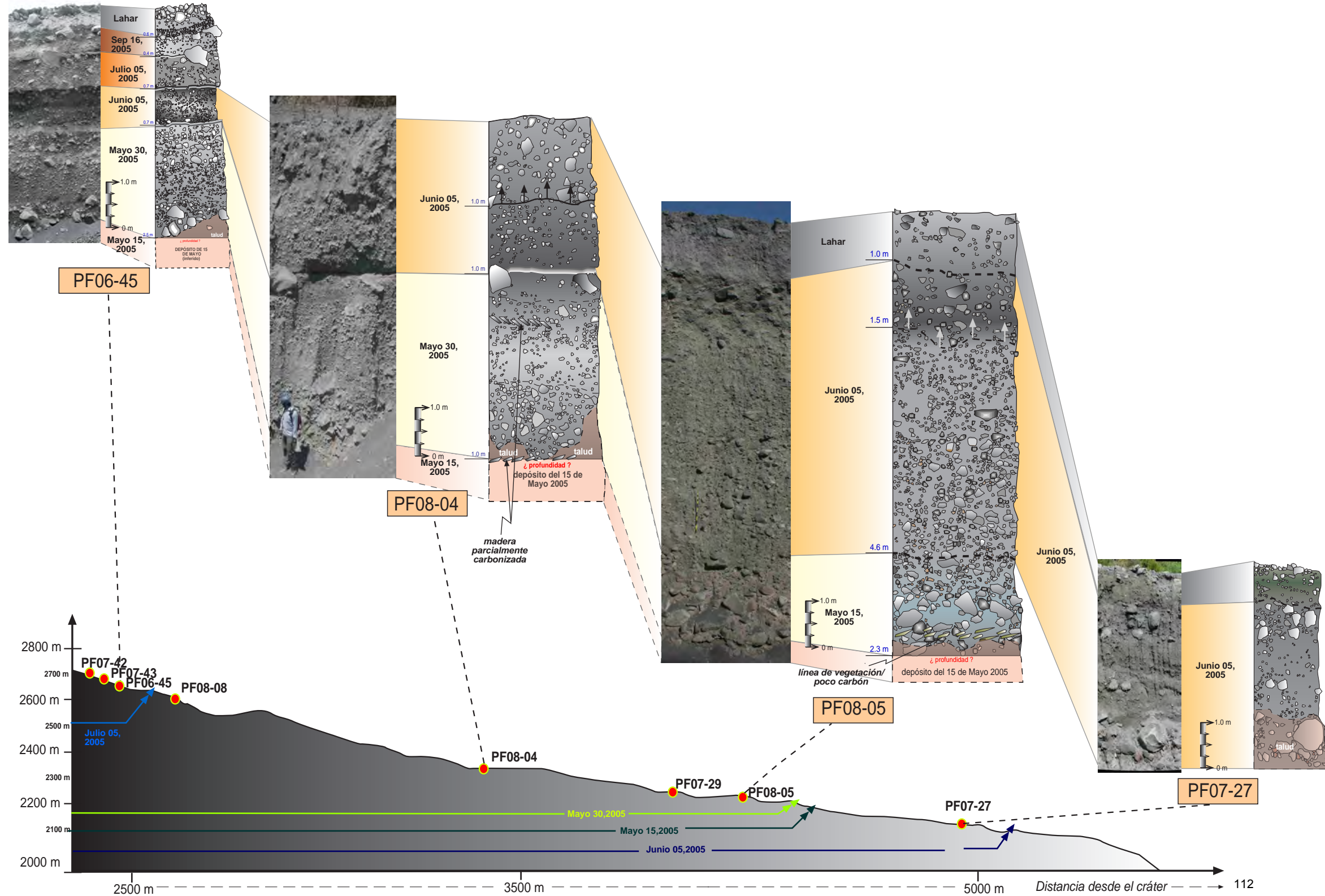
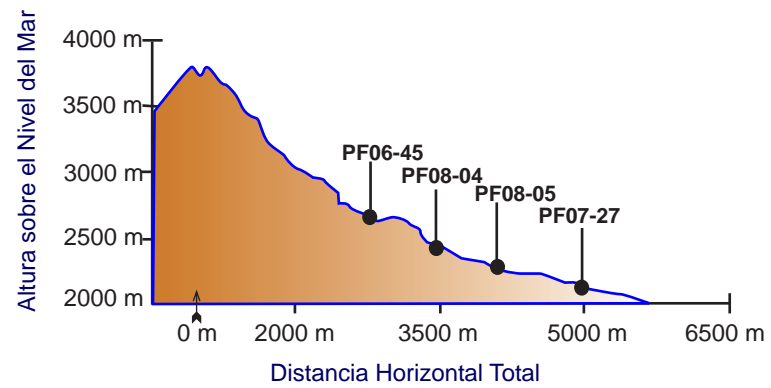
# VOLCÁN DE COLIMA

## sección completa

### Depósitos de Flujos de Bloques y Ceniza Barranca de Montegrande



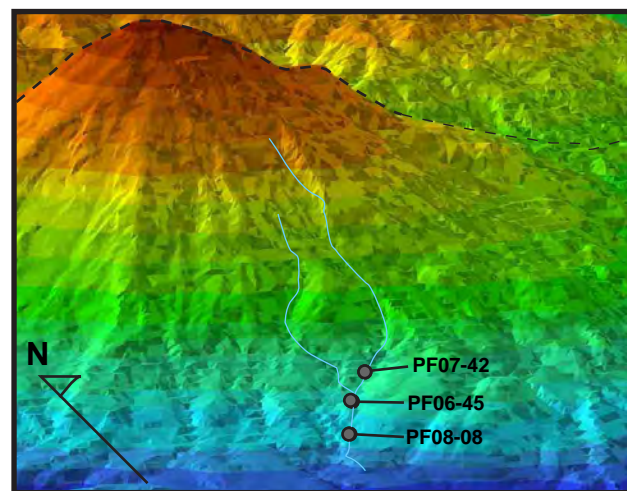
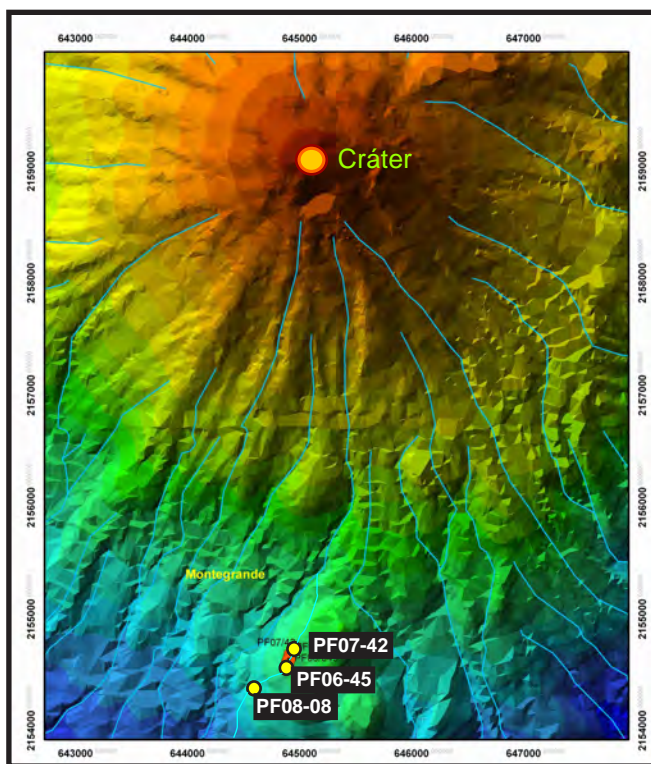
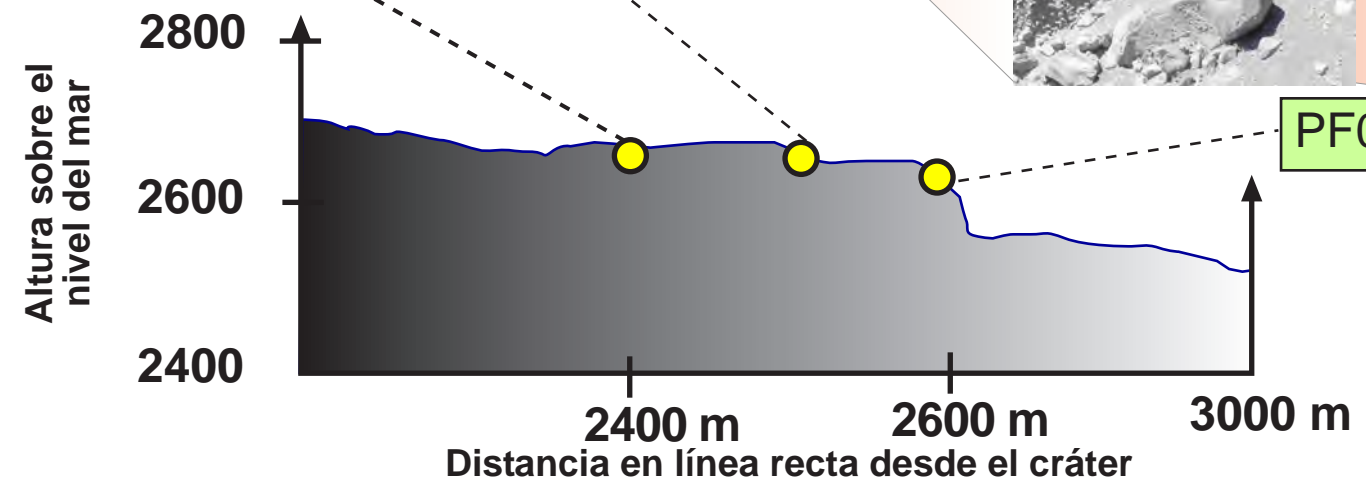
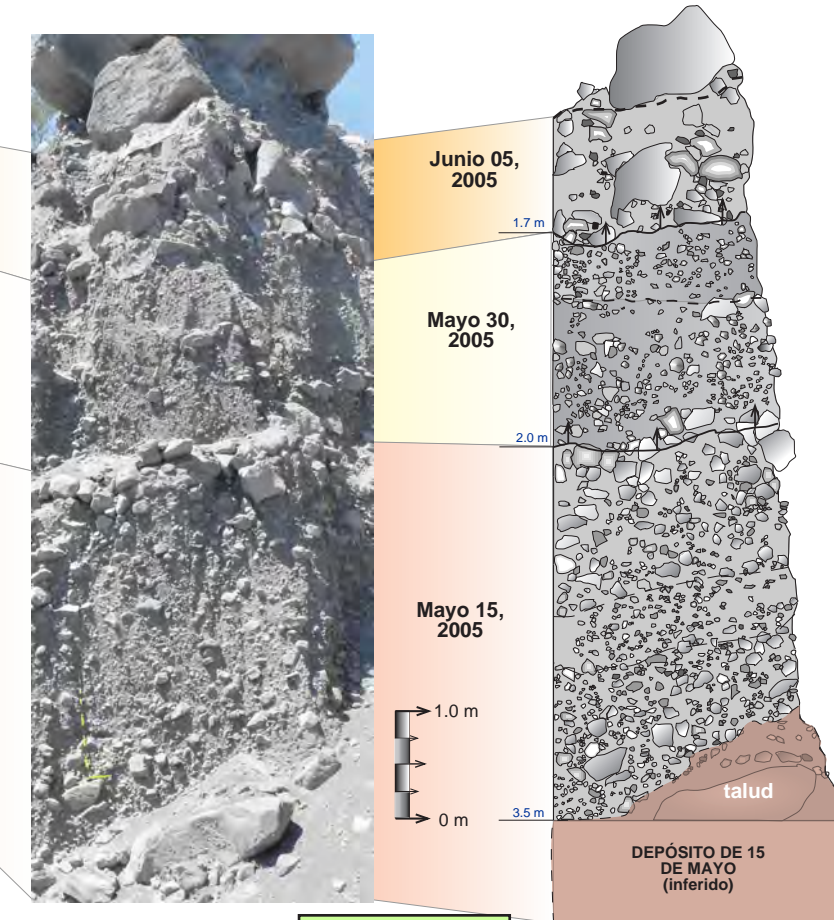
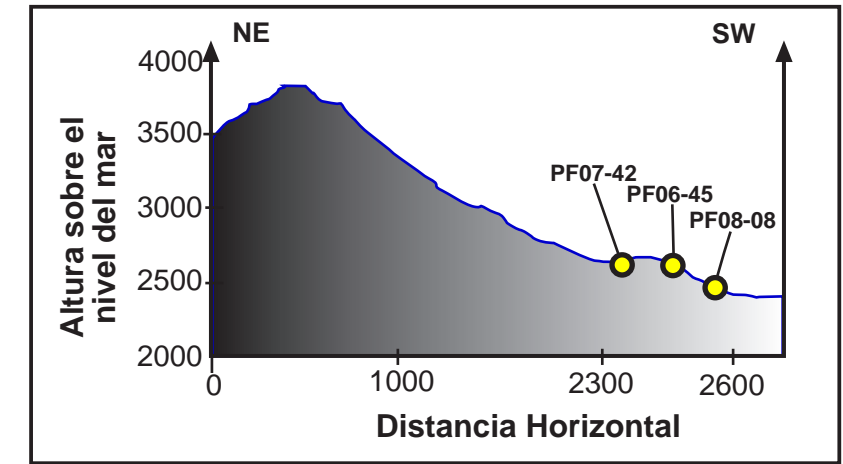
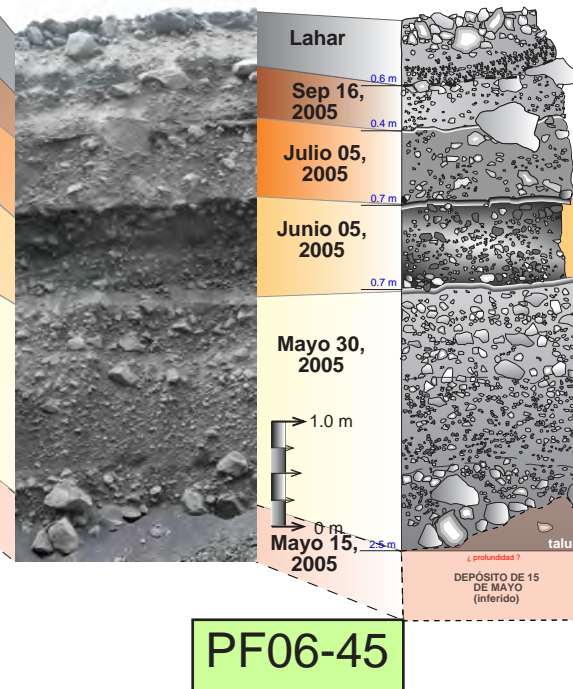
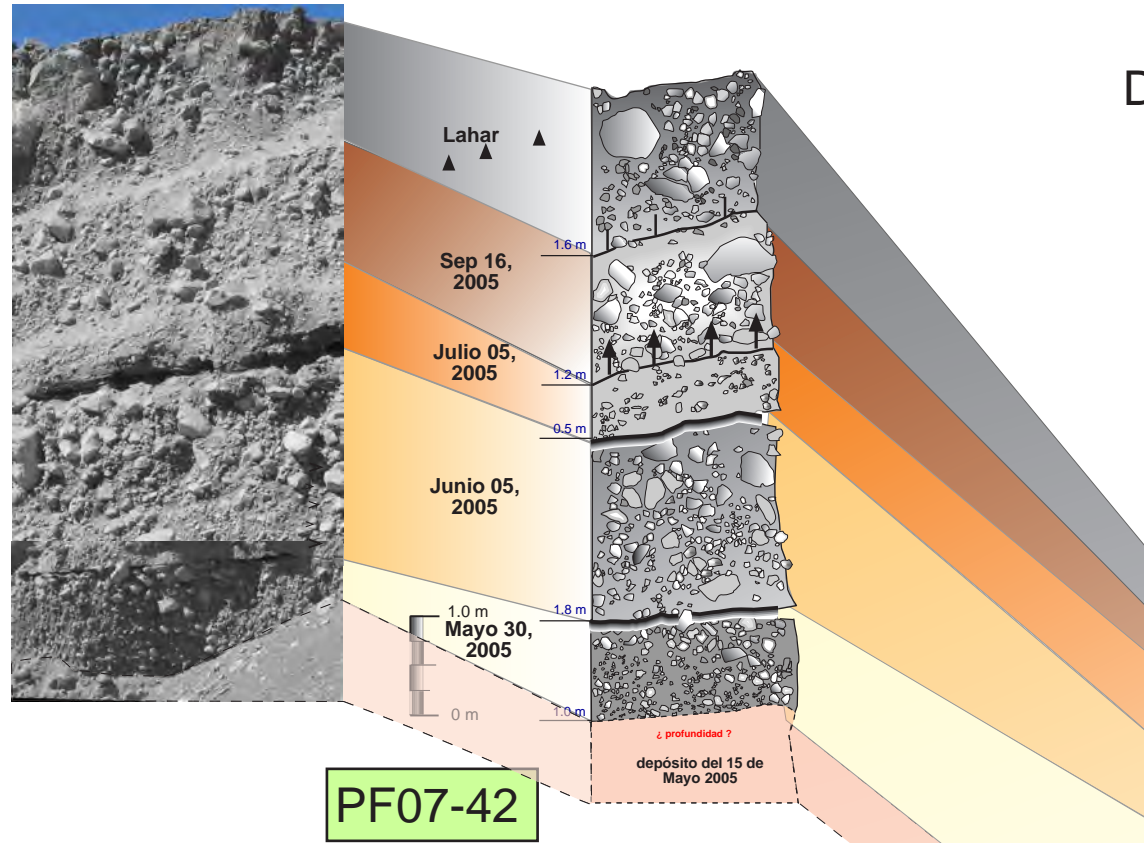
Modelo Digital de Elevación.  
Base Topográfica INEGI construido con las Cartas E13B25 (Ciudad Guzmán)  
y E13B35 (Cuahutémoc).



# VOLCÁN DE COLIMA

## Zona Proximal

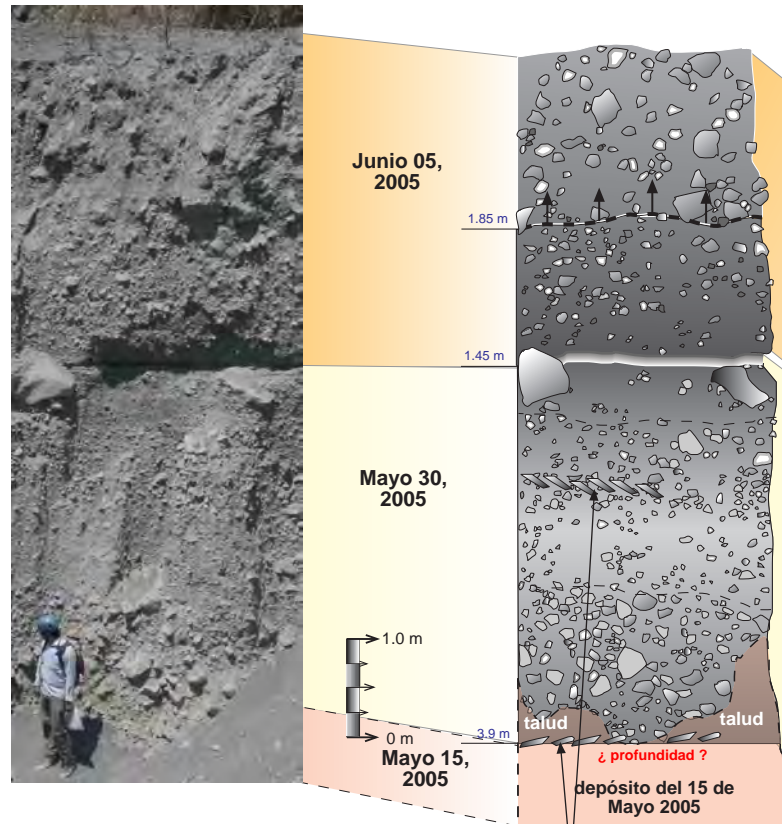
### Depósitos de Flujos de Bloques y Ceniza Barranca de Montegrando



# VOLCÁN DE COLIMA

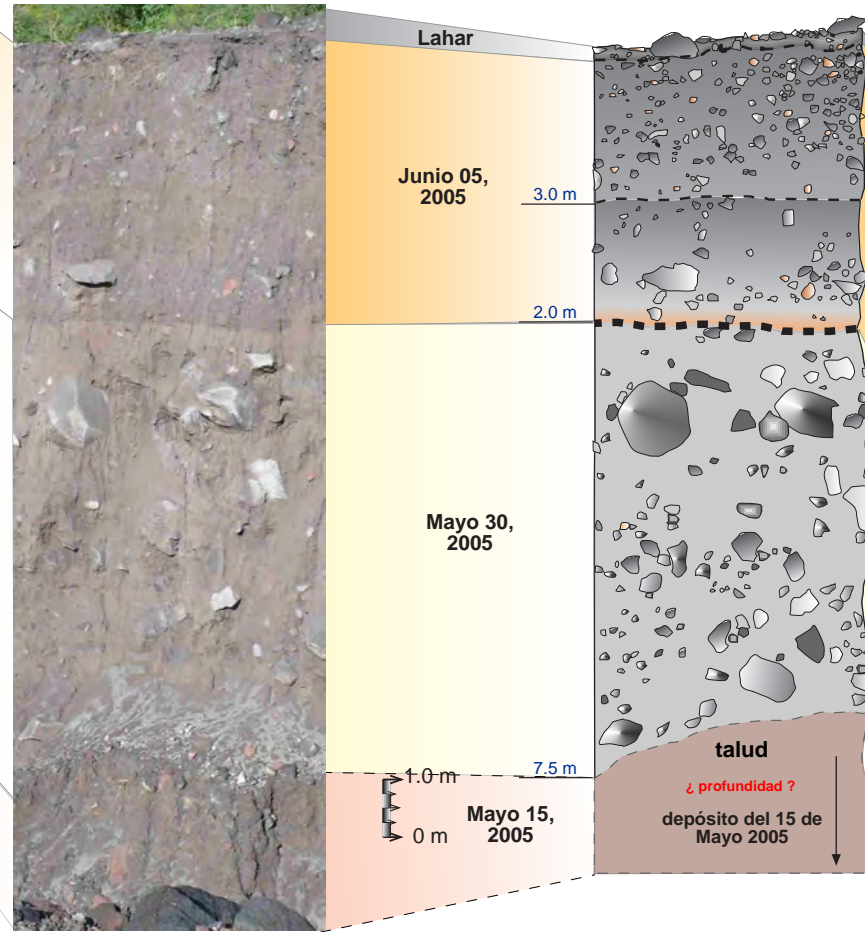
## Zona Media (Estratigrafía)

Depósitos de Flujos de Bloques y Ceniza  
Barranca de Montegrando

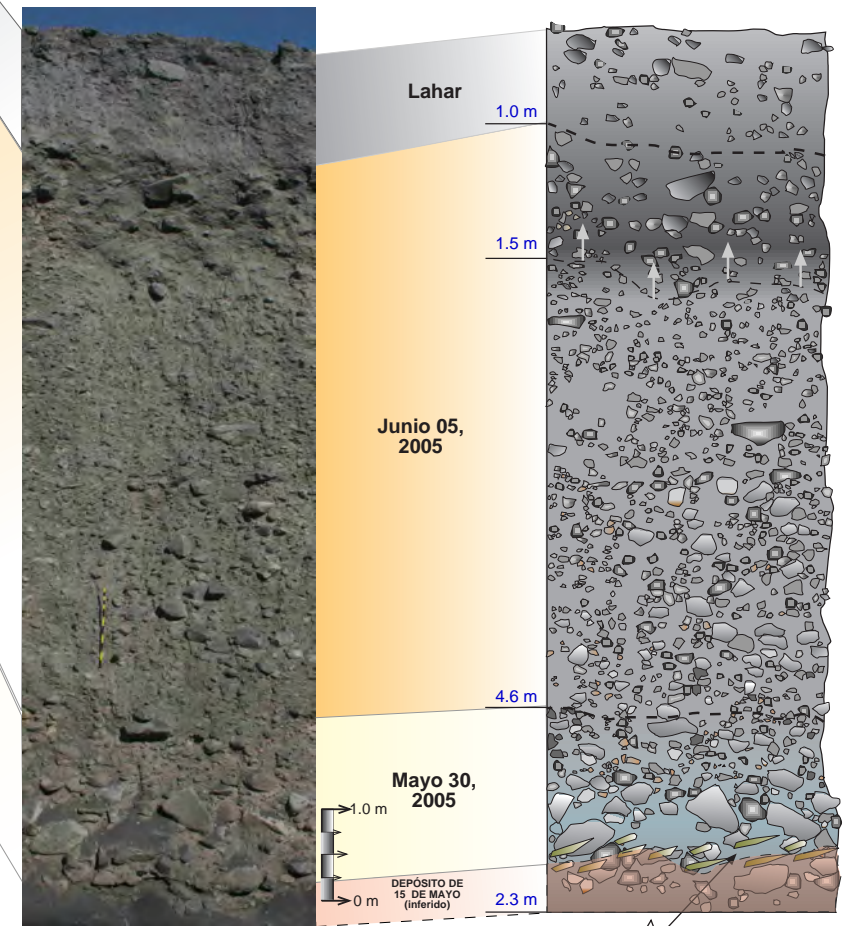
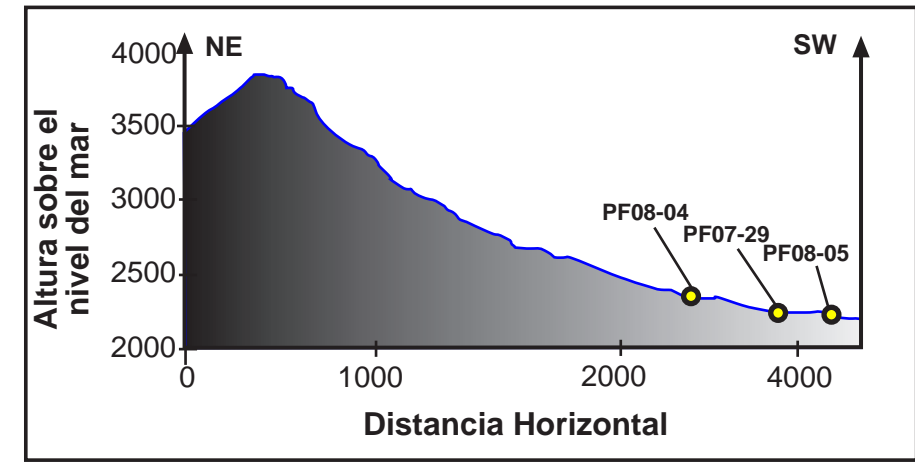


PF08-04

madera parcialmente carbonizada

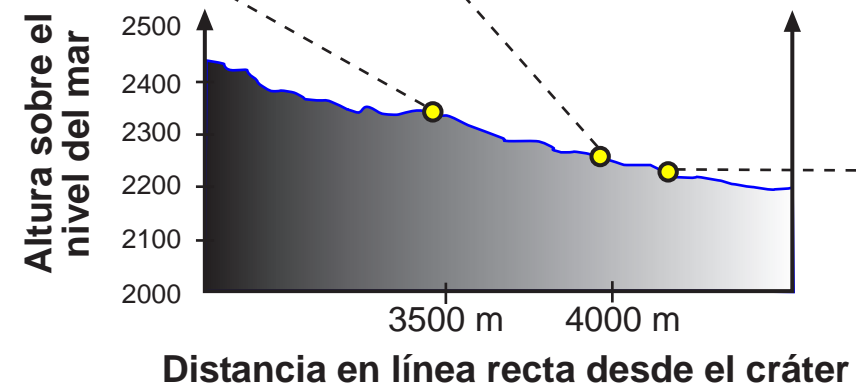
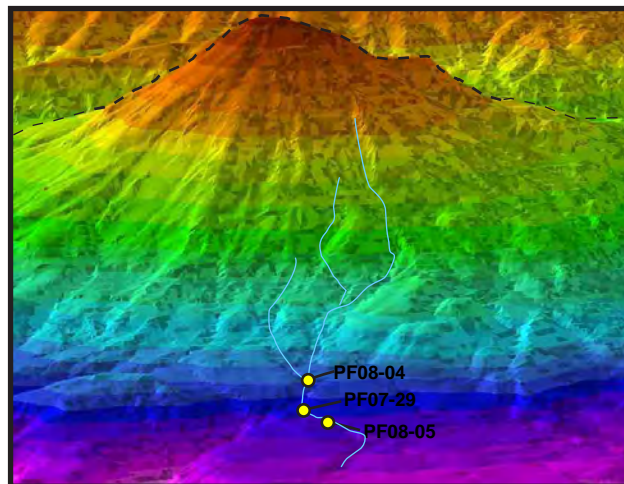
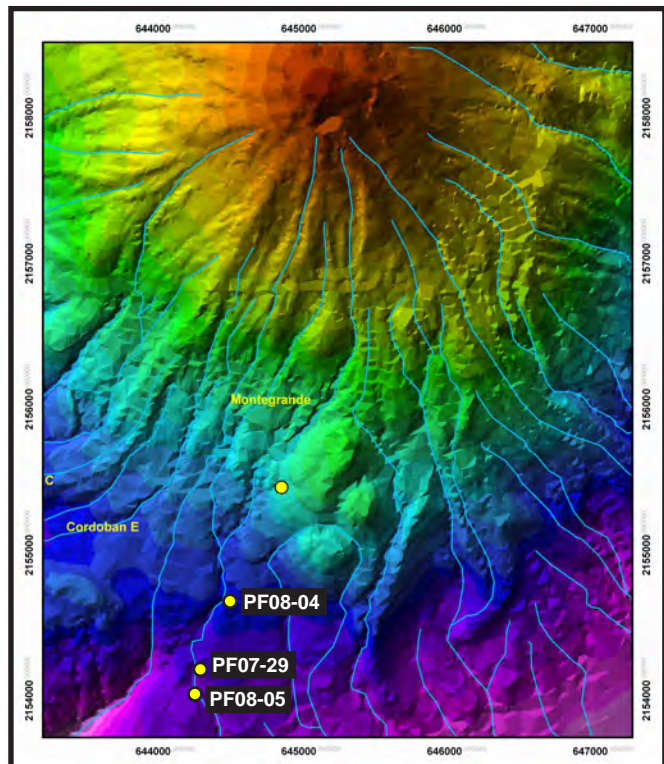


PF07-29



PF08-05

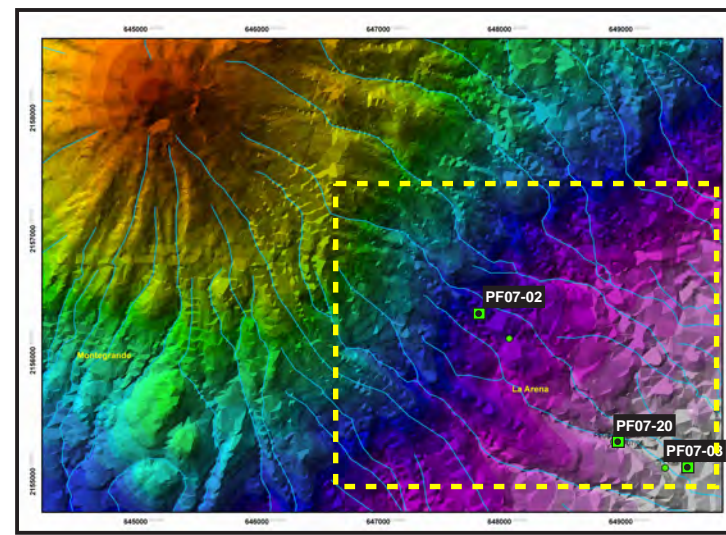
línea de vegetación/poco carbón



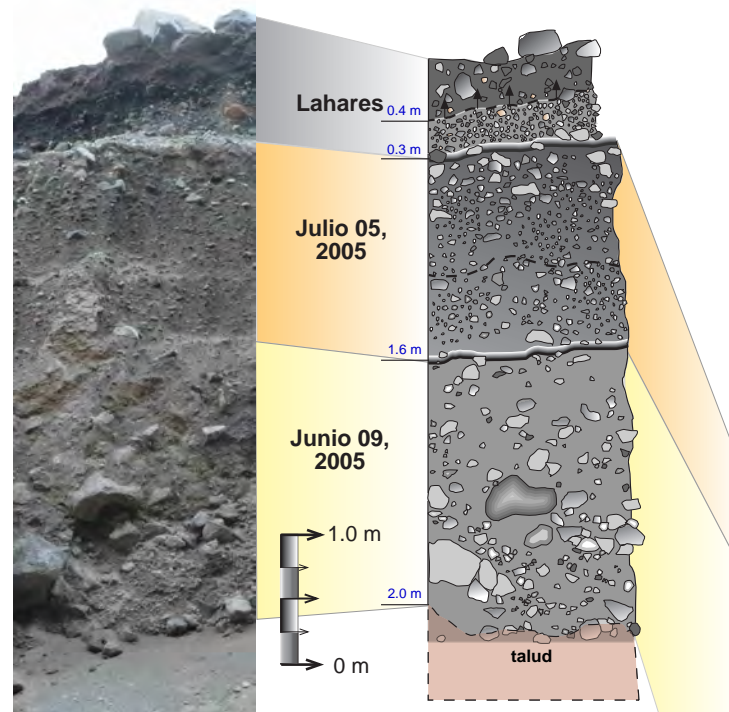
# VOLCÁN DE COLIMA

## sección completa

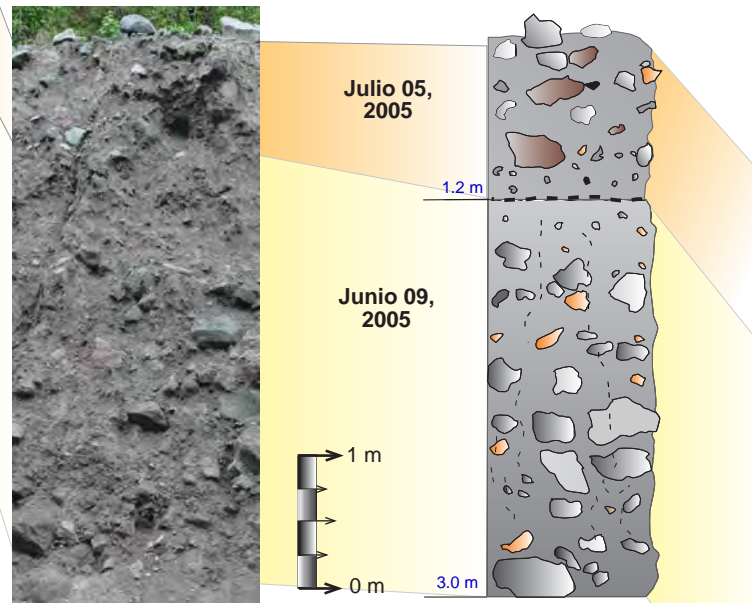
Depósitos de Flujos de Bloques y Ceniza  
Barranca La Arena



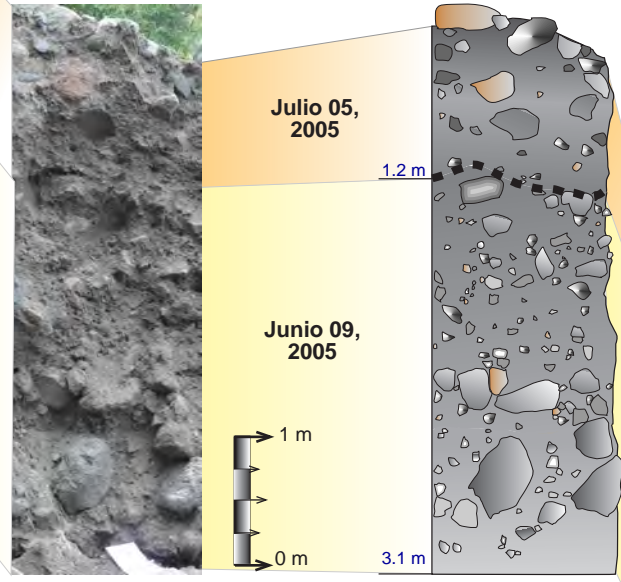
Modelo Digital de Elevación  
Base Topográfica INEGI construido con las Cartas E13B25 (Ciudad Guzmán) y E13B35 (Cuahutémoc).



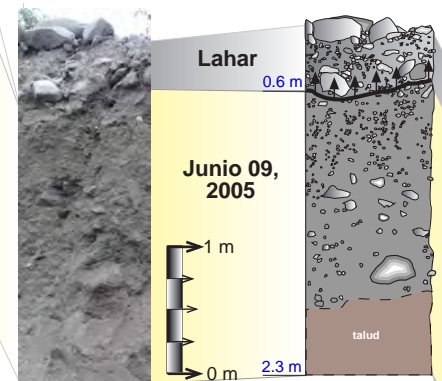
PF07-03



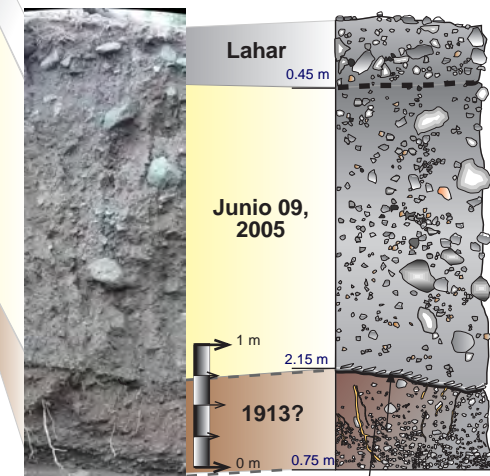
PF07-05



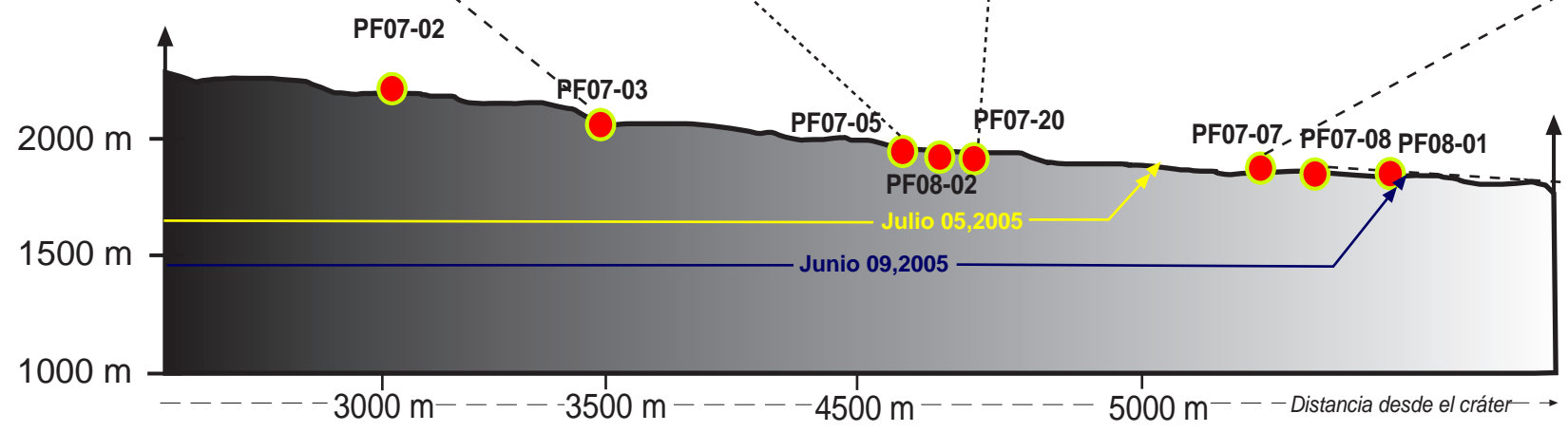
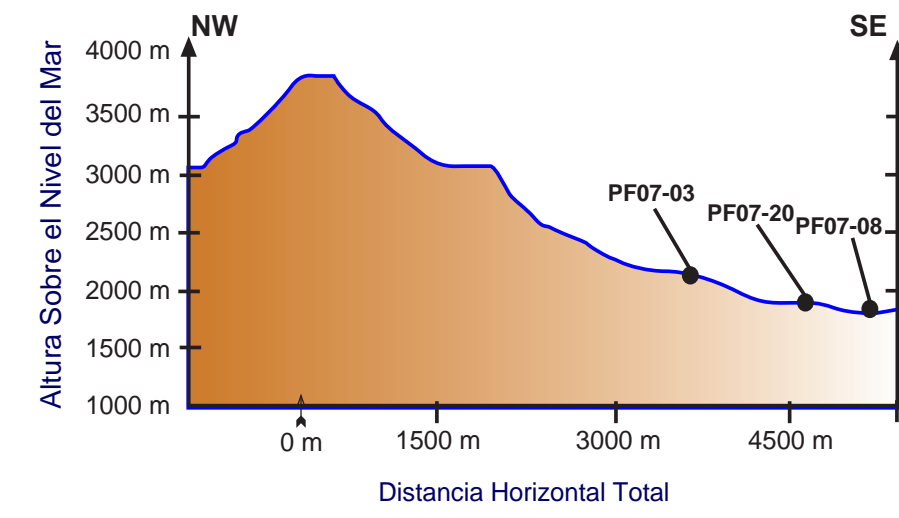
PF07-20



PF07-07



PF07-08







### VI.3.1/ 15 de Mayo del 2005

Este fue el primer flujo que alcanzó distancias considerables dentro de la Barranca de Montegrande (4.35 km), por lo tanto, a diferencia de los depósitos que lo sobreyacen, este flujo fue influenciado por las irregularidades topográficas propias de los flujos de lava antiguos y depósitos piroclásticos previos (sobre todo de 1913).

En muchos de los afloramientos estudiados, la erosión de los últimos años (2005 al presente) no ha sido lo suficientemente severa para exhibir las unidades completas y, por ende, el depósito del 15 de Mayo no pudo ser descrito.

Este depósito solamente está expuesto en la Barranca de Montegrande dentro de las facies proximales [afloramiento *PF08-08 (A)*]. El alcance máximo de este depósito se ubica poco después del afloramiento *PF08-05* (el depósito del 15 de mayo no está expuesto en este afloramiento). En general, presenta estructura masiva, aunque en *PF08-08(A)* es posible reconocer claramente tres horizontes de flujo, separados entre sí por cambios texturales sutiles.

Debido a que solamente se cuenta con un afloramiento debidamente expuesto de este flujo resulta complicado hacer correlaciones laterales. En este único afloramiento expuesto, el depósito presenta un espesor de 3.5 m, sobreyaciendo a algunos flujos de lava antiguos; esta zona de la barranca es caracterizada por una morfología angosta y profunda. A pesar de que no existen más afloramientos expuestos, se puede inferir que el espesor máximo del depósito del 15 de Mayo se alcanzó entre los afloramientos *PF08-04* y *PF07-29*, siendo esta una zona de mayor profundidad (pequeña depresión dentro de la Barranca) donde el flujo ganó espesor, pero perdió significativamente energía, hasta detenerse poco después del afloramiento *PF08-05*.

En general, el grado de compactación es bajo, con selección moderada a mala, con gradación general inversa en cada horizonte de flujo marcado en *PF08-08*. Los depósitos están soportados por matriz de ceniza muy gruesa; el porcentaje de matriz es de 65%. Los bloques son subangulosos con variaciones entre alta y baja esfericidad. Los bloques más grandes son de hasta 55 cm, pero el rango general oscila entre 3 y 25 cm. Los bloques más comunes son de textura vítrea, fracturamiento prismático. No se observan rastros de carbón dentro del depósito.

### VI.3.2/ 30 de Mayo del 2005

Aunque este es uno de los depósitos más frecuentes en los afloramientos estudiados, su alcance fue poco menor que el del 15 de Mayo, pero la erosión en las Barrancas ha sido lo suficientemente efectiva para exhibirlo. Al igual que el flujo previo, los depósitos solamente se encuentran dentro de la Barranca de Montegrande. Los depósitos que se han identificado producto de este evento



explosivo son *PF07-42(E)*, *PF06-45(5)* y *PF08-08(B)* para la zona proximal; *PF08-04(A)*, *PF07-29(A)* y *PF08-05(A)* en la zona media y no existen depósitos de este flujo en la zona establecida como distal.

El espesor del depósito varía considerablemente desde 1 hasta aproximadamente 7.5 m (en el afloramiento *PF07-29*). La discusión principal de este flujo recae en su estructura. Múltiples afloramientos están compuestos de varios horizontes de flujo. Solamente en la columna *PF07-42* y la *PF07-29 / PF08-05* (la más cercana y las dos más alejadas de la fuente) exhiben una sola unidad masiva. El primer caso debido a que la erosión no ha denudado completamente el afloramiento, por lo cual, el resto de la unidad de flujo está aún sepultada, mientras que los últimos dos se encuentran próximos al final del flujo. Después del depósito inicial [*PF07-42(E)*], se divide en tres horizontes de flujo (en *PF06-45* y *PF08-04*) y de manera intermedia, en dos horizontes de flujo [en *PF08-08(B)*]. Al igual que en el flujo piroclástico del 15 de Mayo, las variaciones entre las unidades de flujo son muy sutiles, posiblemente debidas a variaciones en las condiciones del sustrato sobre el que se depositaron.

En general todos los afloramientos correspondientes a este depósito presentan una marcada gradación inversa y una selección de moderada a buena, a excepción de las columnas *PF07-29* y *PF08-05* –depósitos distales- en donde no se observa una clara gradación y la selección es mala. Estos depósitos están claramente soportados por matriz, presentando un rango bastante cerrado de entre 60-70% de matriz vs 40-30% de bloques. La matriz es de ceniza gruesa a muy gruesa. El tamaño normal de los clastos oscila entre 2 y 25 cm, con algunos bloques anómalos de hasta 85 cm. En el depósito más distal [*PF08-05(A)*] se observan bloques más grandes –de hasta 120 cm-. Las unidades son monolíticas con bloques subangulosos a angulosos, con moderada a alta esfericidad. Los bloques más comunes son de textura vítrea, fracturamiento prismático y baja vesiculación; cubriendo zonas del depósito *PF08-05(A)* se observa una fina capa de minerales sublimados, fácilmente removibles al tacto, posiblemente relacionados a zonas de escape de gases de alta temperatura (sublimados de yeso-azufre?). El contacto de este depósito con el del 15 de mayo (contacto inferior) no es visible, ya que en la mayoría de los casos está cubierto por talud, a excepción del afloramiento *PF08-08*, en donde el contacto inferior es transicional. Por otro lado, el contacto con los depósitos del 05 de junio es mayormente erosivo (afloramientos *PF07-42*, *PF06-45*, *PF08-04*), con variaciones a transicional (en *PF08-08*) y difuso (en *PF07-29* y *PF08-05*).

Normalmente, los depósitos asociados a este flujo no presentan vegetación inmersa, a excepción del afloramiento *PF08-04* que en la base del primer horizonte y hacia la mitad superior del segundo horizonte se observa un burdo alineamiento de pequeños fragmentos de madera (menores a 10



cm) poco carbonizada en dirección del flujo. Caracterizas similares e observan en la base del depósito *PF08-05(A)*.

Es importante marcar la gran cantidad de cambios texturales laterales observados en los depósitos, siendo comunes acuñamientos de unidades aguas abajo [como en *PF06-45(5)*] o acumulación de bloques hacia la cima del depósito [en *PF07-42(E)*].

### VI.3.3/ 05 de Junio del 2005

Este flujo de bloques y ceniza sobrepasó y cubrió a los dos depósitos previamente descritos (15 y 30 de mayo). Es posiblemente, el depósito de mayor alcance generado dentro de la barranca de Montegrando desde el evento pliniano de 1913; su alcance final fue de 5.1 km en línea recta desde el crater (5.8 en recorrido dentro del barranco). A pesar de que este flujo no fue el más voluminoso registrado hasta ese momento, su emplazamiento sobre una superficie planar estabilizada por los flujos piroclásticos previamente depositados, pudo favorecer el transporte efectivo a una mayor distancia.

Los afloramientos en donde se observa el depósito del 05 de junio en Montegrando son dentro de la zona proximal *PF07-42*, *PF06-45*, *PF08-08*; en la región media: *PF08-04*, *PF07-29*, *PF08-05* y finalmente, en la zona distal *PF07-28* y *PF07-27*.

En los afloramientos de la zona proximal, el espesor se mantiene relativamente uniforme (entre 0.7 y 1.8 m), sin embargo, al entrar a la zona media, dicho espesor se incrementa significativamente, alcanzando su máximo en el depósito *PF08-05(B)* con 6.1 m de espesor. Pero posterior a este punto, el depósito decrece significativamente hasta llegar a su frente distal [posterior a *PF07-27(A)*] con espesor de 2.2 m]. Los depósitos de la zona proximal muestran una unidad de flujo simple, mientras que en los de la zona media [depósito *PF08-04(B)*, *PF07-29(B,C)* y *PF08-05(B)*] se observa claramente el desarrollo de dos horizontes de flujo subparalelos. El desacople de la unidad de flujo en estas dos zonas de flujo pudo haber ocurrido al pasar por el salto local de pendiente descrito en el apartado VI.2.2.

La gradación es normalmente inversa, pero algunos afloramientos presentan arreglo caótico (ausencia de gradación) o incluso, gradación simétrica [en el caso del depósito *PF06-45(4)*]. En los afloramientos localizados en la zona proximal se observa normalmente un soporte de las unidades de flujo clasto a clasto, con un porcentaje de aproximadamente 60% contra 40% de matriz. No obstante, la concentración de bloques en el depósito *PF08-08(C)* pudo haber estado fuertemente influenciada por la erosión en los días inmediatos posteriores a su deposición. El paso de corrientes finas de agua pudo remover gran cantidad de finos, dejando una anómala concentración



secundaria de bloques. Hacia la zona media, los depósitos piroclásticos se enriquecen en matriz, variando desde unidades de flujo con 55% hasta zonas con 80% de matriz. Las dos unidades de flujo descritas en la región distal (*PF07-28* y *PF07-27*) están fuertemente soportadas por matriz (~80%); en esta zona, la única parte enriquecida en bloques son los frentes lobulares originados por los FBC –ver apartado VI.4.2-.

La unidad es monolitológica, caracterizada en orden de abundancia por bloques vítreos de fractura prismática con textura porfídica, seguidos de líticos oscuros a grisáceos con importante vesicularidad y fragmentos rojizos-naranja de importante alteración superficial. Todos presentan formas subangulosas a angulosas de esfericidad muy variable. El tamaño varían entre 4-90 cm, el rango predominante está entre 8-15 cm; presencia de bloques anómalos gruesos son descritos hacia la cima del depósito *PF08-08*: 2.5 m.

El contacto con los depósitos del 30 de Mayo (contacto inferior) es erosivo en los afloramientos *PF07-42* y *PF06-45* de la zona proximal, así como en *PF08-04* de la zona media; varía a transicional en *PF08-08* y a difuso en los dos afloramientos más distales (*PF07-29* y *PF08-05*). Por otro lado, el contacto con los depósitos del 05 de Julio (contacto superior) solo se observa en *PF07-42* y *PF06-45*. Para los afloramientos *PF07-29* y *PF08-05* el contacto superior es difuso, directamente con depósitos de lahar. No se observan estructuras de desgasificación ni vegetación existente.

#### **VI.3.4/ 09 de Junio del 2005**

Este FBC se emplazó principalmente hacia la barranca La Arena (sector SE de la zona de estudio). De todos los flujos piroclásticos estudiados en ambas barrancas, este es el que alcanzó la zona más distal, con cerca de 6 km de distancia.

Al igual que el flujo del 15 de mayo del 2005, este depósito reguló la topografía preexistente dentro de la barranca La Arena, sobreyaciendo a derrames de lava antiguos y depósitos de flujos piroclásticos anteriores (principalmente de 1913). Este depósito se distribuye en la mayoría de los afloramientos estudiados de la barranca previamente mencionada.

El espesor se mantiene muy estable en los diferentes puntos de estudio, entre 1.7 y 3.5 m, solamente el depósito *PF08-01(A)*, localizado en el frente más distal del depósito, tiene un espesor menor (<1 m). Se observa una estructura general masiva, con cierto rasgos caóticos dentro del flujo; los afloramientos están compuestos de unidades de flujo simples.



Un aspecto que influye fuertemente en el aspecto caótico de la unidad es la presencia de bloques de diferentes tamaños sin orientación preferencial. La mayoría oscila entre 5 y 35 cm, aunque existen algunos aislados dentro de la unidad de entre 65 y 100 cm. Algunos de estos bloques gruesos pueden provenir de fuentes cercanas (flujos de lava antiguos), de donde pudieron desestabilizarse y ser incorporados dentro del mismo flujo, por ende pueden ser transportados cortas distancias. Debido a la diferencia entre el tamaño de los bloques, las unidades de flujo tienen un grado de selección generalmente malo.

Los depósitos están claramente soportados por matriz de ceniza media a gruesa, con un porcentaje de entre 60 y 70% del total. En general, la matriz está compuesta de cristales de plagioclasa, fragmentos vítreos aislados y algunos accesorios menores.

Los unidades de flujo presenta homogeneidad de rasgos texturales laterales y verticales. Algunas excepciones se presentan en el punto *PF07-03(A)*, en donde se observan variaciones locales en el acomodo y la concentración de los bloques. El contacto inferior solamente es visible en dos puntos: *PF07-02(B)* y en *PF07-08(B)*. En ambos casos dicho contacto es erosivo, de acumulación de capas delgadas irregulares compuestas de sedimentos finos (ceniza muy fina a mediana) con presencia de vegetación seca en el primer afloramiento y fragmentos de madera parcialmente carbonizada menores a 3 cm alineadas con dirección de flujo en el segundo punto citado. No se observan estructuras de desgasificación.

### **VI.3.5/ 05 de Julio del 2005**

Este es, presumiblemente, el único flujo que depositó en las dos barrancas de estudio. En la Barranca Montegrando este FBC alcanza 3.0 km de distancia, ubicándose principalmente en la región proximal; mientras que en La Arena, el flujo alcanzó alrededor de 4.8 km, deteniéndose poco después de entrar a la zona de abanico aluvial.

En la barranca Montegrando, el depósito aflora en los puntos *PF07-42(C)* y *PF06-45(3)*, ambos dentro de la zona proximal. El espesor se incrementa levemente pendiente abajo en unos pocos centímetros (de 0.5 a 0.7 m), presentan estructura masiva, mala compactación, sin una gradación clara y de selección moderada a buena. El soporte cambia de matriz-soportado en el afloramiento *PF07-42(C)* a clasto soportado en el afloramiento *PF06-45(3)*. No obstante, es importante aclarar que este cambio se debe a que los clastos que componen el segundo afloramiento apenas superan el límite matriz-clasto (convenido en 2 mm); por ello, a pesar de que este punto presenta 35% de matriz vs 65% de clastos, el rango predominante de clastos oscila entre 2 a 4 cm.



Las unidades de flujo en esta barranca están compuestas de fragmentos andesíticos con variaciones texturales importantes. Predominan los clastos vítreos que posiblemente representen material juvenil, seguidos de líticos andesíticos color gris claro, de textura porfídica. En menor proporción, fragmentos de color rojizo claro y por último, clastos oscuros de alta densidad, moderadamente vesiculados. La mayoría son subangulosos, mientras que los de mayor vesicularidad y alteración son subredondeados.

No presenta variaciones laterales evidentes. Los contactos inferiores (con el depósito del 05 de junio) son erosivos, mientras que los contactos superiores son transicionales en *PF07-42(C)* y erosivo en *PF06-45(3)*. No se observan estructuras de desgasificación ni vegetación carbonizada o sana.

La Barranca La Arena presenta la mayor cantidad de depósitos relacionados a este flujo. Tres de ellos se ubican en la zona proximal [*PF07-02(B)*, *PF07-03(B)* y *PF06-28(B)*] y un par en la zona media [*PF07-05(B)* y *PF07-20(C)*]. Su espesor varía de 1.0 a 1.7 m, con una estructura general masiva, a excepción del punto *PF07-03(B)*, en donde se observan dos horizontes de flujo difusamente separados por un control textural, con características granulométricas similares entre sí pero con un horizonte superior más rico en partículas finas. Presenta baja compactación, su selección es de moderada a buena. La gradación es, por lo general, inversa, con algunas zonas de algunos afloramientos con características simétricas. Los depósitos analizados muestran un claro soporte por matriz, que varía entre 60 y 70% principalmente compuesto de cenizas finas a medias. Las unidades de flujo son monolitológicas con fragmentos que presentan rasgos texturales similares a los del FBC del 09 de junio, con la diferencia de una mayor proporción de bloques rojizos, posiblemente relacionados a fuentes alteradas de los conductos o remanentes del domo volcánico del 2004 o previos. Los tamaños de estos varían entre 2 y 80 cm, pero el rango más común encontrado es entre 8 y 15 cm, con formas principalmente subangulosos y subredondeados.

No se observan variaciones laterales considerables, a excepción de zonas muy locales donde se observa un acuñamiento de las unidades con pérdida de partículas finas y acumulación de bloques, lo cual se podría asociar a un posible cambio en la pendiente de emplazamiento. El contacto inferior es normalmente difuso, sin estructuras de desgasificación.



### VI.3.6/ 16 de Septiembre del 2005

Este es el último depósito importante dentro de la secuencia de afloramientos aquí descrita. A pesar de que el alcance total de este flujo ha sido reportado en alrededor de 4.6 km en la Barranca Montegrande, solamente hay evidencia de su presencia en dos depósitos proximales: el afloramiento *PF07-42(B)* y el *PF06-45(2)*. La explicación principal reside en que al momento de emplazarse, este flujo encontró una topografía incipientemente erosionada por las lluvias producidas entre mediados de julio y septiembre del 2005. Por ello, la mayor parte del flujo se depositó dentro del canal inicial generado por las primeras lluvias; debido a esto, la mayoría de los contactos existentes de este flujo con todos los previamente expuestos son laterales, contrario a los contactos horizontales que normalmente se observan en los afloramientos de ambas barrancas. Pocos meses después del emplazamiento, este flujo fue fácilmente removilizado, ya que se encontraba dentro del canal, en la zona de mayor índice de erosión.

Por lo antes explicado, el flujo decrece rápidamente en espesor en una corta distancia antes de entrar al canal y depositar. La estructura general mostrada es masiva, con bajo grado de compactación, de gradación no evidente en el primer afloramiento hacia gradación inversa en el segundo afloramiento. Estas unidades de flujo están ampliamente soportadas por matriz (~80%) de tamaño entre cenizas medias y gruesas. Los líticos varían de 6 a 35 cm, con tamaño dominante general de entre 8 a 20 cm; principalmente con formas subangulosas de baja a moderada esfericidad. No presenta variaciones laterales considerables, a excepción de zonas de mayor acumulación de bloques pendiente arriba del afloramiento *PF06-45(2)*. No contiene estructuras de desgasificación ni vegetación.



## VI.4 / Observaciones Estratigráficas Especiales en los FBC de Colima

Con el objetivo de aprovechar al máximo algunas descripciones que se realizaron en el campo, se presentan algunas observaciones estratigráficas primarias y secundarias relacionadas a los flujos de bloques y ceniza emplazados en la Barranca Montegrande y La Arena durante el 2005.

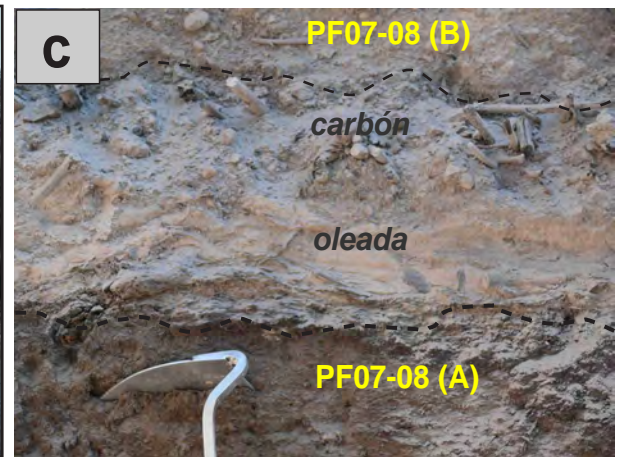
### VI.4.1/ Oleadas Piroclásticas

Una de las razones principales por las cuales no se ha hablado abiertamente de las oleadas piroclásticas a lo largo de este capítulo como una fase claramente separada dentro de los eventos descritos reside en una falta de evidencia clara que la soporte en el campo. Contrastamente a lo que ocurre en la determinación de la parte densa –avalancha basal- en los flujos piroclásticos, resulta complicado determinar exactamente la extensión real de las oleadas piroclásticas asociadas.

Como ya se explicó previamente para afloramientos como el *PF07-15*, el rasgo más evidente de generación de oleadas piroclásticas son aquellas derivadas de la porción densa (conocida como Avalancha Basal) (Lube et al, 2007). Esta oleada se genera debido al desacople de una fracción más fina de partículas provenientes de la zona basal. Dicho desacople puede ser ampliamente favorecido por cambios topográficos generales (como el cambio mayor de pendiente en el Volcán de Colima) o variaciones locales puntuales (como el salto hidráulico previo al punto *PF07-15* – *Figura VI.7a y b*), los cuales incrementan significativamente su elutriación a partir del flujo piroclástico. Una vez separada, la oleada se moverá con una dinámica muy distinta al resto de la porción basal de los flujos, generando una capa de ceniza con posibles estructuras planares y de dunas, de baja densidad y que puede desacoplarse de la avalancha basal (capa fluidizada) y por otro lado, una pluma turbulenta (oleada de nube de ceniza) que se formará por el material elutriado de la misma avalancha y que sube por convección (Saucedo, 2001).

Es común encontrar evidencias de oleadas piroclástica confinadas hacia las facies de canal (dentro de la barranca) como depósitos de granulometría fina, bien seleccionados, de espesor menor a 6 cm que sobreyacen y subyacen a la avalancha basal. Esta capa de material fino se reconoce entre los contactos de algunas unidades de flujo, específicamente en los contactos de tipo erosivo, mostrando una forma normalmente planar con ciertas zonas levemente dentadas. En las barranca de Montegrande es posibles observarlas en los afloramientos *PF07-42* y *PF06-45*, de la zona proximal y *PF08-04* de la zona media, mientras que en la barranca de La Arena en los afloramientos *PF07-02* y *PF07-03* de la zona proximal y *PF07-08*, *PF08-01* de la zona distal.





**Figura VI.7** Algunas observaciones estratigráficas especiales en los FBC del Volcán de Colima.

- a) Salto de pendiente previo al punto PF07-15 dentro de la Barranca Montegrande. Ver Figura VI.5, fotografía 3 (Fotografía por Víctor Vargas).  
b) Cambio local de pendiente dentro de la Barranca Montegrande. Punto ubicado ~500 m aguas abajo de la foto anterior (Fotografía por Víctor Vargas).  
c) Afloramiento PF07-08 en donde se muestra el contacto entre dos unidades de flujo separados por una capa fina de oleada sobreyacido por una concentración mayor de madera parcialmente carbonizada (Fotografía de Gerardo Carrasco).  
d y e) Dos vistas del rasgo geomorfológico de leveés dentro de la Barranca de Montegrande: (d) vista aérea (e) vista en campo (Fotografía por Nick Varley)



Sin embargo, al igual que los reportado para lo FBC de 1998-99 en el Volcán de Colima (Saucedo, 2001) no es posible hacer una adecuada correlación debido a que en la mayoría de los casos la parte fina de la nube de ceniza se erosiona con facilidad por los flujos piroclásticos subsecuentes o por leves corrientes de agua (Fujii y Nakada, 1999). Para los depósitos del 2005 del Volcán de Colima solamente se tiene certeza de correlación en aquellos depósitos que se encuentran sobreyacentes a piroclásticos o flujo de lava antiguos, donde el contacto es más que evidente - ejemplo, en la base de los depósitos *PF07-02 (B)*, *PF07-08 (B)* y *PF08-01 (B)*- ver *Figura VI.7c*.

#### VI.4.2/ Levées y frentes lobulados

Estos dos rasgos texturales son muy comunes dentro de los depósitos piroclásticos del 2005 para el Volcán de Colima. La formación de *leveés* es un rasgo morfológico común en depósitos de flujos piroclásticos de volumen pequeño, principalmente en las zonas medias y distales (Schwarzkopf et al., 2005; Lube et al., 2007), mientras que los frentes lobulados pueden ser observados en cualquier zona de las barrancas.

Tanto los *leveés* como los lóbulos frontales son zonas ricas en bloques gruesos, prácticamente libres de partículas finas. La diferencia principal reside en que mientras los *leveés* presentan acumulación de bloques hacia los costados del paso de los depósitos, desarrollando formas cóncavas, mientras que los lóbulos desarrollan marcados frentes convexos.

Para los depósitos del 2005, los *leveés* normalmente presentan anchos considerables (aproximadamente 20 m) y se presentan después de cambios bruscos en la topografía local. Estos pueden ser observados claramente desde escalas aéreas (ver *Figura VI.7 d*), como a nivel de campo (*Figura VI.7e*). De alguna manera se observa una cierta relación de estos con la forma que se observan en los canales de las barrancas. Las crestas de los *leveés* son relativamente paralelas a las paredes de la barranca que los contiene. Lube et al, 2007 encontraron para los depósitos de flujo confinados un tipo de facies conocida como de *levée* y canal, desarrollada sobre pendientes menores a 25°. Describen que su ancho es fuertemente afectado por cambios en la topografía local.

Por otro lado, los frentes lobulares son rasgos muy comunes en la superficie de los principales flujos de bloques y ceniza generados dentro de la Barranca de Montegrande y La Arena, sin importar la proximidad a la fuente (presentes en zonas proximales, medias y distales). Son altamente enriquecidos en bloques aproximadamente 20 cm hasta un par de metros (*Figura VI.8b*).

La presencia de varios frentes lobulares que van progradando pendiente arriba, son comunes en las superficies pristinas de los eventos piroclásticos simples como el mostrado en la *Figura VI.8a*



para la explosión del 30 de mayo del 2005, en la misma imagen se pueden observar algunas zonas de frentes lobulados donde existe interdigitación y sobreposición de las formas lobulares. Como se describió previamente, los frentes lobulados son muy ricos en bloques, con una baja proporción de matriz que ocupa los intersticios del soporte clasto a clasto. Esta matriz de ceniza es fácilmente removilizable con las primeras lluvias, dejando evidencia de acumulación de bloques de diferentes tamaños (*Figura VI.8c*)

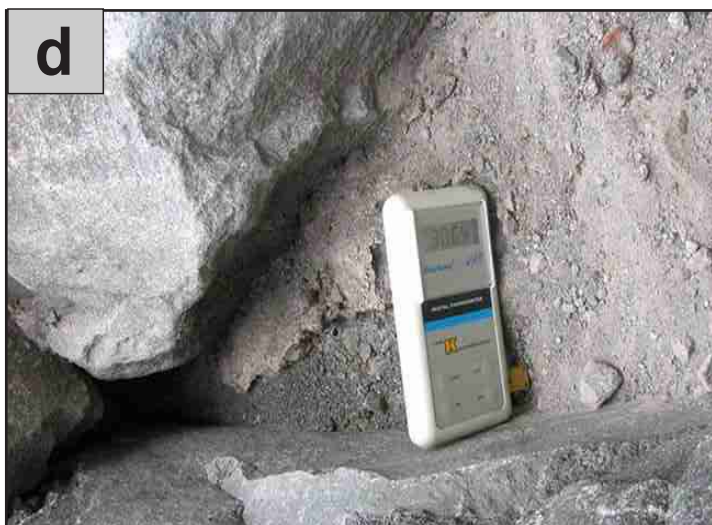
### VI.4.3/ Rasgos de Temperatura

De acuerdo con algunas mediciones llevadas a cabo directamente sobre los depósitos de FBC se encontraron temperaturas de hasta 300°C apenas unos días después de la depositación de los flujos piroclásticos, tal como se puede apreciar en el depósito del 05 de julio del 2005 de la Barranca de La Arena (*Figura VI.8d*). Esto hace suponer que la temperatura de depositación de estos FBC pudo haber sido relativamente superior a las registradas con el termopar (posiblemente ~500°C).

Sin embargo, para los flujos depositados en la Barranca de Montegrande, la evidencia de menores temperaturas de emplazamiento puede ser corroborado por:

- 1) presencia de abundante fauna cocinada, pero no carbonizada, sobre la cima del depósito piroclástico (ver *Figura VI.8 e*).
- 2) ausencia de material vegetal carbonizado en el interior y hacia los bordes del depósito, con lo que se pudiera inferir una temperatura de emplazamiento elevada.
- 3) minerales sublimados, fácilmente removibles al tacto, posiblemente relacionados a zonas de escape de gases en baja temperatura (sublimados de yeso-azufre?).

Por otro lado, se observó que la distribución de la temperatura dentro del flujo es bastante heterogénea. Esto fue analizado indirectamente con ayuda de los árboles acarreados en el FBC o que se encontraban dentro de los barrancos rellenos.



**Figura VI.8** Algunas observaciones estratigráficas especiales en los FBC del Volcán de Colima.

**a)** Vista panorámica de una serie de frentes lobulados progradados pendiente arriba. Evento explosivo del 30 de mayo del 2005 (*Fotografías por Nick Varley*).

**b)** Frente lobulado rico en bloques. Línea negra continua= dirección de flujo. Línea amarilla punteada= frente del flujo del 15-mayo-2005 (*por Nick Varley*).

**c)** Zona de acumulación de bloques posterior a la temporada de lluvias, producto de la fácil remoción de las partículas finas.

**d)** Temperatura de 306 grados medida con un termopar en la superficie del flujo piroclástico del 05 de julio en la Barranca de La Arena (*por Nick Varley*).

**e)** Pequeña serpiente cocinada -no carbonizada- sobre el depósito del FBC del 05 de junio del 2005 en la Barranca de Montegrande (*por Víctor Vargas*).



## VI.5 / Interpretaciones

### (1) Quiebre de pendiente mayor del volcán:

La ubicación del quiebre de pendiente mayor en el Volcán de Colima no tiene un significado trivial para la formación de los depósitos de Flujo FBC, sino que incide directamente en el desacople del flujo para desarrollar una avalancha basal densa y una nube de ceniza diluída turbulenta. La dinámica de transporte y depositación de estas dos zonas son dispares. Por ello, algunos autores (Saucedo, 2001 y 2004, Sarocchi, 2006) consideran que, para eventos de colapso de columna, no se encuentran depósitos significativos antes del quiebre de pendiente. Por el contrario, para casos de flujos tipo Merapi, es posible reconocer remanentes de depositación antes del quiebre de pendiente. En nuestro estudio, para la Barranca de Montegrande, se encontró una mayoría significativa de depósitos después del quiebre de pendiente en todos los eventos eruptivos, con excepción del *Afloramiento PF07-18*, que se discutirá más adelante. Para la Barranca La Arena, la depositación es marcadamente después del quiebre de pendiente.

### (2) Modificación del flujo causado por bruscos cambios de pendiente (Paredón)

Para el FBC en movimiento, este paredón podría significar un salto hidráulico, donde el flujo, inicialmente supercrítico (avanzando por una pendiente suave), encuentra un cambio brusco de pendiente que provoca una disminución considerable de la velocidad y el decrecimiento consiguiente de su energía mecánica.

Este efecto mecánico se refleja de manera particular en la estratigrafía del afloramiento *PF07-15*. En este punto, no se observa una clara separación de varias unidades de flujo que fueron transportados por esta zona, tal y como ocurre en el resto de los afloramientos proximales, medios y distales. En lugar de ello, se observa un afloramiento compuesto de dos unidades simples. La unidad de base (*PF07-15 A*) soportada clasto-clasto, dominada por la presencia de bloques de gran tamaño y ordenados de forma caótica. La unidad superior (*PF07-15 B*), de características exactamente opuestas a la base, carece de grandes bloques y está prácticamente soportada en totalidad por matriz de ceniza fina a mediana (75-80% de la muestra).

El flujo en este punto debió ser proyectado al vacío, causando que se inflara y perdiera velocidad. De esta manera los bloques precipitan más rápidamente y se separan de la granulometría menor, la cual cae sucesivamente originando la unidad superior, generando un fuerte contraste entre la unidad de base y la cima.



La explicación dinámica posible reside en que el salto hidráulico confiere una desaceleración tal al flujo que puede provocar una zona de verdadera turbulencia justo debajo del brinco topográfico, región donde se encuentra exactamente ubicado el afloramiento en estudio.

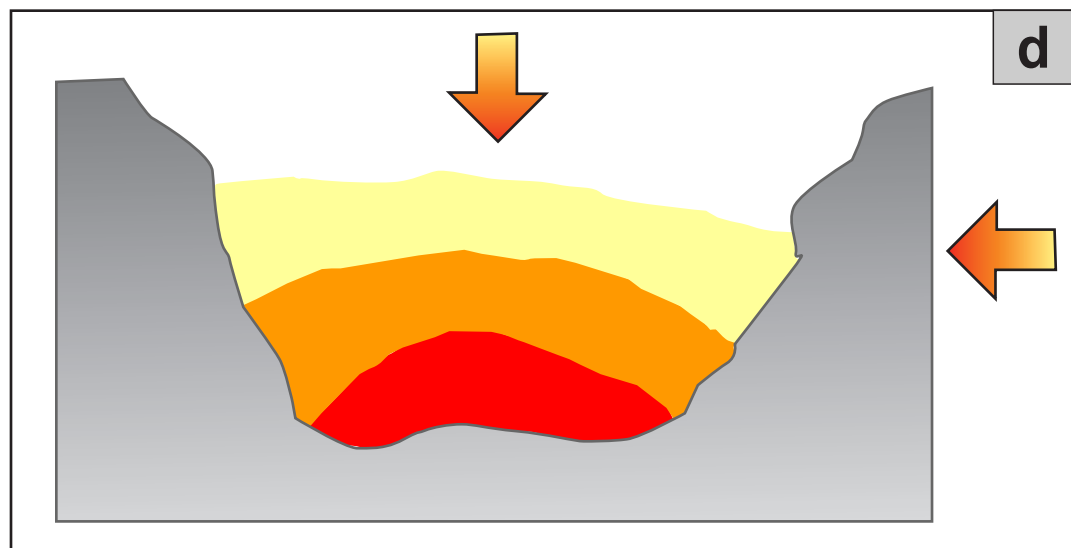
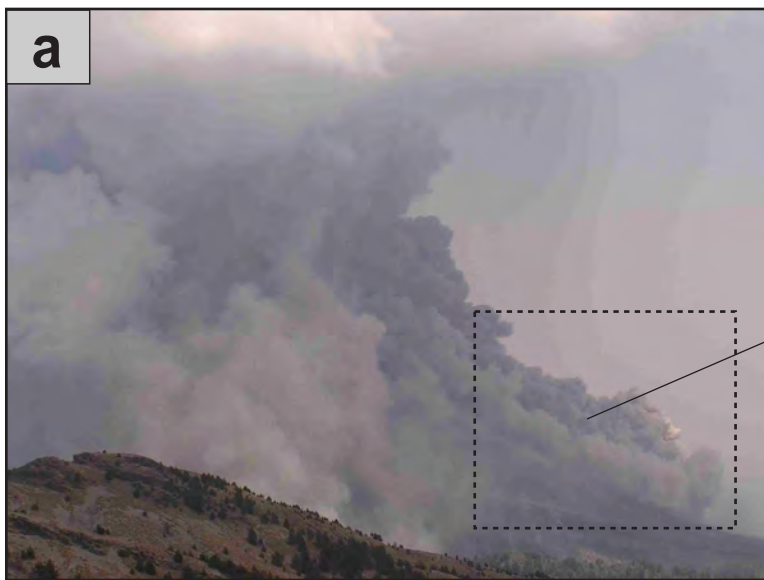
La respuesta directa en el afloramiento del rápido colapso de las unidades será dos regiones de deposición caótica. La primera, gobernada por la fracción gruesa que colapsó por simple gravedad-densidad en este punto sin desarrollar estructuras sedimentarias claras –avalancha basal- (PF07-15 A) y una capa superior, producto de la elutriación de la avalancha basal que genera una nube turbulenta que permaneció en suspensión por unos segundos o minutos para posteriormente depositar–oleada de nube de ceniza-. Todo ello en un proceso continuo alimentado por el paso de los FBC en esta zona, esto puede ser apoyado por la ausencia de un contacto claramente definido entre estas dos zonas.

### (3) Dinámica de la capa fluidizada y la oleada de nube de ceniza

La razón por la cual algunos afloramientos presentan depositación de material fino y otros ausencia del mismo se debe a que la dinámica-velocidad de las corrientes piroclásticas diluidas cambian considerablemente desde su generación y localmente en zonas específicas.

La dinámica y la velocidad de la *capa fluidizada* y de la *oleada de nube de ceniza* presentan confusiones significativas en la literatura. Sin embargo, para el Volcán de Colima, se observan algunas zonas donde la oleada piroclásticas pudo alcanzar velocidades relativamente elevadas. Estos máximos en velocidad se ven favorecidos por:

- 1) Pendientes pronunciadas y ausencia de barreras topográficas importantes (Charbonnier y Gertisser, 2008). En el caso del Volcán de Colima, en la zona proximal de la Barranca de Montegrando Superior, se observa un fuerte efecto debido a la pendiente. Previo a entrar a esta zona superior, el flujo viajaba a una alta velocidad descendiendo por las pendientes pronunciadas del edificio volcánico en el Volcán de Colima ( $>30^\circ$ ). Al llegar al quiebre de pendiente, la avalancha basal –*corriente piroclástica concentrada*- (ver Figura VI.9a y 9a1 –*flecha roja*), rica en partículas gruesas, desacelera parcialmente. Un efecto relativamente opuesto ocurre en la *oleada (capa fluidizada)* –*corriente piroclástica diluída*- (ver Figura VI.9a1–*flecha amarilla*) que se desacopla del resto del flujo. El efecto de esta aceleración se puede observar en las regiones donde la oleada superó los márgenes de la barranca, como en la zona previamente mencionada en Montegrando (Figura VI.9b), afectando una considerable zona de bosque localizada sobre el domo ancestral Los Hijos alcanzando cerca de 80 m de altura. Es importante aclarar que los árboles, que en algunos casos tienen hasta 50 cm de circunferencia en su tronco, no presentan rasgos de carbonización, siendo en la gran mayoría de casos solamente quebrados en dirección del flujo, a pesar de



**Figura VI.9** Algunas observaciones estratigráficas especiales en los FBC del 2005.  
**a)** Separación entre avalancha basal y oleada de nube de ceniza en el evento del 05 de junio del 2005. La flecha roja indica la trayectoria aparente de la avalancha basal; la flecha amarilla la de la Oleada de nube de ceniza.  
**b)** Nivel de destrucción de la oleada piroclástica en la zona proximal de la Barranca Montegrande *Fotografía por Nick Varley*.  
**c)** Vegetación derribada y orientada en dirección de flujo en la zona media de la Barranca de La Arena *Fotografía por Nick Varley*. Las flechas punteadas en esta fotografía y la anterior indican la dirección de flujo.  
**d)** Diagrama idealizado de la distribución de las temperaturas dentro de los flujos de bloques y ceniza (FBC). Inferido de los rasgos de carbonización en la vegetación encontrada a diferentes niveles del depósito.



que el follaje fue completamente arrasado. El efecto producido en esta zona puede ser explicado debido a una rápida convección y expansión lateral del gas contenido en la nube de ceniza (Charbonnier y Gertisser, 2008), a la par, se infiere que la temperatura de emplazamiento no era muy alta por lo que no logró carbonizar la materia vegetal.

- 2) Zonas estrechas dentro de la Barranca. Debido al confinamiento súbito que puede sufrir el flujo al pasar por una zona de reducido espesor dentro de la Barranca, se produce un efecto real de la *Ecuación de Continuidad*, donde  $V_1A_1 = V_2A_2$  (efecto Venturi). Cuando el flujo pasa por un área de sección transversal no confinada presenta cierta velocidad uniforme (momento 1), cuando el flujo pasa a través de un región confinada (reducción del área), la velocidad naturalmente aumentará. Esto se observa claramente en la zona media de la Barranca La Arena, donde el flujo piroclástico después de haberse transportado por una región de canal de anchos relativamente considerables (zona proximal), entra a una región de flujos de lava antiguos con disminución de ancho del canal y cambios bruscos de pendiente. Al igual que en el punto anterior, los efectos se observan en algunos árboles “doblados” en dirección del flujo (*Figura VI.9c*).

#### (4) Presencia de levées y frentes lobulados

La presencia de varios frentes lobulares encontrados dentro de las barrancas y generados durante un episodio explosivo simple (*Figura VI.8a*) puede ser explicado mediante el modelo conceptual propuesto por Gómez et al, 2008. En este se explica que eventos explosivos como los descritos para Colima tienden a procesos de depositación retrógrada, es decir, que las capas superiores no alcanzan la extensión distal de las unidades previas y de la depositada en un primer momento.

Bajo este concepto, se interpreta que el depósito inicia con una gran capa que cubre el terreno, seguida de una serie de capas retrogradadas que depositan pendiente arriba, generando los frentes lobulados que se observan en la superficie del depósito. Esta es una de las evidencias que contradice fuertemente el principio de depositación en masa, siendo más coherentes con las ideas de Sulpizio et al, 2008 de rasgos de una posible agregación progresiva.

#### (5) Rasgos indirectos de temperatura

En primera instancia, de las observaciones realizadas entre la Barranca de Montegrande y La Arena no se presentó gran diferencia en la cantidad de árboles con rasgos de carbonización por temperatura. Sin embargo, al momento de hacer mayor detalle de las características de distribución del calor se pudo observar claramente que del borde hacia el centro y del centro hacia al interior del flujo, los rastros de concentraciones de temperatura se incrementan. Es decir, la madera encontrada al fondo de la zona central de la barranca normalmente presentaban rasgos de carbonización parcial, en cambio, aquellas encontradas hacia los bordes y afuera de la barranca,





solamente fueron quebradas en dirección del flujo y con corteza externa parcialmente cocida. En la *Figura VI.9* se esquematiza claramente dicha distribución, razón por la que la materia vegetal encontrada en el fondo-centro del flujo es la que presenta un grado de carbonización más elevado comparado con el resto del flujo.



## CAPÍTULO VII

# GRANULOMETRÍA

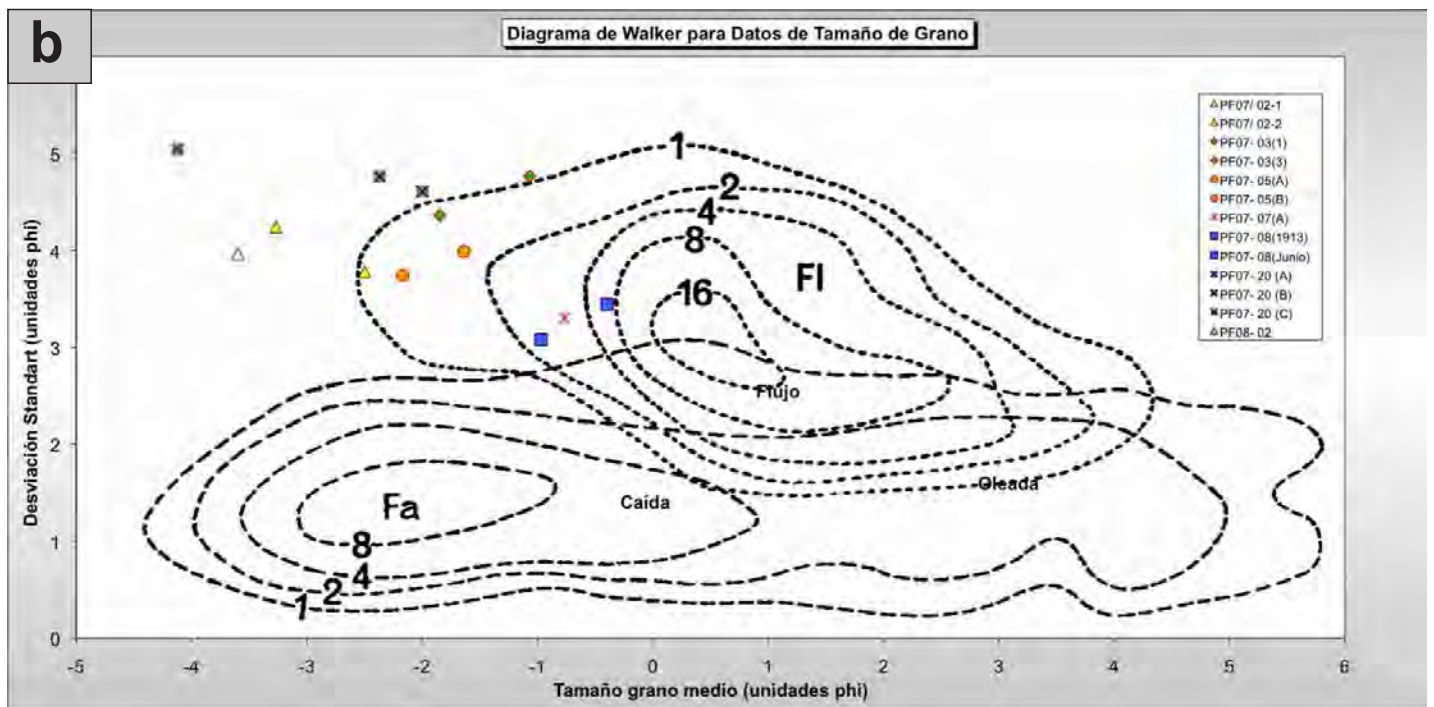
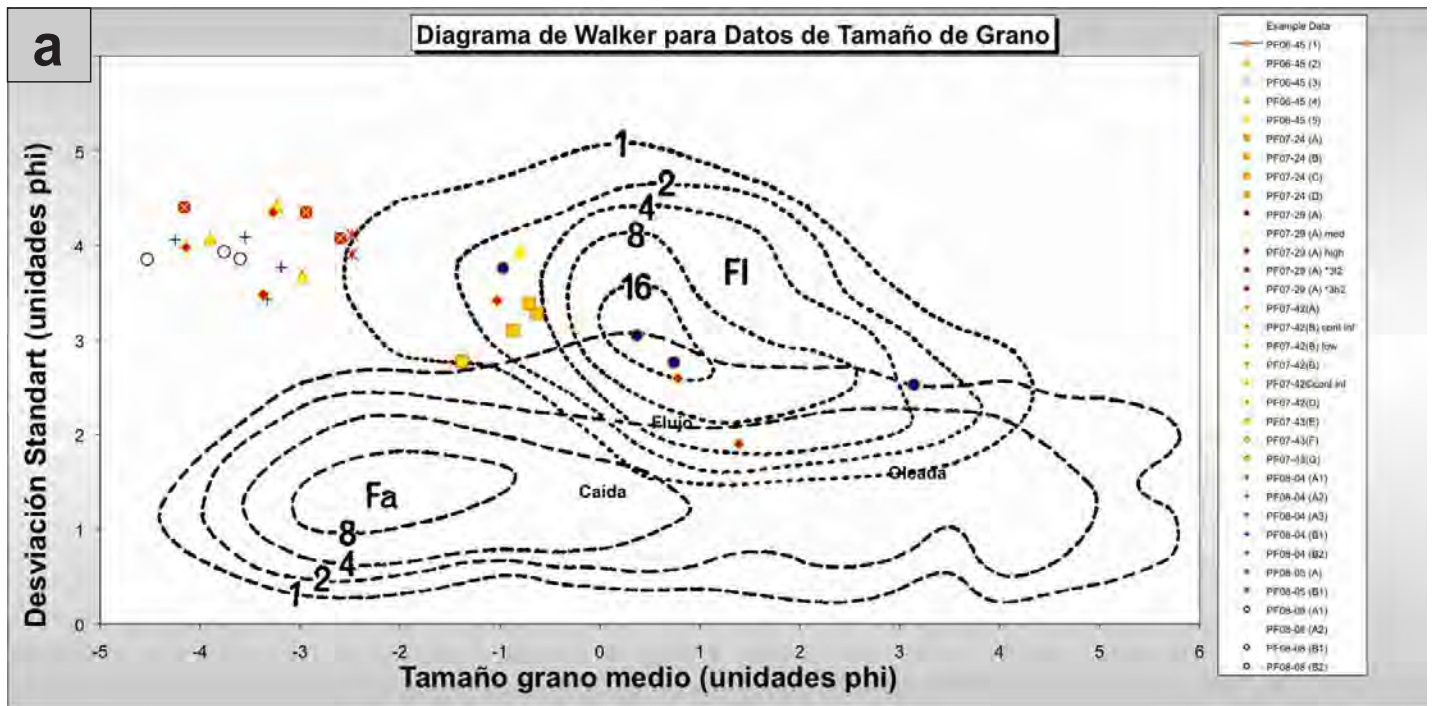
### VII.1 / Introducción (Parámetros Estudiados)

La distribución del tamaño de grano (granulometría) es un apoyo fundamental en la clasificación de los depósitos piroclásticos (Lirer y Vinci, 1991). Desde mediados del siglo XX varios autores (Fisher, 1961, 1964; Lirer y Pescatore, 1968; Schmid, 1981) combinaron parámetros estadísticos de la distribución del tamaño de grano de las partículas piroclásticas en busca de reconstruir la naturaleza, ambiente y procesos de sedimentación (ver Tabla AP.9 y IV.2). Utilizando el esquema más difundido para la clasificación de depósitos piroclásticos de Walker (1971), como método de discriminación inicial de los depósitos, se observa como la mayoría de las muestras caen en el campo de los flujos piroclásticos o bien, a la izquierda de este (Figura VII.1).

Las características texturales más importantes de una roca conformada por clastos consolidados o sin consolidar son la granulometría, el grado de selección y las estructuras sedimentarias presentes. Las estructuras vistas en el afloramiento estudiado permiten determinar la naturaleza misma del depósito, el tipo de transporte y la sedimentación (Sarocchi et al, 2005). Como reconocen estos autores, para efectuar adecuadamente este tipo de análisis es necesario utilizar las técnicas clásicas para el muestreo de campo aunado al trabajo de laboratorio. Sin embargo existen algunos depósitos piroclásticos en los que debido a limitantes de accesibilidad (altura del depósito, poca compactación, gran riesgo de caída de bloques) resulta imposible la toma convencional de muestras y por consecuencia, el debido análisis granulométrico.

Sarocchi et al. (2005) propone un método óptico con el que se sortean las dificultades descritas en el párrafo anterior, sin embargo, se observó que para casos como los de la presente tesis, en depósitos de espesores grandes (> 4 m) la distorsión de la imagen crea gran incertidumbre al momento de realizar mediciones de precisión, aún cuando se han aplicado las debidas correcciones horizontales sobre la imagen.

En la sección IV.3 se explicó previamente el trabajo de laboratorio con toda la metodología aplicada para la obtención de granulometría y análisis de componentes. Asimismo, en la sección IV.4 se detallaron cuales fueron los procedimientos para determinar los parámetros estadísticos de cada una de las muestras estudiadas.



**Figura VII.1** Diagramas de *Walker (1971)* para la clasificación de depósitos piroclásticos. El eje de las abscisas es el tamaño de grano medio de la muestra, mientras que el de las ordenadas la desviación estandar de la muestra.

**a)** Principales muestras obtenidas de la Barranca de Montegrande (sur del Volcán de Colima). La simbología se observa en el recuadro a la derecha de la imagen.

**b)** Principales muestras obtenidas de la Barranca de La Arena (sureste del Volcán de Colima). La simbología se observa en el recuadro a la derecha de la imagen.



## VII.2 / Resultados y Correlación Granulométrica

Los datos obtenidos a partir del análisis granulométrico total (análisis óptico+tamizado+análisis de finos) se graficaron en los histogramas de distribución granulométrica para posteriormente calcular los parámetros estadísticos. Con el fin de tener un mejor agrupamiento de los datos, se respetó la división propuesta en el *Capítulo VI (Estratigrafía)*, en donde los afloramientos se separan en zonas proximales, medias y distales dependiendo de la distancia que presenten con la fuente de aporte (cráter actual del Volcán de Colima).

### VII.2.1 Barranca de Montegrando

#### Zona Proximal

A esta la constituyen 3 zonas de descripción o *afloramientos* ubicados entre 2.70 y 2.90 km de distancia del centro eruptivo (cráter). En total, 16 muestras componen a los 3 afloramientos que se describen en esta zona (*Tabla VII.1*). Todas las unidades de flujo descritas en la Tabla corresponden a Flujos de Bloques y Ceniza, con excepción de la unidad *PF07-42(A)* –lahar-, así como *PF0-42(B) cont inf* y *PF07-42(C) cont inf* que son depósitos de oleada piroclásticas.

**Tabla VII.1**

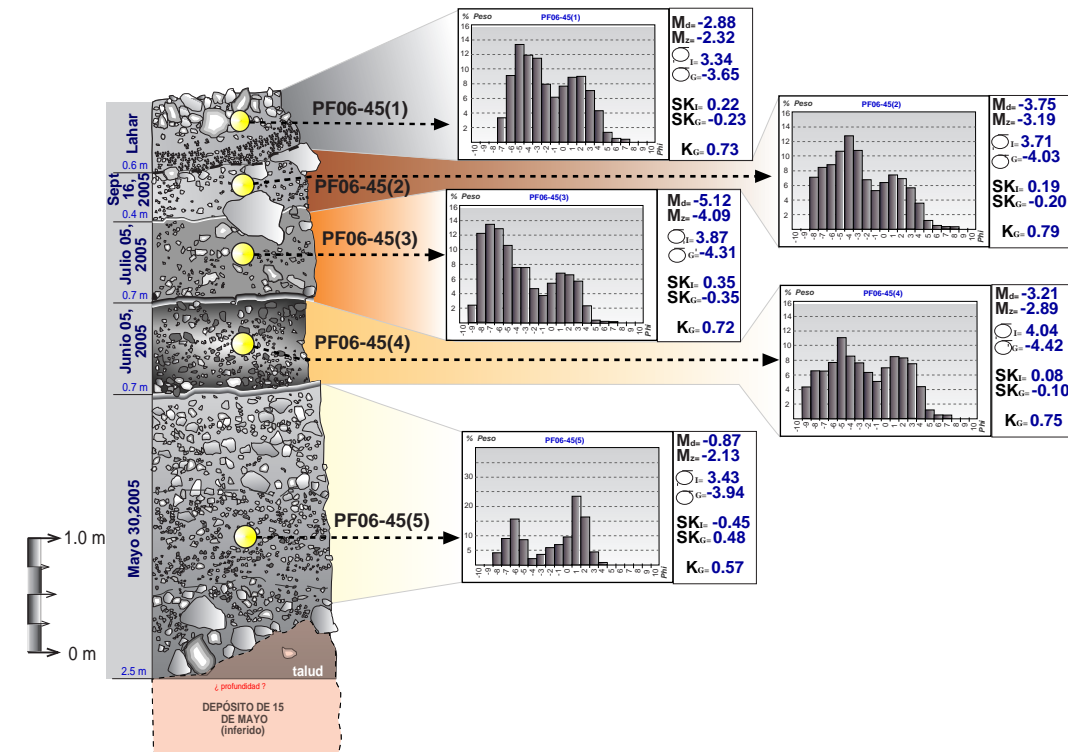
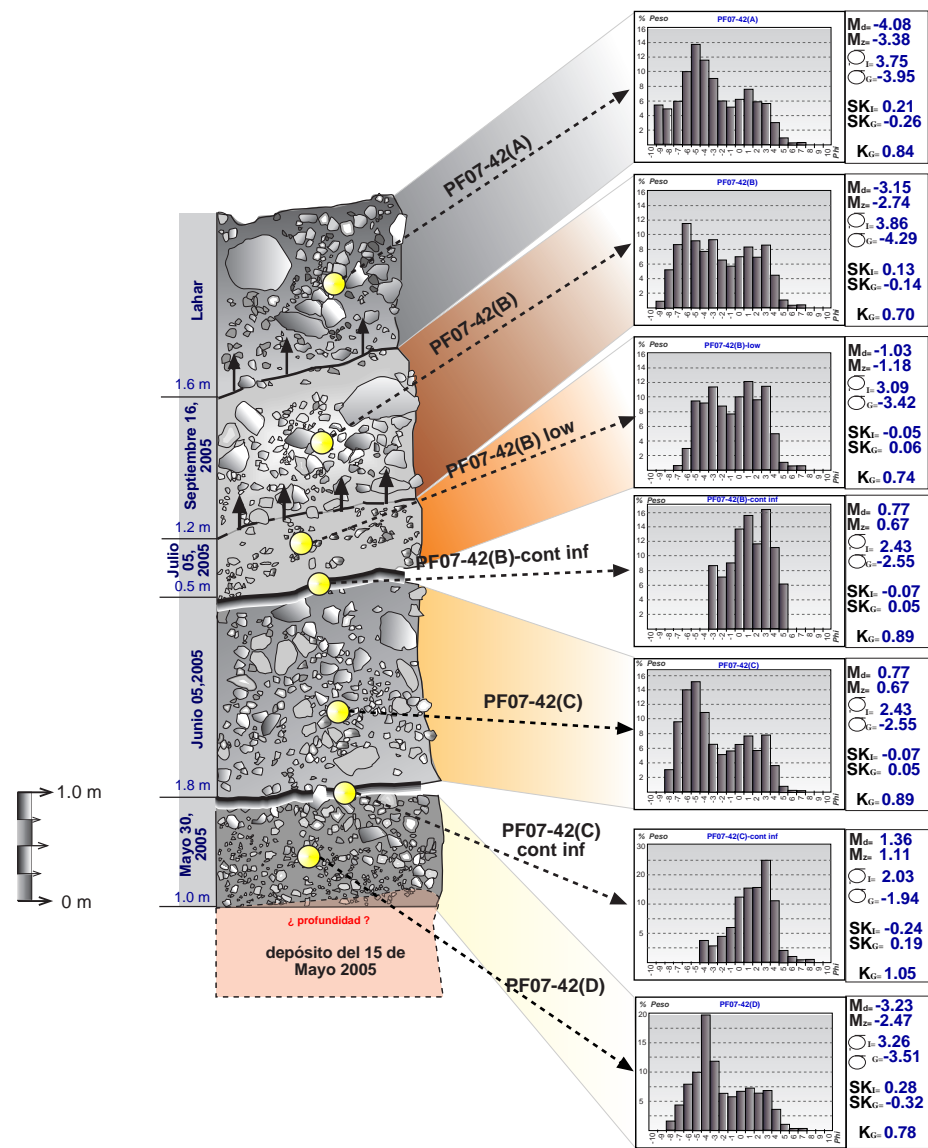
Parámetros estadísticos sedimentológicos de las muestras que conforman la zona proximal en la Barranca de Montegrando. La distancia es calculada en línea recta desde el cráter. Md= mediana, Mz=media,  $\sigma_1$ = Selección,  $\sigma_G$ =Selección Central,  $Sk_1$ =asimetría,  $Sk_G$ =asimetría central,  $K_G$ =kurtosis

Unidad	Distancia	Md	Mz	$\sigma_1$	$\sigma_G$	$Sk_1$	$Sk_G$	$K_G$
<i>PF07-42(A)</i>	2.40 km	-4.08	-3.38	3.75	-3.95	0.21	-0.26	0.84
PF07-42(B)	2.40 km	-3.15	-2.74	3.86	-4.29	0.13	-0.14	0.70
PF07-42(B) low	2.40 km	-1.03	-1.18	3.09	-3.42	-0.05	0.06	0.74
<i>PF07-42(B) cont inf</i>	2.40 km	0.77	0.67	2.43	-2.55	-0.07	0.05	0.89
PF07-42(C)	2.40 km	-4.17	-3.18	3.64	-4.04	0.34	-0.36	0.71
<i>PF07-42(C) cont inf</i>	2.40 km	1.36	1.11	2.03	-1.94	-0.24	0.19	1.05
PF07-42(D)	2.40 km	-3.23	-2.47	3.26	-3.51	0.28	-0.32	0.78
PF06-45(1)	2.44 km	-2.88	-2.32	3.34	-3.65	0.22	-0.23	0.73
PF06-45(2)	2.44 km	-3.75	-3.19	3.71	-4.03	0.19	-0.20	0.79
PF06-45(3)	2.44 km	-5.12	-4.09	3.87	-4.31	0.35	-0.35	0.72
PF06-45(4)	2.44 km	-3.21	-2.89	4.04	-4.42	0.08	-0.10	0.75
PF06-45(5)	2.44 km	-0.87	-2.13	3.43	-3.94	-0.45	0.48	0.57
PF08-08 (A1)	2.59 km	-4.39	-3.37	3.53	-3.85	0.38	-0.39	0.76
PF08-08 (A2)	2.59 km	-4.67	-3.54	3.64	-3.99	0.41	-0.42	0.75
PF08-08 (B1)	2.59 km	-3.57	-2.73	3.53	-3.91	0.29	-0.32	0.71
PF08-08 (B2)	2.59 km	-3.49	-2.70	3.50	-3.82	0.26	-0.31	0.75

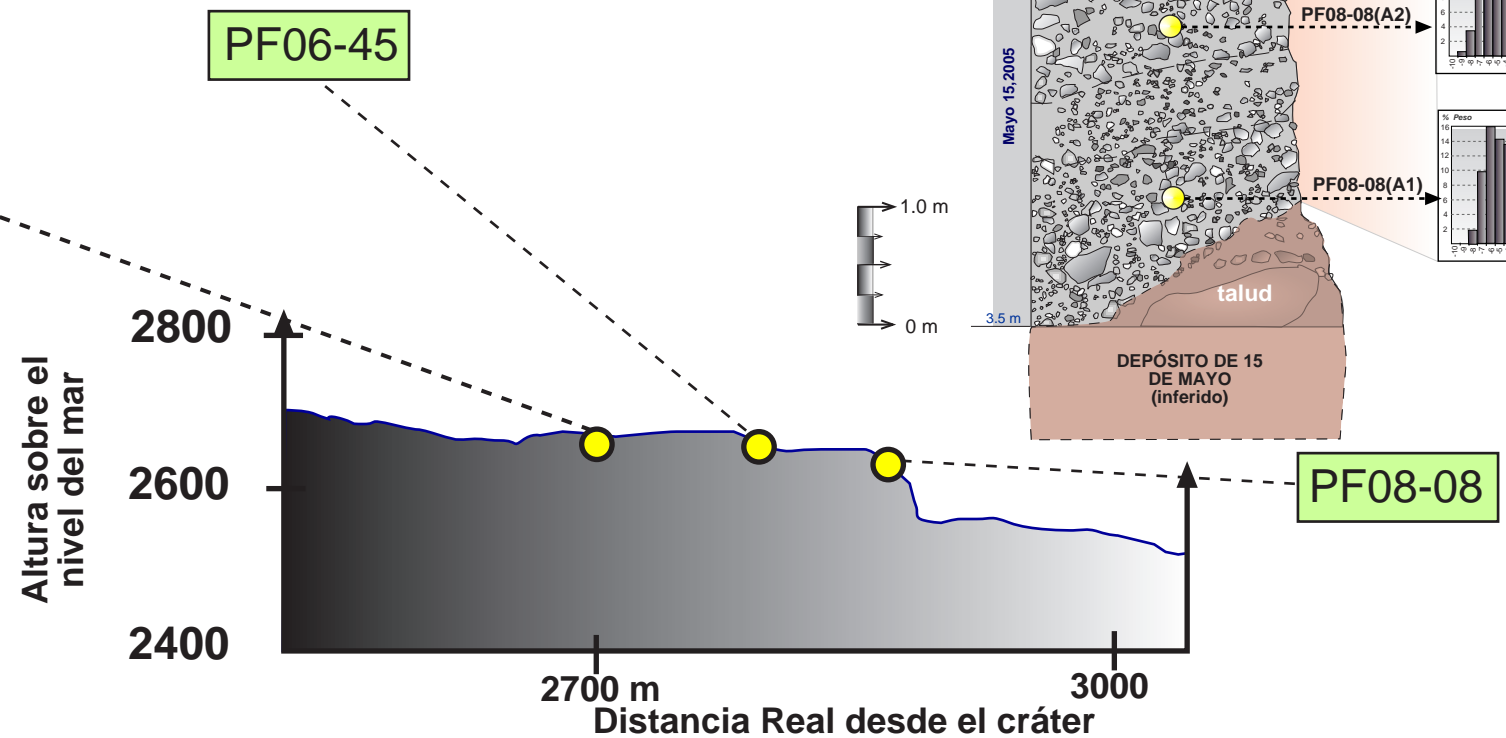
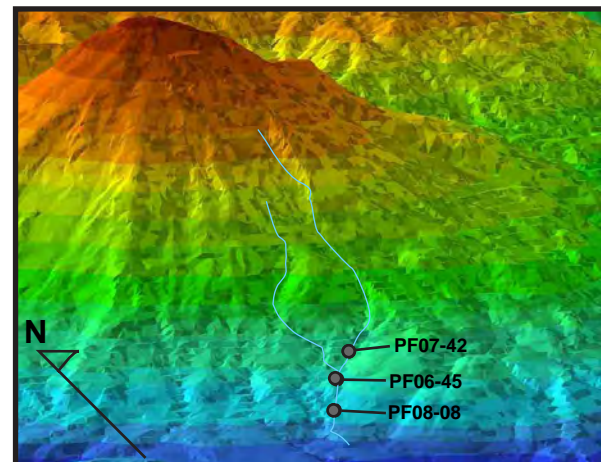
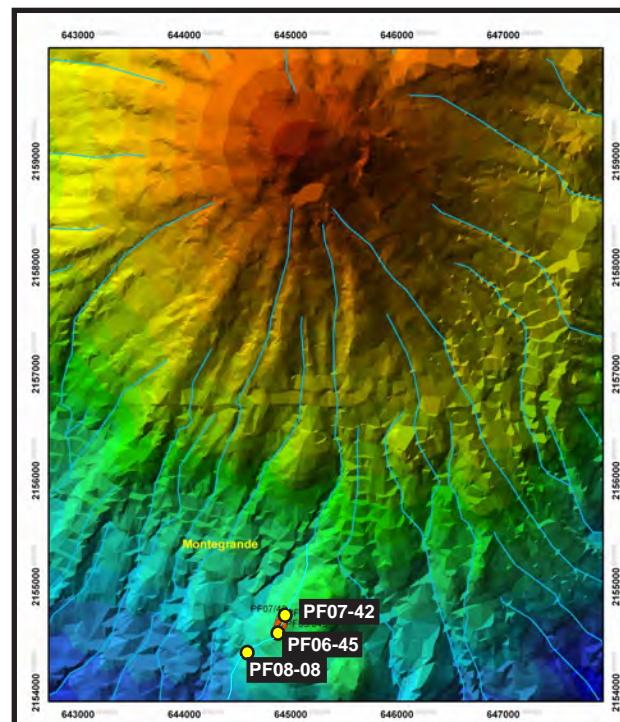
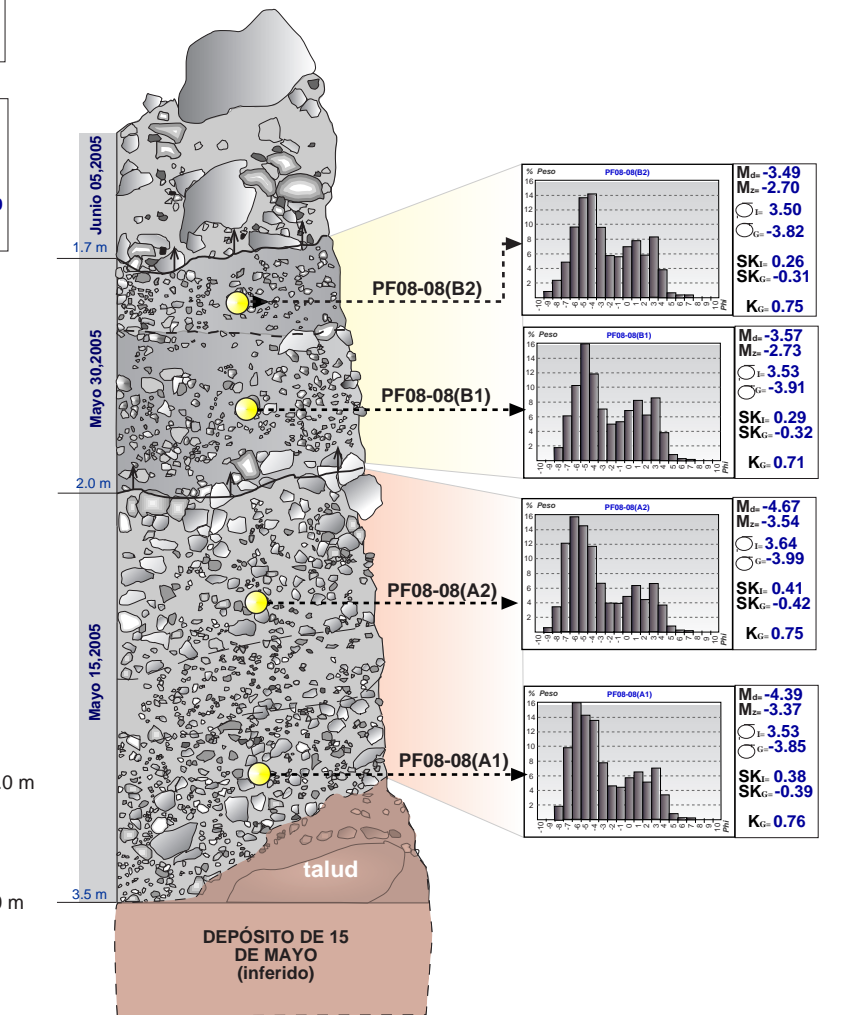
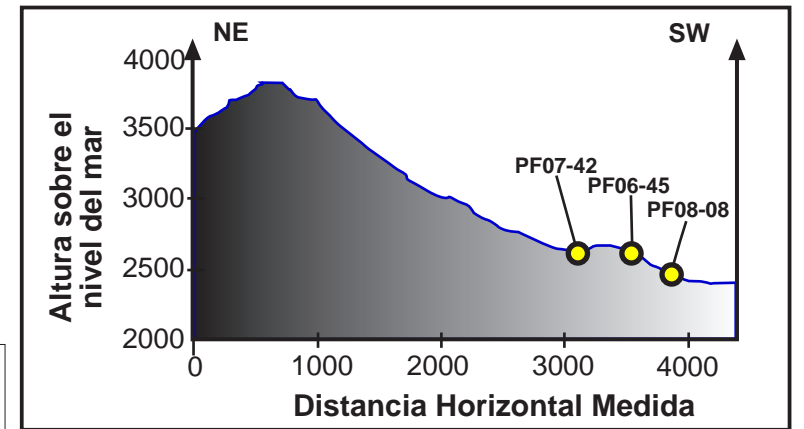
# VOLCÁN DE COLIMA

## Zona Proximal (Granulometría)

### Depósitos de Flujos de Bloques y Ceniza Barranca de Montegrando



**Figura VII.2**  
Correlación granulométrica de la zona proximal dentro de la Barranca de Montegrando. Los recuadros a la derecha de los histogramas de distribución granulométrica detallan los principales parámetros estadísticos. Los círculos amarillos muestra el sitio exacto donde se tomó la muestra.





Los histogramas de distribución granulométrica muestran un claro comportamiento bimodal, con modas principalmente entre  $-7\phi$  y  $-3\phi$  (fracción de gruesos), aunque los más abundantes se ubican entre  $-5$  y  $-4$ , así como modas secundarias en  $+1\phi$  a  $+3\phi$  (fracción de finos). En algunas muestras [PF06-45 (5), PF07-42(B) cont inf, PF07-42(C) cont inf] la moda marcada como secundaria toma el lugar de la primaria. Los nodos, valles localizados entre las dos modas, se ubican normalmente en  $-2\phi$  y  $-1\phi$ .

Con base en los parámetros estadísticos podemos describir que la mediana varía de  $-4.67$  a  $-0.87\phi$  (solo para depósitos de FBC), mientras que para depósitos de oleadas piroclásticas diluidas alcanza hasta  $+1.36\phi$ . Las muestras son pobremente clasificadas (3.09 a 4.04), con asimetría positiva en la mayoría de las muestras, a excepción de PF06-45 (5), PF07-42(B)low. Las muestras de oleada piroclástica presentan asimetría negativa. La mayoría de muestras son platicúrticas (entre 0.70 y 0.80), sin embargo, los depósitos de oleada son de tipo mesocúrtico. La Figura VII. 2 muestra la correlación granulométrica de la zona proximal en la Barranca de Montegrande.

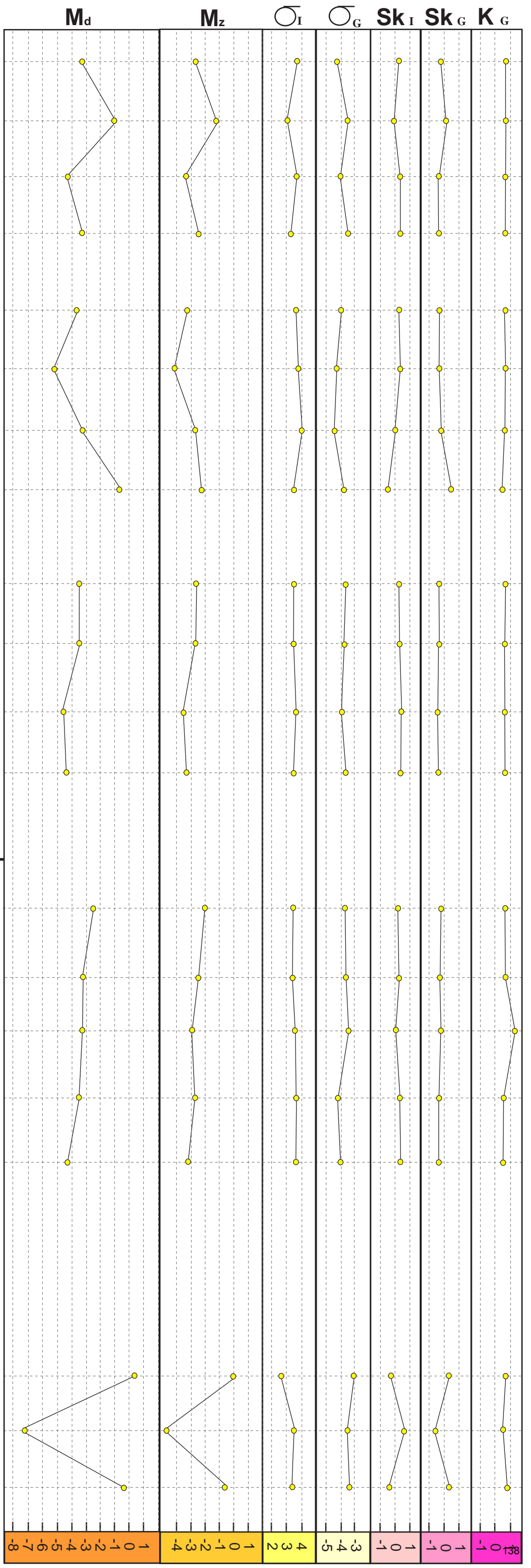
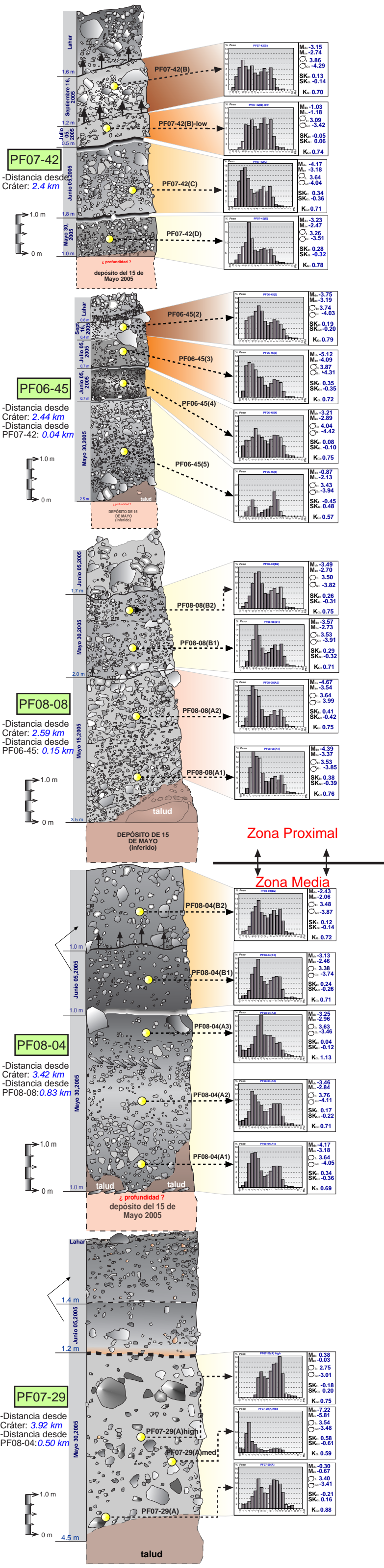
No se observa una clara tendencia entre los parámetros estadísticos para la zona proximal, sin embargo, a grosso modo la asimetría se va acentuando positivamente en dirección de flujo (Figura VII.2 y Figura VII.3). Un rasgo importante a mencionar, es que en varias muestras se observa una inconsistencia en la tendencia general de la curva, específicamente en  $+2\phi$ , evidente por una menor concentración que en las clases vecinas. Este efecto es especialmente marcado en aquellas muestras que presentan una asimetría positiva más acentuada, por ejemplo, las unidades de flujo de PF08-08 (Figura VII.2).

En cuanto a las variaciones verticales de cada afloramiento (Figura VII.3), no se observa una clara tendencia de los datos en  $M_d$  y  $M_z$ , a excepción de una difusa disminución en el tamaño de grano a medida que avanzamos verticalmente hacia la cima del depósito PF08-08. En el depósito PF06-45 la asimetría varía de valores negativos hacia positivos (cambio de afinidad en partículas finas a partículas gruesas, respectivamente), mientras que en PF07-42 el patrón varía de difusamente con valores de tendencia positivas a unidades con tendencia simétrica.

---

**Figura VII.3:** variaciones verticales de los principales parámetros estadísticos sedimentológicos en la Barranca de Montegrande. Buscando hacer una comparativa adecuada, las unidades de flujo utilizadas son las correspondientes únicamente a depósitos de flujos de bloques y ceniza (FBC). Las distancias designadas (derecha de la columna estratigráfica, son la distancia desde el cráter y distancia con respecto al punto inmediato previo –en línea recta–.

$M_d$ = mediana;  $M_z$ = media;  $\sigma_I$ = selección;  $Sk_I$ = asimetría;  $K_G$ = kurtosis





### Zona Media

Son tres los afloramientos estudiados en esta zona: *PF08-04*, *PF07-29*, *PF08-05* (Figura VII.4) -Tabla VII.2-. La gran mayoría de las muestras pertenecen a depósitos de FBC, con excepción de las muestras *high*, *3l2* y *3h2* del afloramiento *PF07-29*, que posiblemente corresponden a depósitos de oleadas piroclásticas intercalados dentro de los flujos de bloques y ceniza. En general, los afloramientos muestran una marcada tendencia bimodal con máximos entre  $-6\phi$  a  $-3\phi$  y  $1$  a  $3\phi$ . Por otro lado, las posibles oleadas presentan distribución con tendencia unimodal con máximo entre  $+2\phi$  -  $4\phi$ . De igual manera, el nodo se sigue localizando entre la parte entre  $-2\phi$  y  $-1\phi$ . La tendencia del gráfico *PF08-04(A3)* contrasta moderadamente con el del resto de las muestras, ya que a excepción del %peso para  $10\phi$ , la tendencia general del gráfico tiende a la unimodalidad, sin presentar una clase predominante en la porción de partículas finas.

**Tabla VII.2**

Parámetros estadísticos sedimentológicos de las muestras que conforman la zona media en la Barranca de Montegrande. La distancia es calculada en línea recta desde el cráter.

Unidad	Distancia	Md	Mz	$\sigma_I$	$\sigma_G$	Sk <sub>I</sub>	Sk <sub>G</sub>	K <sub>G</sub>
PF08-04(A1)	3.42 km	-4.17	-3.18	3.64	-4.05	0.34	-0.36	0.69
PF08-04(A2)	3.42 km	-3.46	-2.84	3.76	-4.11	0.17	-0.22	0.71
PF08-04(A3)	3.42 km	-3.25	-2.96	3.63	-3.46	0.04	-0.12	1.13
PF08-04(B1)	3.42 km	-3.13	-2.46	3.38	-3.74	0.24	-0.26	0.71
PF08-04(B2)	3.42 km	-2.43	-2.06	3.48	-3.87	0.12	-0.14	0.72
PF07-29(A)	3.92 km	-0.30	-0.67	3.40	-3.41	-0.21	0.16	0.88
PF07-29(A) med	3.92 km	-7.22	-5.81	3.54	-3.48	0.58	-0.61	1.59
PF07-29(A) high	3.92 km	0.38	-0.03	2.75	-3.01	-0.18	0.20	0.75
PF07-29(A) 3l2	3.92 km	0.66	0.44	2.65	-2.73	-0.08	0.12	0.94
PF07-29(A) 3h2	3.92 km	3.14	2.85	2.61	-2.55	-0.21	0.17	1.03
PF08-05 (A)	4.09 km	-4.15	-3.05	3.65	-4.06	0.39	-0.40	0.71
PF08-05 (B1)	4.09 km	-2.25	-2.15	3.57	-4.08	0.03	-0.03	0.64

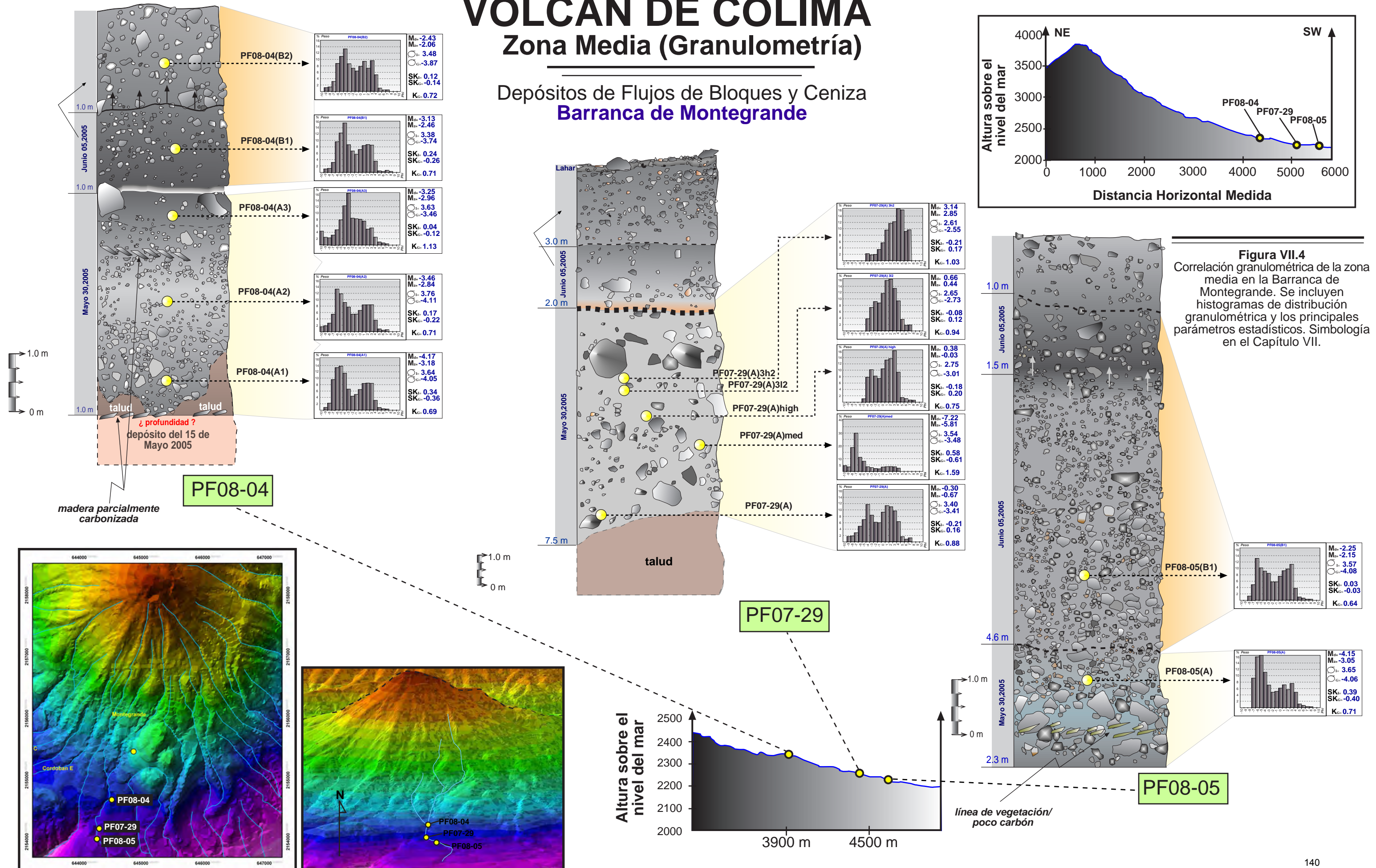
Los parámetros estadísticos nos indican que la mediana presenta un amplio rango (entre  $-7.22\phi$  y hasta  $-0.30\phi$ ), lo cual puede indicar una importante variabilidad granulométrica, mientras que la media granulométrica (Mz) cambia de  $-5.81$  a  $-0.67\phi$  en los depósitos de FBC, en comparativa, los depósitos de oleada oscilan entre  $-0.03\phi$  hasta  $2.85\phi$ . En general, los depósitos son pobremente clasificados (entre 3.38 y 3.76), con una gran mayoría de muestras entre asimétricas positivas y muy asimétricas positivas variante entre 0.12 a 0.39, a excepción de las muestras *PF08-04(A3)* y *PF08-05(B1)* con clara tendencia simétrica. Solamente las muestras determinadas inicialmente como oleadas poseen asimetría negativa. La curtosis de esta zona varía entre 0.64 y 1.59 (muy platicúrtica a muy leptocúrtica), aunque un amplio porcentaje de muestras se ubican entre 0.64 a 0.75 (zona platicúrtica) –ver Figura VII.3-.



# VOLCÁN DE COLIMA

## Zona Media (Granulometría)

Depósitos de Flujos de Bloques y Ceniza  
Barranca de Montegrande





El comportamiento de los histogramas es mucho más uniforme en esta zona que en la región proximal de la barranca. La inconsistencia en  $2\phi$  descritas para la zona anterior no es completamente evidente en la zona media. En comparativa vertical, se puede observar que la mediana (Md) y la media (Mz) varían hacia concentraciones cada vez más finas en el afloramiento *PF08-04* y *PF08-05*; en *PF07-29* no se observa ningún ordenamiento preferencial. De igual manera, en *PF08-04* y *-05* la selección y la curtosis se mantiene casi en valores constantes.

#### Observaciones generales

Adicionalmente a las descripciones previamente presentadas, es importante la discusión de las características granulométricas y los parámetros estadísticos a lo largo de toda la Barranca de Montegrando. Para ello usaremos la *Figura VII.5* como análisis de comparación los depósitos asociados a las explosiones del 15 de mayo, 30 de mayo y 05 de junio del 2005.

Como se detalló en el capítulo de *Estratigrafía*, entre el punto *PF08-08* y *PF08-04*, es decir, el límite de la zona proximal y media en la Barranca de Montegrando, existe un gran paredón que provoca un salto hidráulico durante el transporte del flujo piroclástico.

Particularmente, en los depósitos asociados al FBC de 30 de mayo del 2005, no se observa modificación de los parámetros granulométricos debidos a este cambio topográfico: los depósitos evidencian asimetría normalmente positiva a lo largo de la barranca, mientras que la curtosis se mantiene prácticamente estable. Solamente en *PF07-29* se observa que la mediana y la media sufren cambios hacia una mayor concentración de finos, de igual manera, la asimetría presente es ligeramente negativa (*Figura VII.6 a*). Esto posiblemente haya sido producido por una intensa fragmentación de bloques posterior al salto de pendiente. Otra de las muestras en donde se observa cierto contraste de los parámetros estadísticos es en *PF06-45(5)*, con puntos mínimos en la mediana (afinidad hacia los finos), apoyado por una leve asimetría positiva.

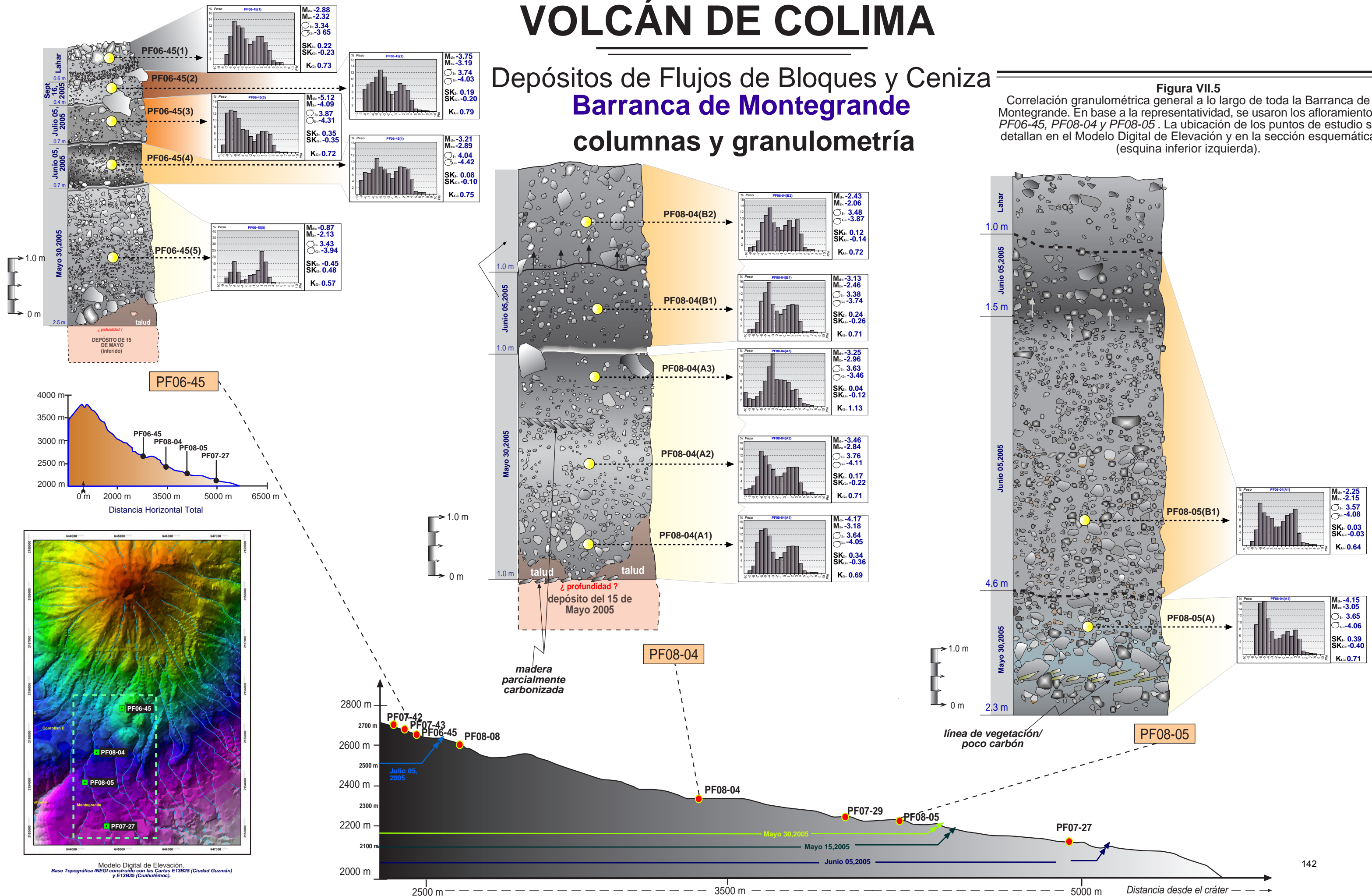
En el flujo del 05 de junio (*Figura VII.6 b*) se presenta un comportamiento más regular de los parámetros estadísticos. Tanto en la mediana como en la media se observa un moderado enriquecimiento en partículas finas a medida que nos desplazamos pendiente abajo. Por otro lado, la asimetría, curtosis y la selección se mantienen aproximadamente dentro del mismo rango de valores, marcado por una distribución lineal de los datos de la figura VII.6 b.

De los parámetros estadísticos comparativos para los eventos del 2005 en Montegrando, podemos discutir que a medida que se depositan los flujos conforme avanzó la fase explosiva, los parámetros sedimentológicos se hicieron más estables; por ende, el depósito del 05 de junio

# VOLCÁN DE COLIMA

## Depósitos de Flujos de Bloques y Ceniza Barranca de Montegrande columnas y granulometría

**Figura VII.5**  
Correlación granulométrica general a lo largo de toda la Barranca de Montegrande. En base a la representatividad, se usaron los afloramientos PF06-45, PF08-04 y PF08-05. La ubicación de los puntos de estudio se detallan en el Modelo Digital de Elevación y en la sección esquemática (esquina inferior izquierda).



# VOLCÁN DE COLIMA

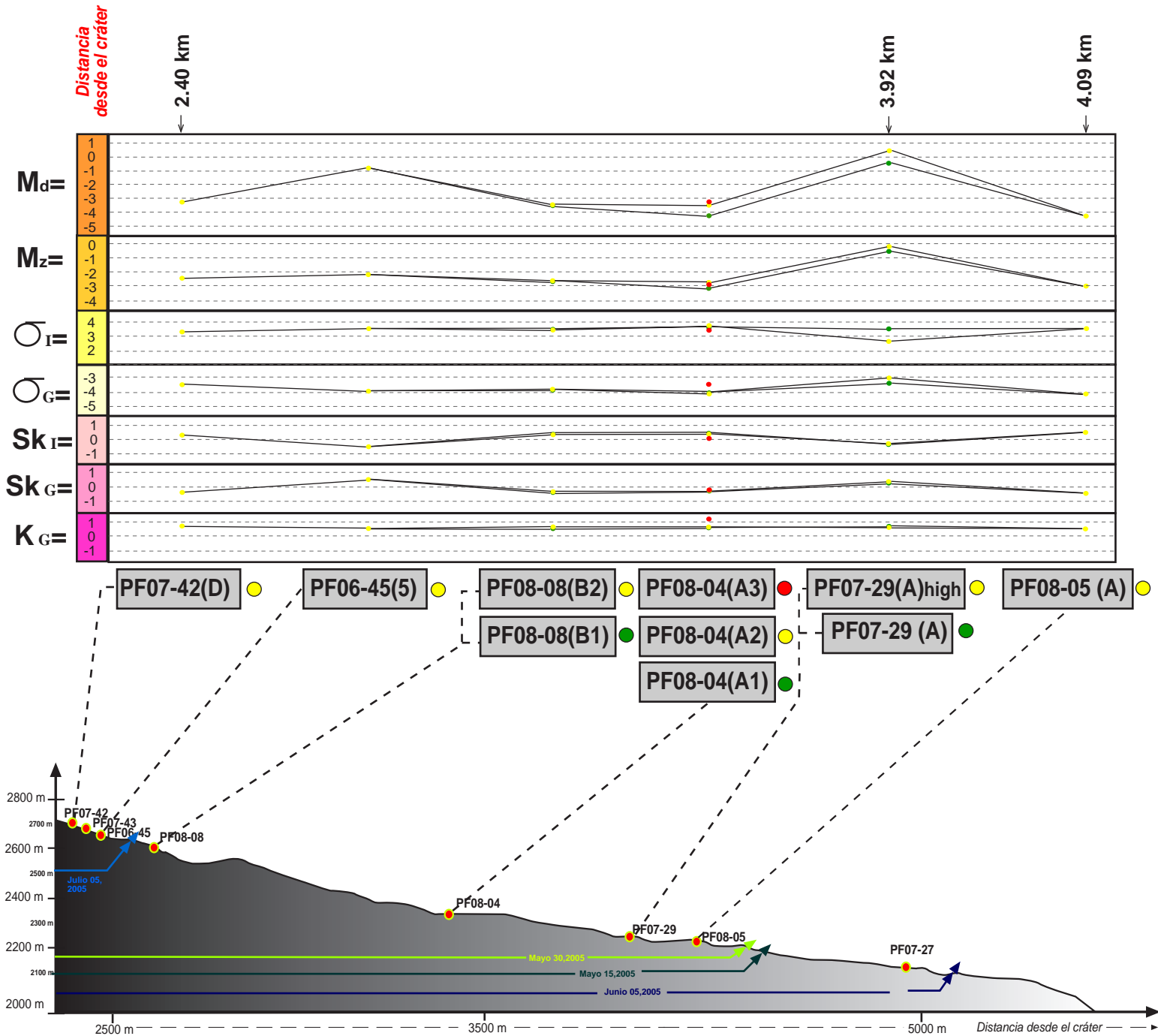
## parámetros estadísticos- Comparación

Depósitos de Flujos de Bloques y Ceniza  
Barranca Montegrande

30 de Mayo, 2005

Figura VII.6 a

Comparativa de los principales parámetros sedimentológicos para el evento del 30 de Mayo del 2005 en la Barranca Montegrande (flanco sur del Volcán de Colima). La distancia considerada es en línea recta desde la fuente -cráter actual-.



# VOLCÁN DE COLIMA

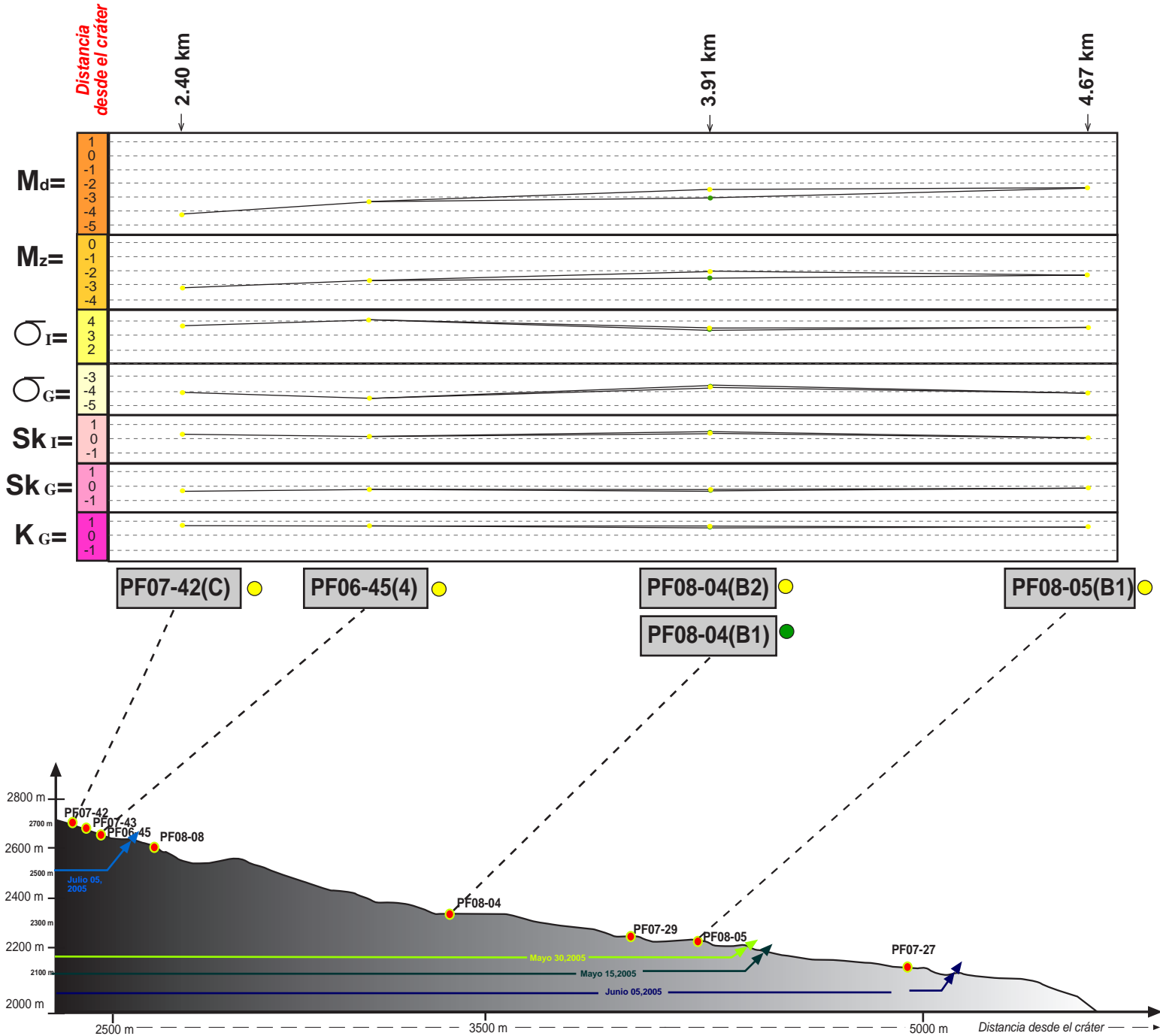
## parámetros estadísticos- Comparación

Depósitos de Flujos de  
Bloques y Ceniza  
**Barranca Montegrande**

**05 de Junio, 2005**

**Figura VII.6 b**

Comparativa de los principales parámetros sedimentológicos para el evento del 05 de Junio del 2005 en la Barranca Montegrande (flanco sur del Volcán de Colima). La distancia considerada es en línea recta desde la fuente -cráter actual-.

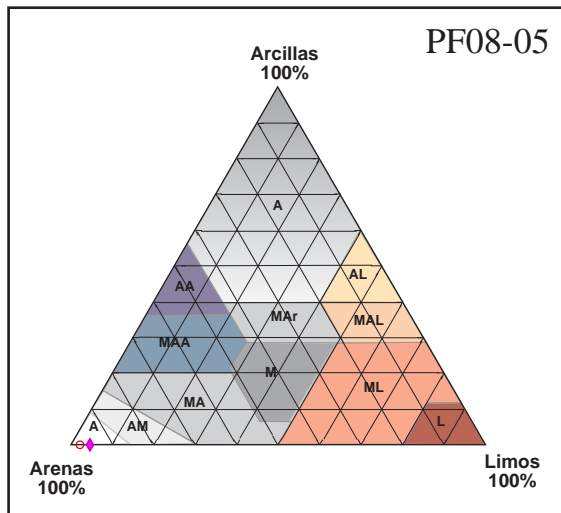
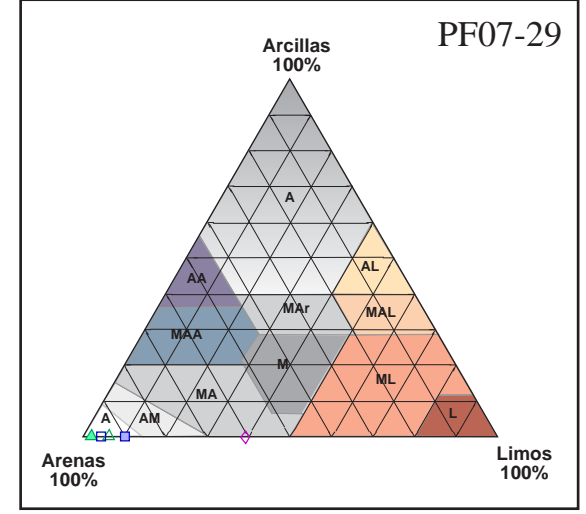
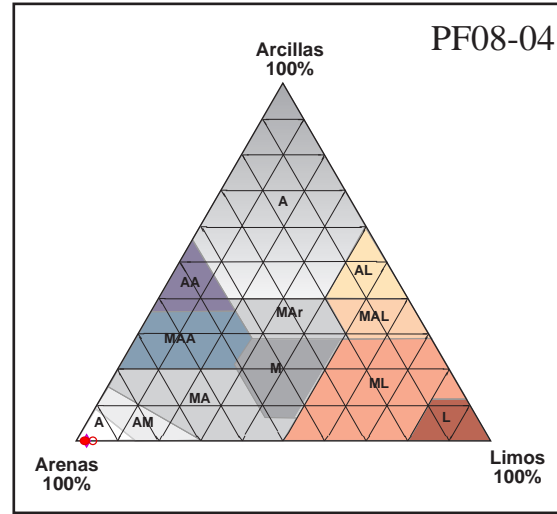
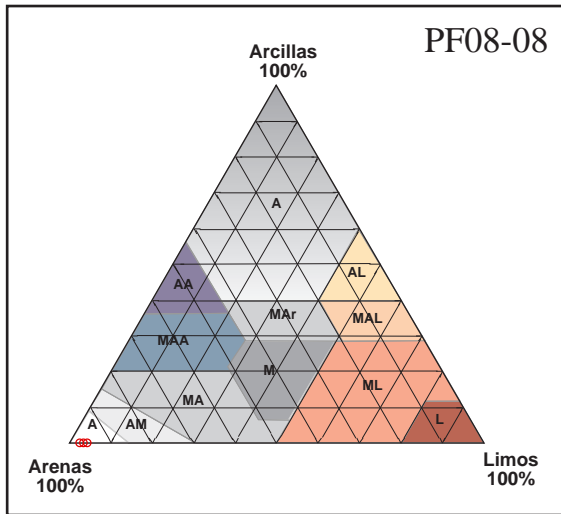
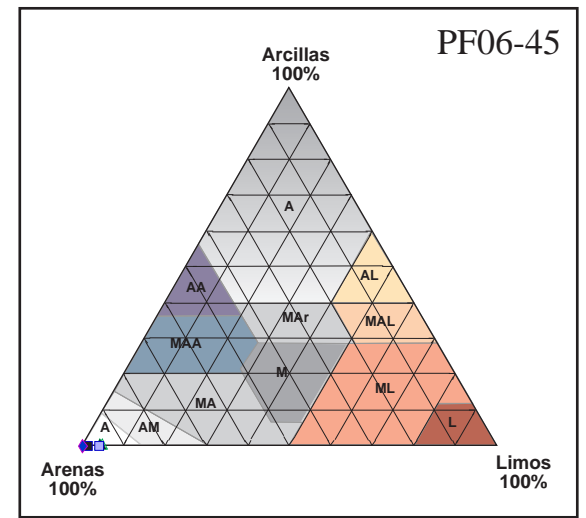
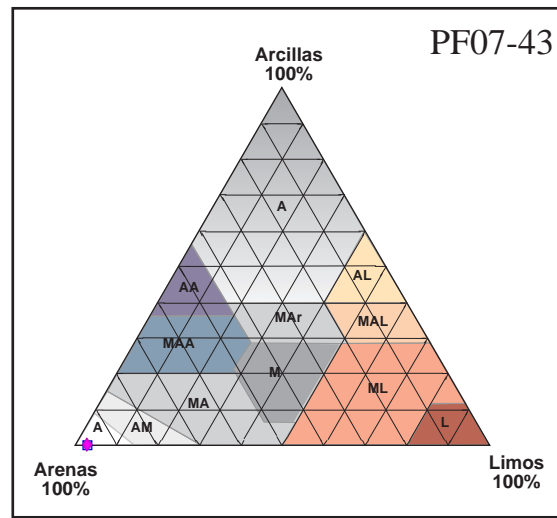
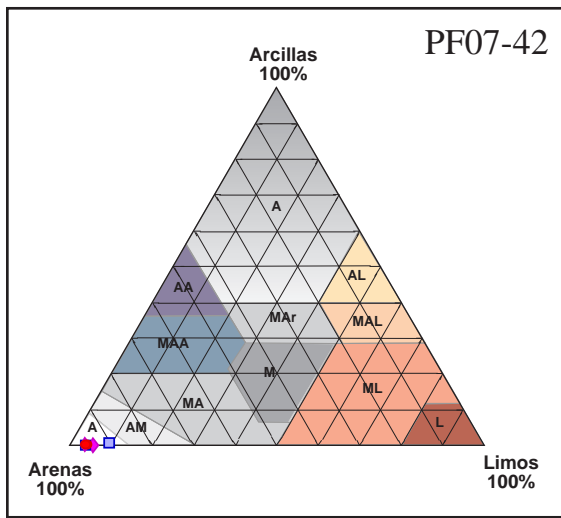




presentará una mayor uniformidad entre los valores que los mostrados para el flujo del 30 de mayo (*Figura VII.6 a-c*).

El efecto previamente mencionado puede estar directamente relacionado a que los primeros eventos piroclásticos en el Volcán de Colima en el 2005 encontraron una topografía irregular, lo cual controló considerablemente los rasgos texturales y granulométricos para las primeras unidades de flujo, principalmente para el rango de partículas gruesas (asimetría positiva).

En un análisis realizado para la fase de matriz (<2 mm) en la mayoría de los afloramientos de la Barranca de Montegrando, se pudo constatar que en el 100% de los casos analizados, la matriz es predominantemente arenosa (equivalente de ceniza mediana a muy gruesa), con muy bajas concentraciones en limos (ceniza fina) oscilando entre 0.1 a 5% como máximo (en *PF07-29*). Para ninguno de los casos existe presencia considerable de arcillas (eq. ceniza muy fina). Los diagramas ternarios de esta comparativa se aprecian en la *Figura VII.7*.



# VOLCÁN DE COLIMA

## Diagramas Triangulares

Depósitos de Flujos de Bloques y Ceniza  
Barranca Montegrande

Figura VII.7

Diagramas ternarios para la nomenclatura de sedimentos (Folk, 1974) donde ubicamos las muestras de los principales afloramientos en la Barranca de Montegrande. En el recuadro de la derecha se explican las abreviaturas los principales campos que componen los diagramas.

- A - Arena
- AM - Arena Margosa
- MA - Marga Arenosa
- MAA - Marga Arcillosa Arenosa
- AA - Arcilla Arenosa
- MAr - Marga Arcillosa
- M - Marga
- A - Arcilla
- AL - Arcilla Limosa
- MAL - Marga Arcillosa Limosa
- ML - Marga Limosa
- L - Limos



## VII.2.1 Barranca de La Arena

### Zona Proximal

Está compuesta por los depósitos *PF07-02* y *PF07-03*. Estas muestras de FBC presentan un comportamiento bimodal mal definido para las dos muestras de *PF07-02* y la unidad base de *PF07-03*. Esto es debido a que la moda situada en la fracción de gruesos (en  $-4\phi$ ) no está rodeada por una distribución gaussiana suave en las clases vecinas (ver *Figura VII.8 –zona proximal-*). A pesar de ello, los dos máximos modales evidentes se ubican entre  $-5\phi$  y  $-3\phi$  (para partículas gruesas) y 0 a  $-1\phi$  para la fracción fina. Todas las unidades de flujo descritas para esta zona corresponden a depósitos de flujos de bloques y ceniza.

En detalle, los parámetros estadísticos (*Tabla VII.3*), muestran un rango moderadamente variable para la mediana ( $M_d$ ) de entre  $-3.12$  a  $-1.05$ ; si bien aparenta no ser un cambio muy brusco en el tamaño de grano, llama particularmente la atención la cercanía de los puntos en cuestión. La selección se ubica entre valores de  $3.35$  a  $4.36$ , por lo cual las muestras son pobremente a muy pobremente clasificadas. El rango de asimetría ( $Sk_i$ ) permanece muy variable: la primera unidad de la *Tabla VII.3* es asimétrica negativa, seguidas de un par de muestras simétricas y finalmente la *PF07/02-2* con asimetría positiva. Prácticamente las muestras ubicadas en esta área son platicúrticas, indicando una mejor selección en el centro que en las curvas de distribución granulométrica.

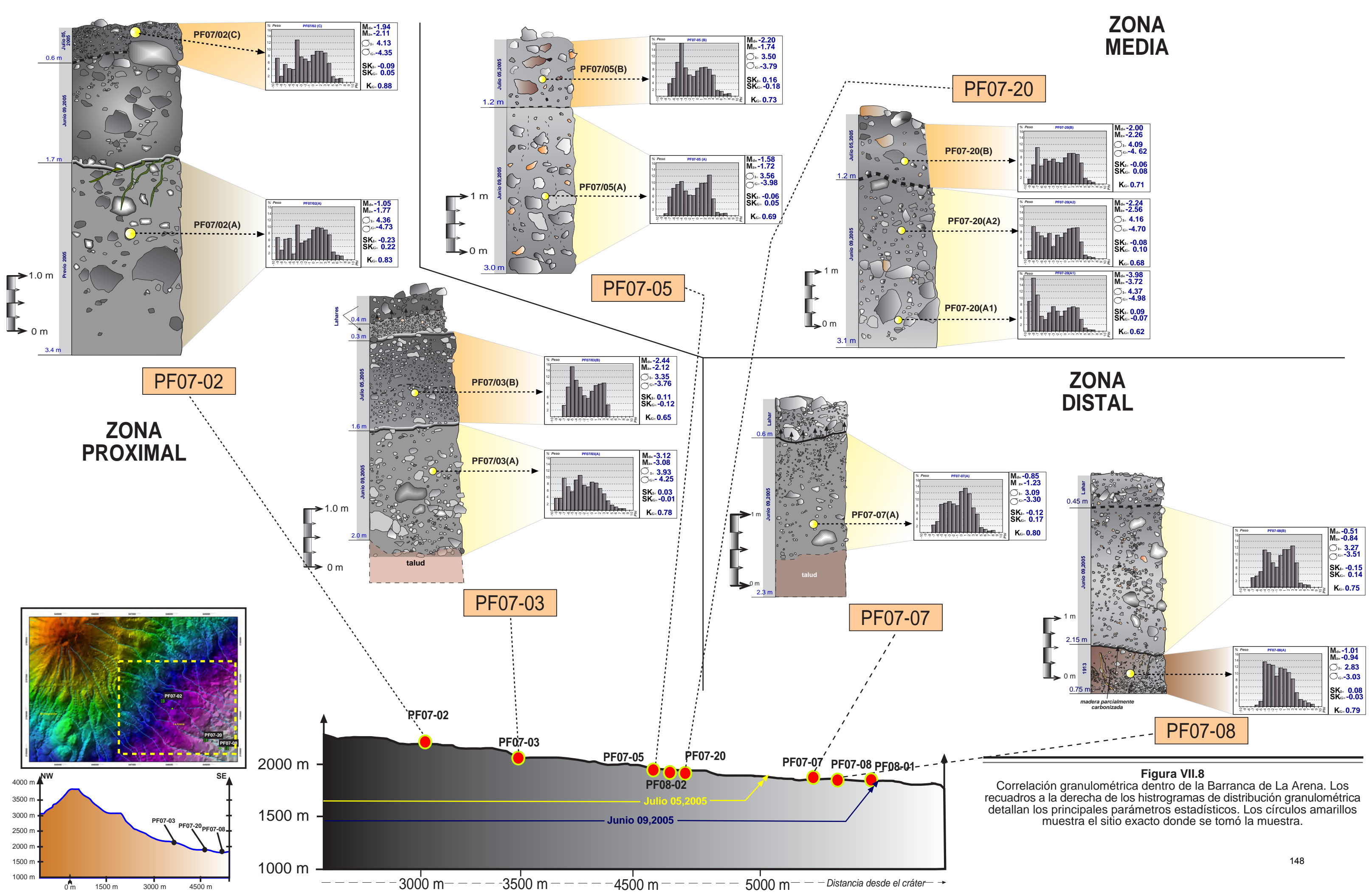
Entre la comparativa vertical de los parámetros estadísticos descritos para la zona proximal en la Barranca de La Arena (*Figura VII.9*), se observa que entre la unidad inferior y superior de *PF07-02* existe una relativa tendencia inversa de algunos datos, es decir, a medida que subimos estratigráficamente en el afloramiento, la  $M_d$  y  $M_z$  tienden a disminuir. Caso inverso sucede para los mismos parámetros en *PF07-03*, en donde a medida que ascendemos en la secuencia, el tamaño de grano de la  $M_d$ - $M_z$  aumenta. La clasificación y la curtosis se mantienen relativamente constante en la vertical del depósito. A pesar de lo previamente descrito, estas interpretaciones deben ser tomadas con suma precaución, debido a que las unidades de flujo identificadas por afloramiento son solamente dos, lo cual merma significativamente la certidumbre de la comparativa. El mismo caso se presenta para los demás afloramientos de la zona media y distal.

**Tabla VII.3**

Parámetros estadísticos sedimentológicos de las muestras que conforman la zona proximal en la Barranca de La Arena. La distancia es calculada en línea recta desde el cráter.

Unidad	Distancia	$M_d$	$M_z$	$\sigma_I$	$\sigma_G$	$Sk_I$	$Sk_G$	$K_G$
PF07-02(A)	3.14 km	-1.05	-1.77	4.36	-4.73	-0.23	0.22	0.83
PF07-02(B)	3.14 km	-1.94	-2.11	4.13	-4.35	-0.09	0.05	0.88
PF07/03 (A)	3.47 km	-3.12	-3.08	3.93	-4.25	0.03	-0.01	0.78
PF07/03 (B)	3.47 km	-2.44	-2.12	3.35	-3.76	0.11	-0.12	0.65







Zona Media

En la zona media los afloramientos *PF07/05* y *PF07/20* contienen 5 unidades de flujo en total. A diferencia de la zona anterior, es posible observar un claro comportamiento bimodal, con la formación de dos modas bien definidas: la primera en la fracción de los gruesos ( $-4\phi$  para *PF07-05* y entre  $-8\phi$  a  $-7\phi$  para *PF07-20*), mientras que la segunda en la fracción de finos (entre  $2\phi$ - $3\phi$ ). En la *Figura VII.8-zona media-* es posible observar las columnas estratigráficas, con sus histogramas de distribución granulométrica adjuntos, señalando claramente que las muestras fueron tomadas directamente de depósitos de flujos de bloques y ceniza.

**Tabla VII.4**

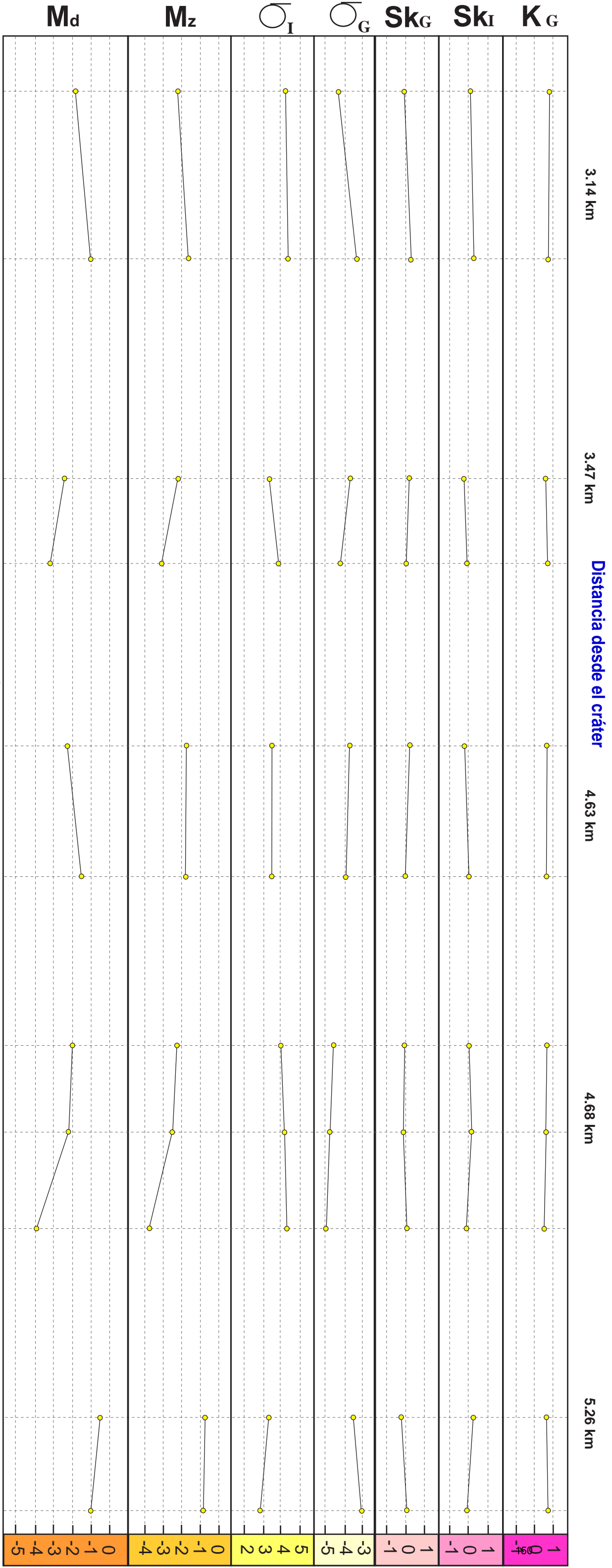
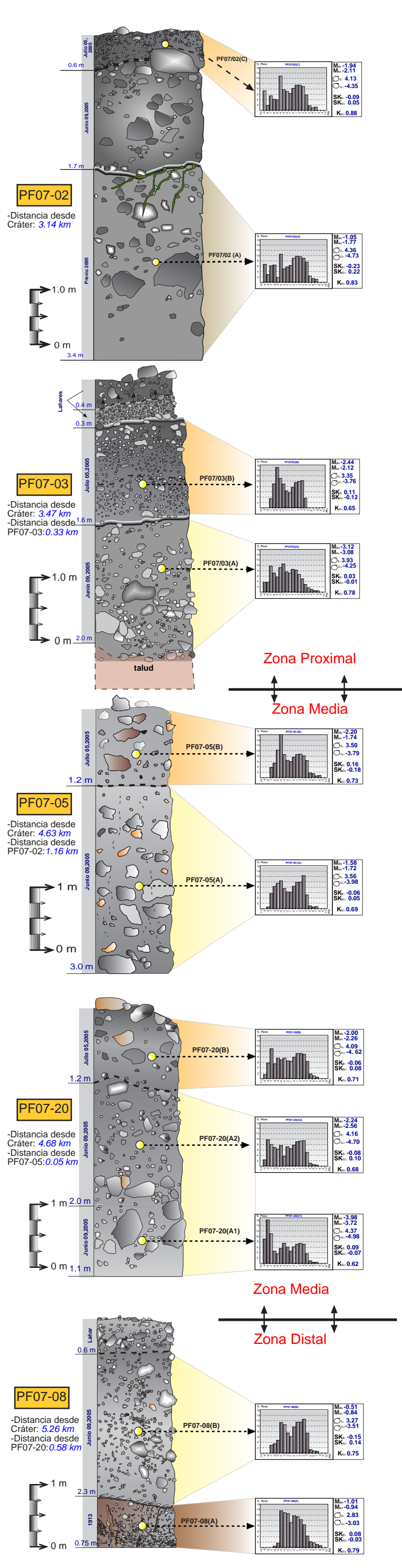
Parámetros estadísticos sedimentológicos de las muestras que conforman la zona media en la Barranca de La Arena. La distancia es calculada en línea recta desde el cráter.

Unidad	Distancia	Md	Mz	$\sigma_1$	$\sigma_G$	Sk <sub>I</sub>	Sk <sub>G</sub>	K <sub>G</sub>
PF07/05 (A)	5.12 km	-1.58	-1.72	3.56	-3.98	-0.06	0.05	0.69
PF07/05 (B)	5.12 km	-2.20	-1.74	3.50	-3.79	0.16	-0.18	0.73
PF07/20 (A)	5.16 km	-3.98	-3.72	4.37	-4.98	0.09	-0.07	0.62
PF07/20 (B)	5.16 km	-2.24	-2.56	4.16	-4.70	-0.08	0.10	0.68
PF07/20 (C)	5.16 km	-2.00	-2.26	4.09	-4.62	-0.06	0.08	0.71

En la Tabla anterior (*Tabla VII.4*) se presentan los principales parámetros estadísticos deducidos de las muestras tomadas. La mediana (Md) varía de  $-1.58\phi$  a  $-3.98\phi$ , sin embargo, en la *Figura VII.9* se observa que mientras en *PF07-05* la tendencia es hacia el aumento de tamaño de partículas conforme se asciende estratigráficamente dentro de la secuencia, en *PF07-20* se presenta un descenso en el tamaño de grano modal. Por otro lado, la desviación estándar (selección) varía entre 3.56 y 4.37, lo cual la define como un depósito de clasificación pobre a muy pobre. La asimetría (Sk) es un parámetro a destacar en estas unidades, ya que prácticamente todas son del tipo simétrica (entre -0.08 y 0.09), a excepción de *PF07-05*, ligeramente asimétrica positiva. La curtosis tiene un rango de entre 0.62 a 0.73, lo que la encasilla como unidades platicúrticas a muy platicúrticas.

Adicionalmente, se observa que la unidad *PF07-05* varía de simétrica a asimétrica positiva (afinidad hacia partículas gruesas) a medida que se asciende estratigráficamente en la secuencia. Este efecto no es visible para *PF07-20*, siendo de hecho más asimétrica conforme se avanza verticalmente en la secuencia. En la muestra *PF07-20(A)* se observa una rara distribución polimodal no correlacionable con los depósitos anteriores o posteriores de esta barranca.

**Figura VII.9:** variaciones verticales de los principales parámetros estadísticos sedimentológicos en la Barranca de La Arena. Las muestras (puntos amarillos) fueron únicamente de depósitos de flujos de bloques y ceniza (FBC). Md= mediana; Mz= media;  $\sigma_1$ = selección; Sk<sub>I</sub>= asimetría; K<sub>G</sub>= kurtosis





### Zona Distal

Como se muestra en la *Tabla VII.5* existen 3 unidades de flujo para esta zona, sin embargo, solamente dos de ellas son correlacionables, debido a que *PF07/08 (1913)* pertenece al flujo de pómez del evento pliniano de 1913. Específicamente, en relación a los FBC del 2005, su mediana ( $M_d$ ) varía de  $-0.51$  a  $-0.85\phi$ , la cual es levemente menor a la reportada en las dos zonas previas. Es pobremente seleccionada (de  $3.09$  a  $3.27$ ), con una bien definida asimetría negativa ( $-0.12$  a  $-0.15$ ). En la *Figura VII.8 –zona distal–* se observan las dos columnas con las unidades de flujo arriba descritos.

**Tabla VII.5**

Parámetros estadísticos sedimentológicos de las muestras que conforman la zona distal en la Barranca de La Arena. La distancia es calculada en línea recta desde el cráter.

Unidad	Distancia	$M_d$	$M_z$	$\sigma_I$	$\sigma_G$	$Sk_I$	$Sk_G$	$K_G$
PF07/07 ( A)	5.60 km	-0.85	-1.23	3.09	-3.30	-0.12	0.17	0.80
PF07/08 (A)	5.77 km	-1.01	-0.94	2.83	-3.03	0.08	-0.03	0.79
PF07/ 08 (B)	5.77 km	-0.51	-0.84	3.27	-3.51	-0.15	0.14	0.75

### Observaciones generales

A diferencia de la Barranca de Montegrande, el control topográfico predominante en esta barranca no está relacionado a cambios bruscos de pendiente , sino a las características de confinamiento de la barranca misma. Los afloramientos *PF07-02* y *PF07-03* se depositaron en una región de alto confinamiento (poca anchura, profundidad mayor), mientras que los depósitos de la zona media y distal se emplazaron hacia una zona de gran amplitud topográfica, de características similares a un gran abanico aluvial, en donde los flujos descienden significativamente en espesor, pero ganan ancho.

La relación de los parámetros estadísticos descritos relacionados a los principales eventos productores de FBC en la Barranca La Arena (09 de Junio y 05 de Julio del 2005) se muestran en las *Figuras VII.10a* y *VII.10b*, respectivamente.

A detalle, en el flujo del 09 de Junio del 2005, se observa una cierta tendencia de la mediana ( $M_d$ ) hacia partículas más finas, tendencia que solamente se vé interrumpida en el afloramiento *PF07-20 (Figura VII.10a)*. Este depósito presenta repetidamente en los siguientes parámetros estadísticos comportamiento diferencial a la tendencia marcada por el resto de las muestras, posiblemente por ser uno de los primeros puntos localizados después del confinamiento de la barranca. Dicha tendencia hacia un mayor predominio de partículas finas en dirección del flujo posiblemente se deba a que los bloques de mayor tamaño quedan muy levemente seleccionados en las zonas proximales de la Barranca La Arena. La selección es un parámetro de pocas variaciones a lo largo

# VOLCÁN DE COLIMA

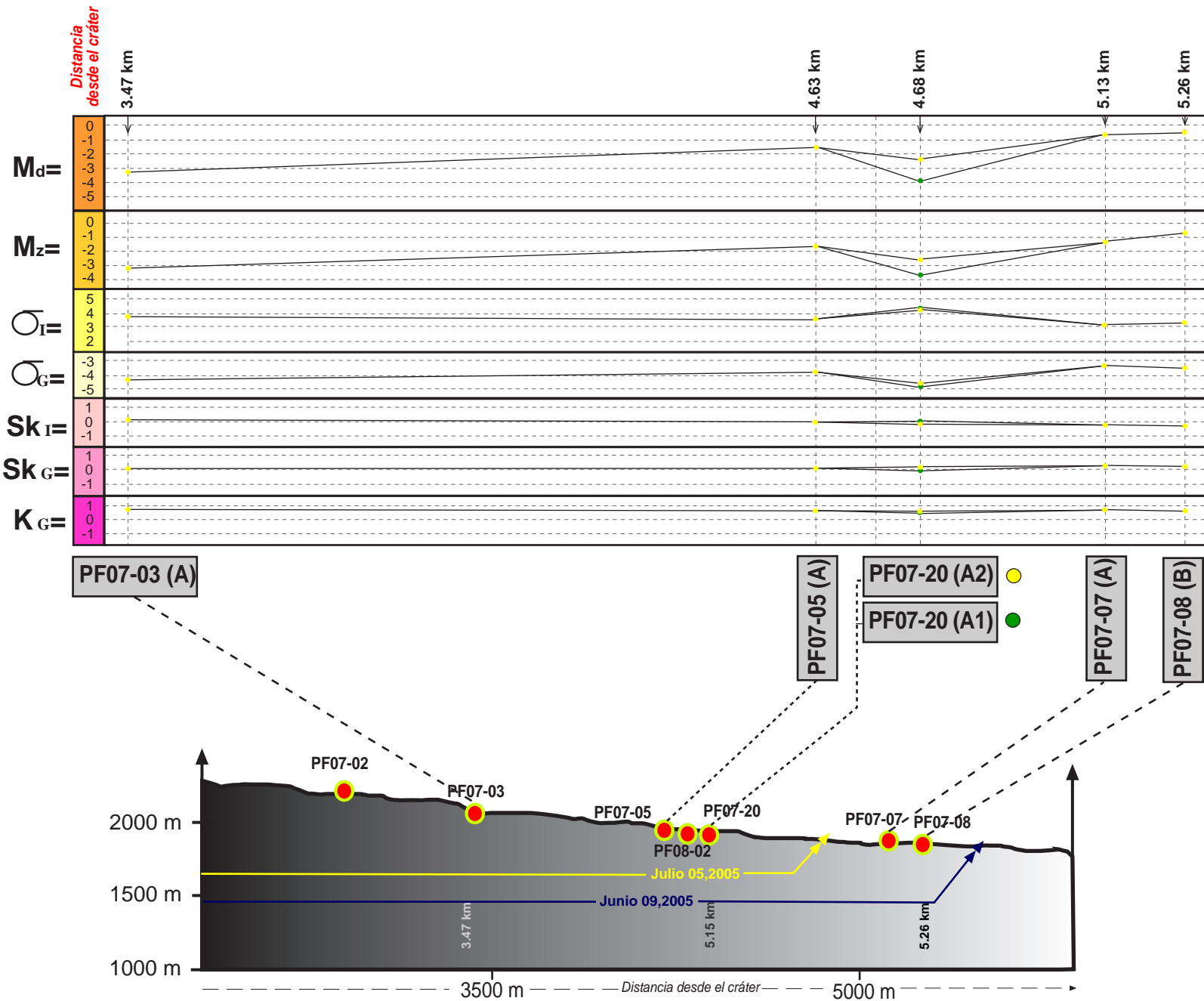
## parámetros estadísticos- Comparación

Depósitos de Flujos de  
Bloques y Ceniza  
**Barranca La Arena**

**09 de Junio, 2005**

**Figura VII.10a**

Comparativa de los principales parámetros sedimentológicos para el evento del 09 de Junio del 2005 en la Barranca de La Arena (flanco sureste del Volcán de Colima). Algunas unidades de flujo pueden estar compuestas de dos o más horizontes de flujo.

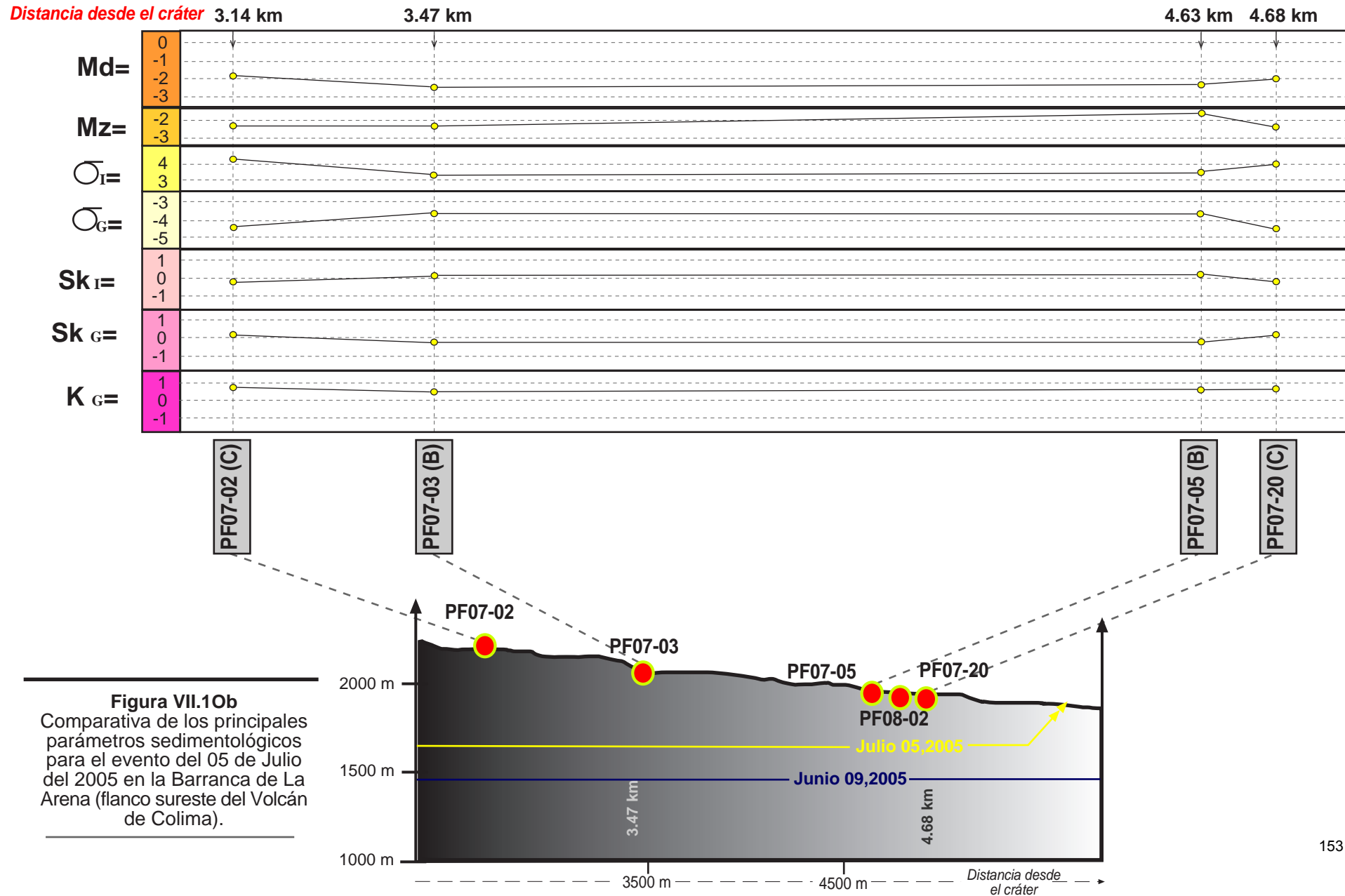


# VOLCÁN DE COLIMA

## parámetros estadísticos- Comparación

Depósitos de Flujos de  
Bloques y Ceniza  
Barranca La Arena

05 de Julio, 2005

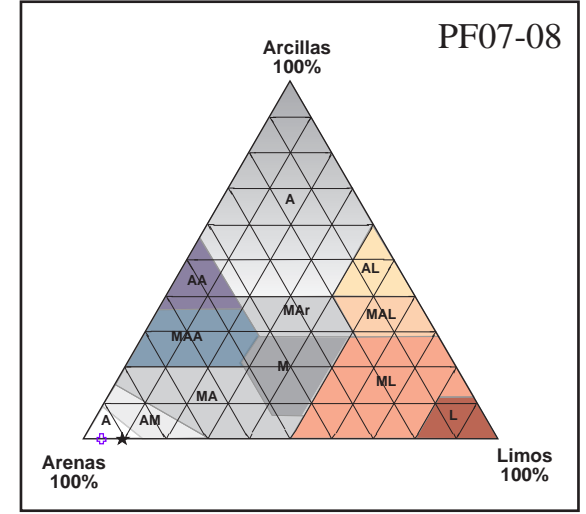
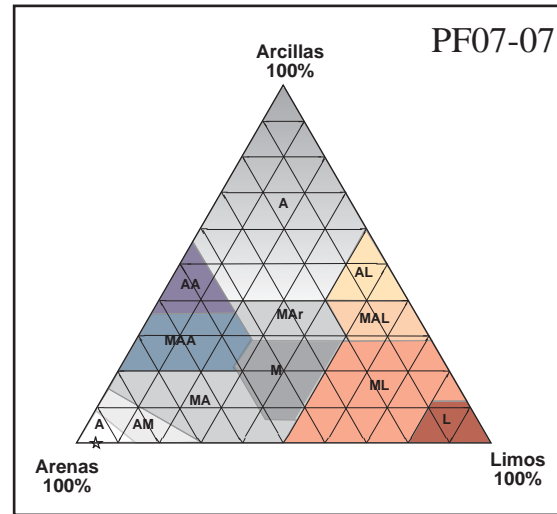
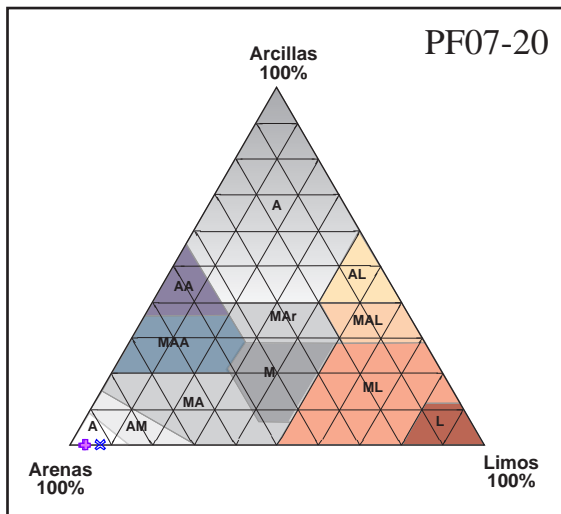
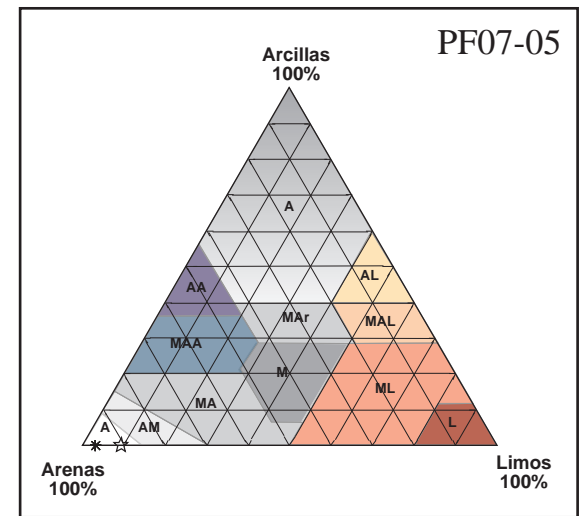
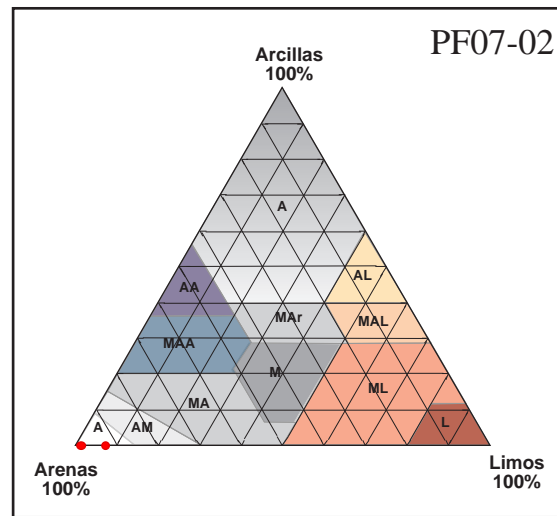
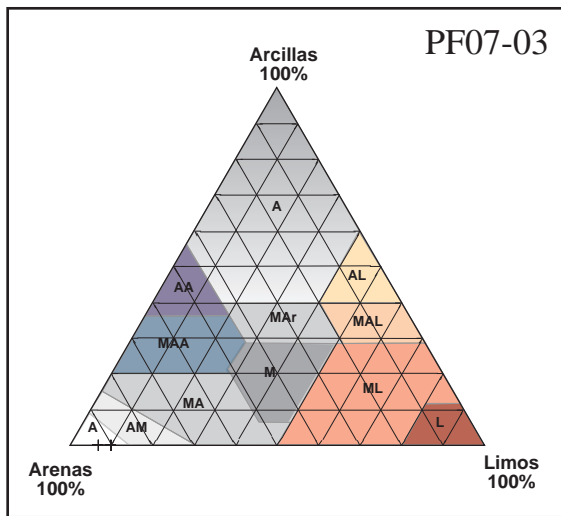




de todo el flujo, siendo pobremente clasificado en todas las muestras estudiadas y muy pobremente clasificado en la misma *PF07-20*. La asimetría ( $Sk_i$ ) es un punto interesantes de comparación, ya que varía de predominantemente simétrica en la zona proximal y media, para posteriormente ser negativa en las zonas distales. La curtosis permanece regularmente estable en todos los afloramientos estudiados.

Posteriormente, para el flujo del 05 de Julio, los parametros estadísticos no muestran una clara tendencia de distribución. Tanto la mediana, media, desviación estándar marcan presentan cambios constantes en dirección del flujo.

Al igual que para la Barranca Montegrande, se hizo un pequeño estudio de la fase de matriz (<2 mm), construyendo una serie de diagramas ternarios con los principales afloramientos de la Barranca de La Arena (*Figura VII.11*). De igual modo, en el 100% de los casos analizados, la matriz es marcadamente arenosa (equivalencia granulométrica de ceniza mediana a muy gruesa – ver *Figura VI.2*), con muy bajas concentraciones en limos (ceniza fina), siempre  $\leq 5\%$ . En ninguno de los casos existe presencia considerable de arcillas (equivalente de ceniza muy fina).



# VOLCÁN DE COLIMA

## Diagramas Triangulares

Depósitos de Flujos de Bloques y Ceniza  
Barranca La Arena

**Figura VII.11**

Diagramas ternarios para la nomenclatura de sedimentos (Folk, 1974) donde ubicamos las muestras de los principales afloramientos para la Barranca de La Arena. El recuadro de la derecha explica las abreviaturas de los principales campos que componen los diagramas.

- A - Arena
- AM - Arena Margosa
- MA - Marga Arenosa
- MAA - Marga Arcillosa Arenosa
- AA - Arcilla Arenosa
- MAr - Marga Arcillosa
- M - Marga
- A - Arcilla
- AL - Arcilla Limosa
- MAL - Marga Arcillosa Limosa
- ML - Marga Limosa
- L - Limos





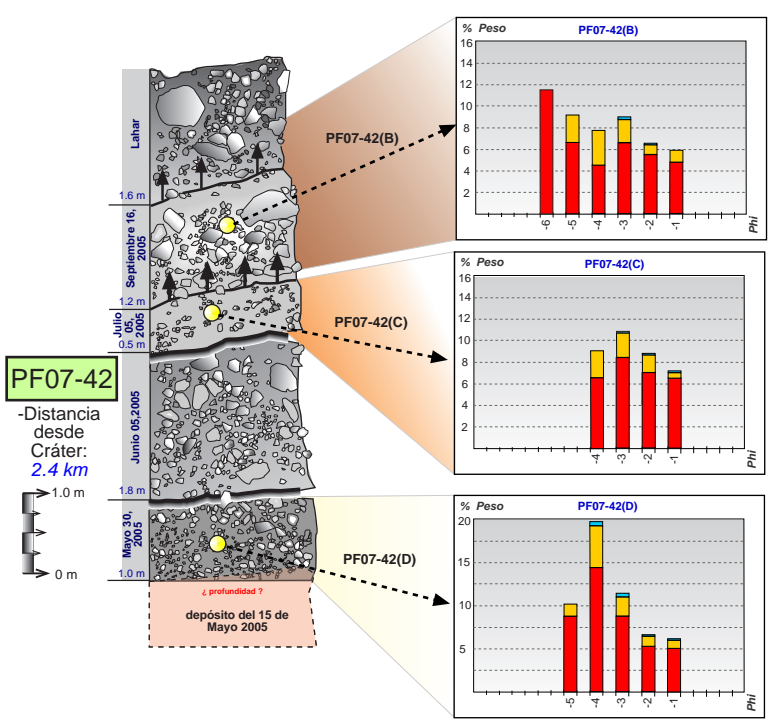
### VII.3 / Análisis de Componentes

La determinación de los diferentes componentes que componen los depósitos de flujos piroclásticos del 2005 inició directamente durante el trabajo de campo. Se hizo una separación inicial en dos variedades principales de componentes: a) aquellos de matriz vítrea y fractura prismática con importante contenido de microlitos y fenocristales b) líticos con marcada alteración a nivel de la matriz. Más adelante, durante el trabajo de laboratorio desarrollado (*Capítulo IV, Sección 3.2*) se pudieron identificar 3 diferentes componentes de variaciones sutiles entre sí. Las características principales de ellos son las siguientes:

- *Componente 1:* presentan comunmente textura de “corteza de pan”, con un marcada fracturamiento de tipo prismático a variaciones de fracturamiento irregular pero sin desarrollado de fracturamiento prismático. Color gris oscuro a medio hasta componentes de tonalidades verdosas, producto de glomeroporfidos de piroxeno. La matriz es altamente vítrea, de baja a nula vesicularidad predominante, pero existen algunas de vesicularidad moderada. Presenta textura porfídica con grandes fenocristales de plagioclasa y menor contenido de ferromagnesianos. Son comunes la presencia de xenolitos posiblemente graníticos subredondeados a redondeados. Estas muestras han sido clasificadas como andesita porfídica-glomeroporfídica vítrea, descrita como “juveniles”. Es importante mencionar que el término “juvenil” ha sido empleado en la presencia tesis para referirse a los componentes generados por pequeños domos entre las principales fases explosivas del 2005 o producto de las explosiones mismas. Es decir, cualquier lava –de domos o fragmentada por la explosión- generada durante el 2005.

- *Componente 2:* color gris medio a claro a variaciones color naranja-rojizo, de superficie intemperizada color gris rosada. Marcada textura porfídica con mineralogía de plagioclasas de 1-3 mm sin orientación preferencial, piroxenos aislados o en asociaciones glomeroporfidicas. Sin textura de flujo marcada. Importante presencia de óxidos y ferromagnesianos, accesoriamente minerales de alteración. Presenta variaciones considerables de vesicularidad y microvesicularidad Este tipo de muestras son clasificadas como andesita cristalina de moderado a fuerte grado de alteración-oxidación. Este componente se relaciona a los remanentes de domos del 2004 o posibles domos previos. Asimismo, podrían tratarse de fragmentos arrancados de las paredes del conducto de los eventos explosivos del 2005.

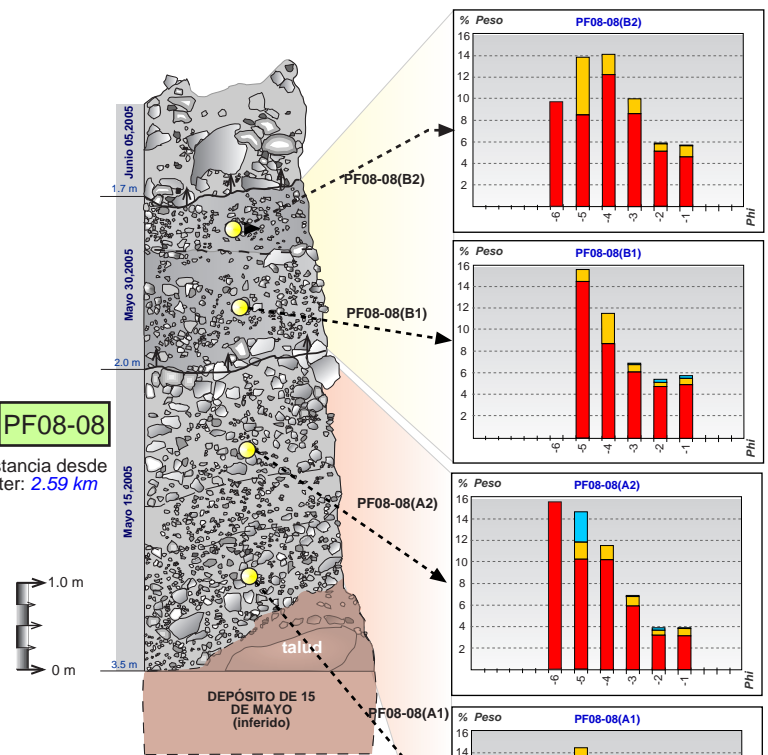
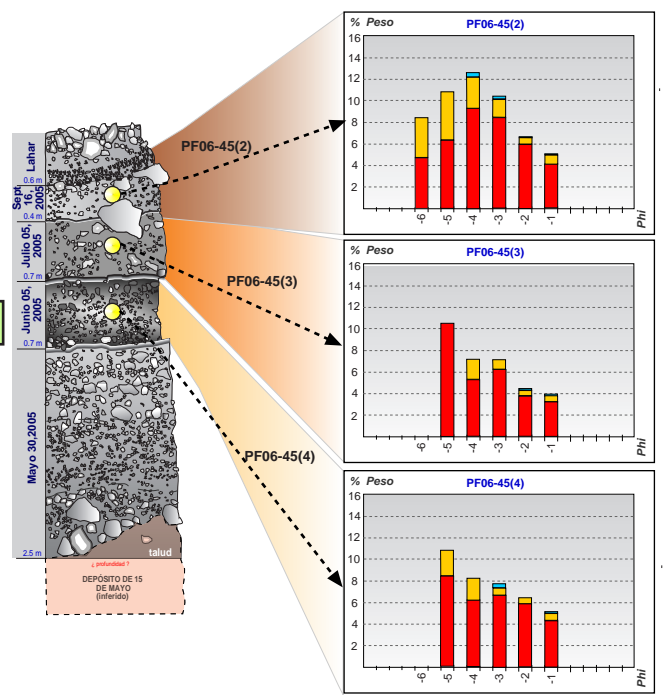
- *Componente 3:* roca de color café claro a blanquesina, con zonas de fenocristales de anfíboles, plagioclasa y piroxeno. De muy baja densidad y alto redondeamiento, con un muy alto grado de vesicularidad. Este tipo de muestras ha sido clasificado como fragmentos accidentales de pómez



**PF06-45**  
-Distancia desde Cráter: 2.44 km

1.0 m

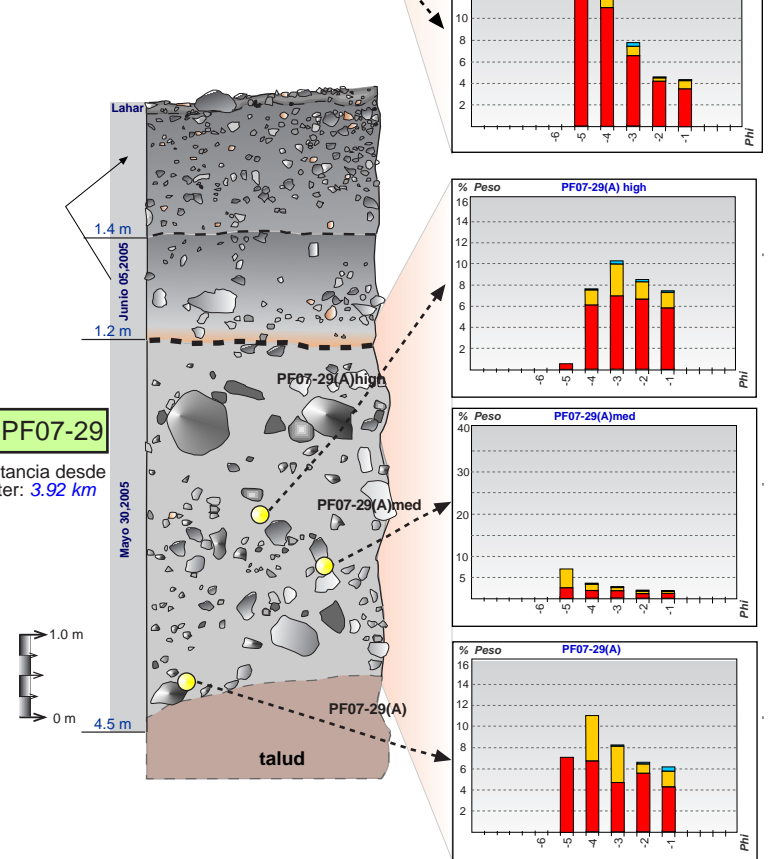
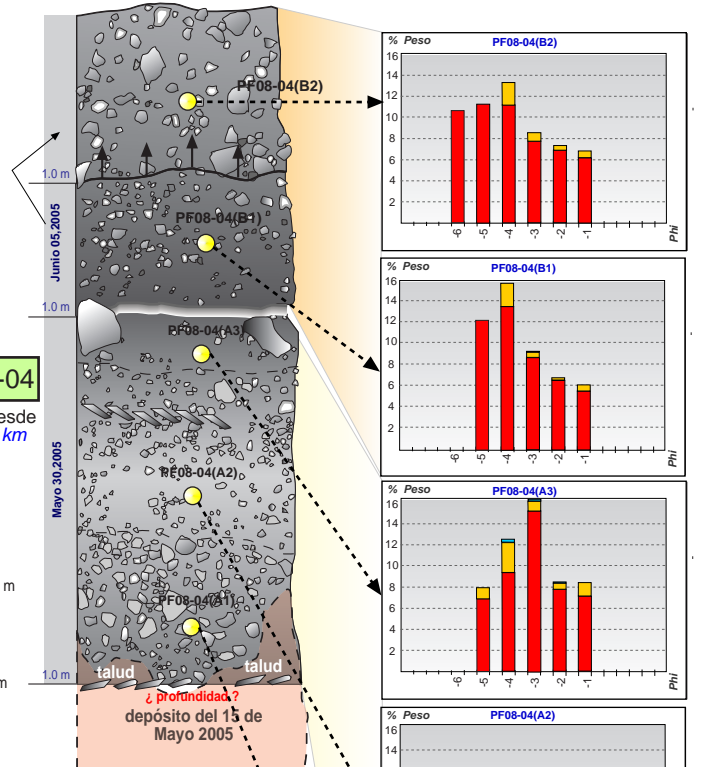
0 m



**PF08-04**  
-Distancia desde Cráter: 3.42 km

1.0 m

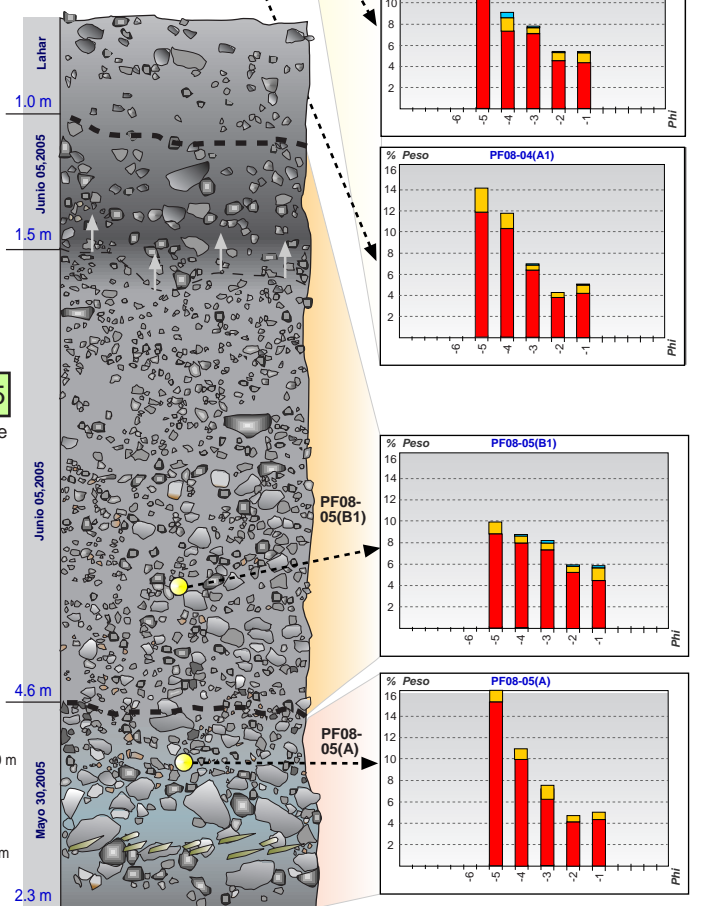
0 m



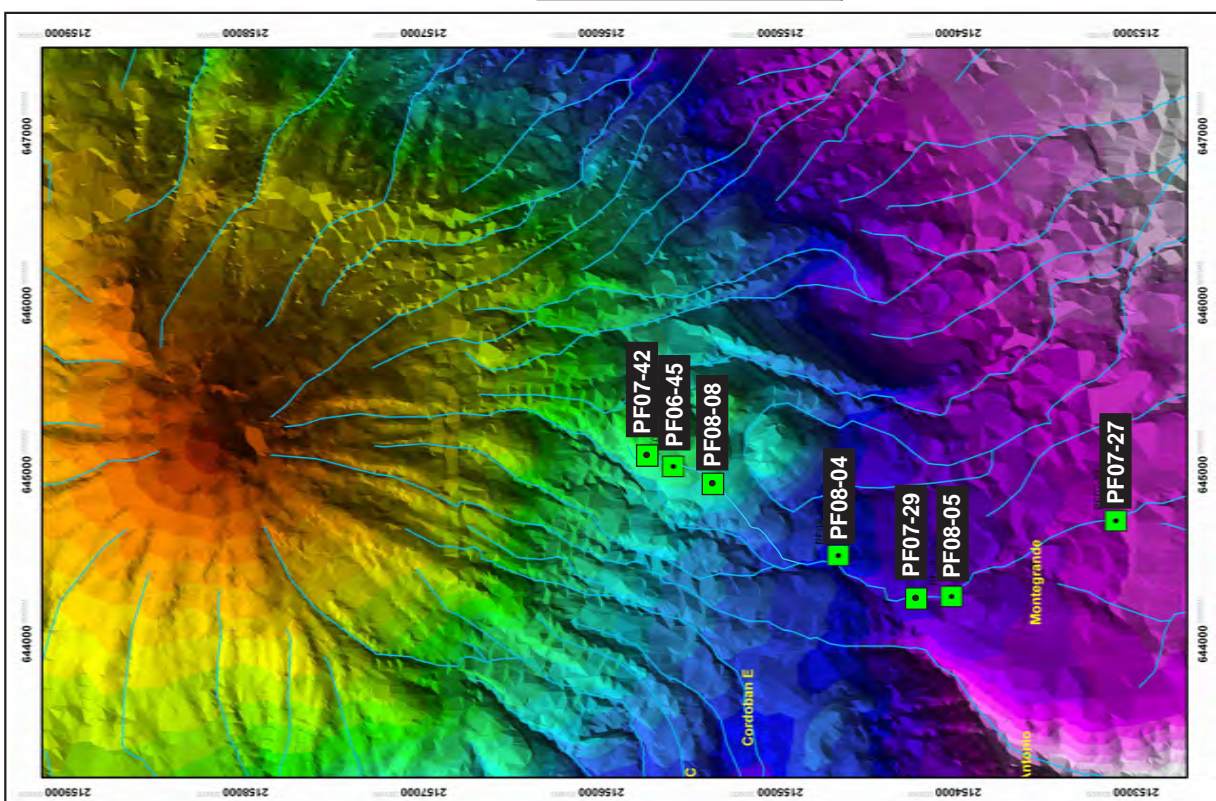
**PF08-05**  
-Distancia desde Cráter: 4.09 km

1.0 m

0 m

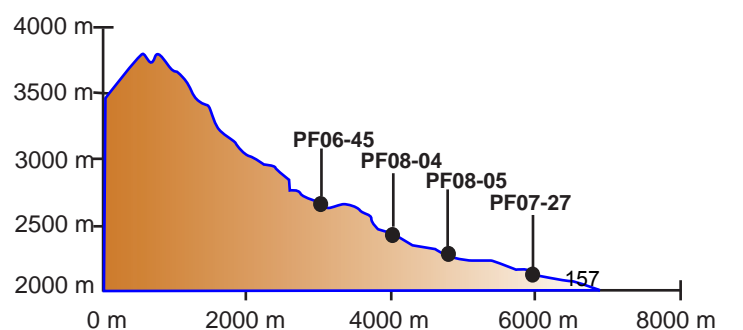
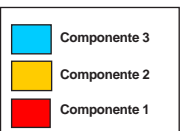


N



**Figura VII.12**

Histogramas de distribución granulométrica (entre -6 phi a -1 phi) en los que se muestra la concentración de componentes para cada uno de los tamaños de grano. Todas las unidades de flujo dentro de la Barranca de Montegrando presentan los 3 componentes detallados.



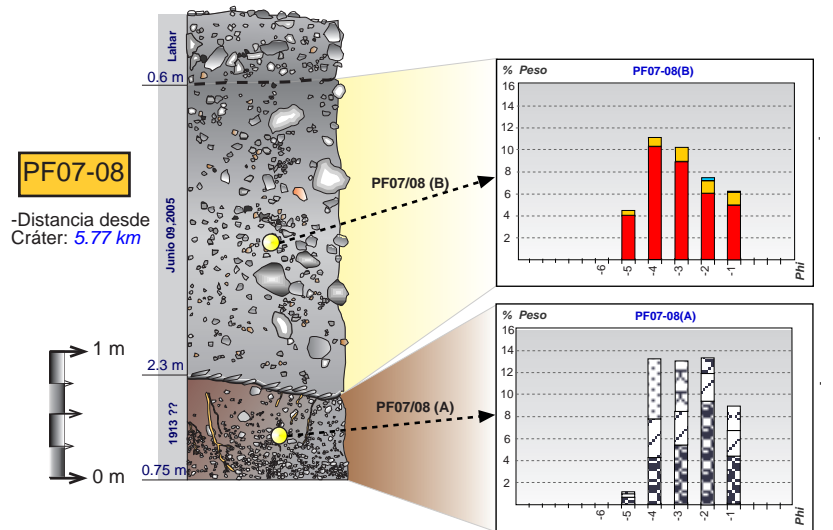
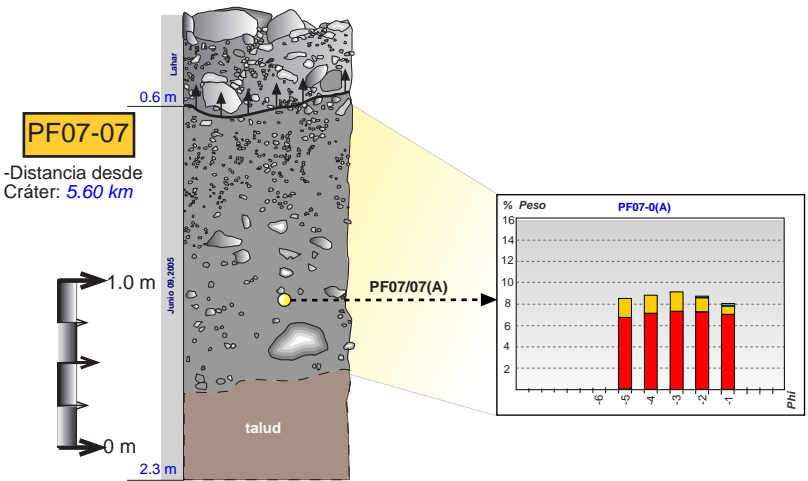
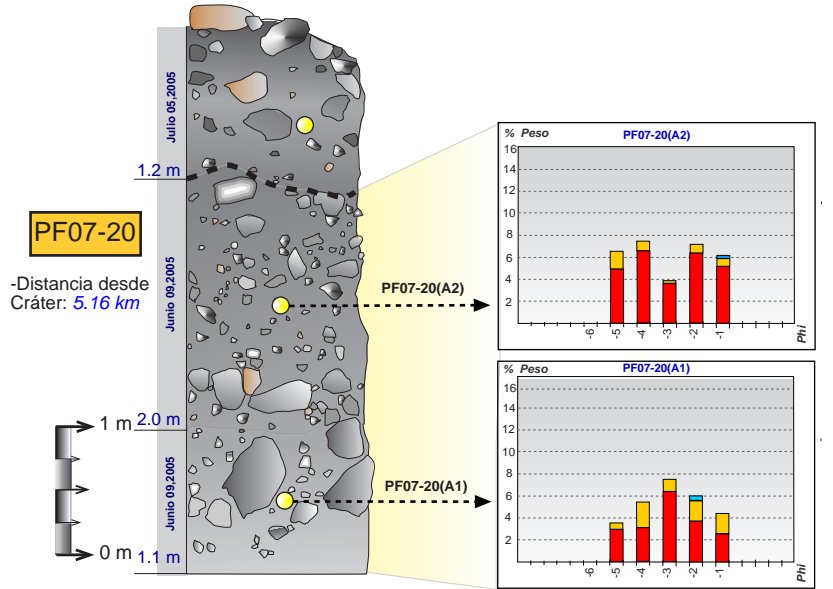
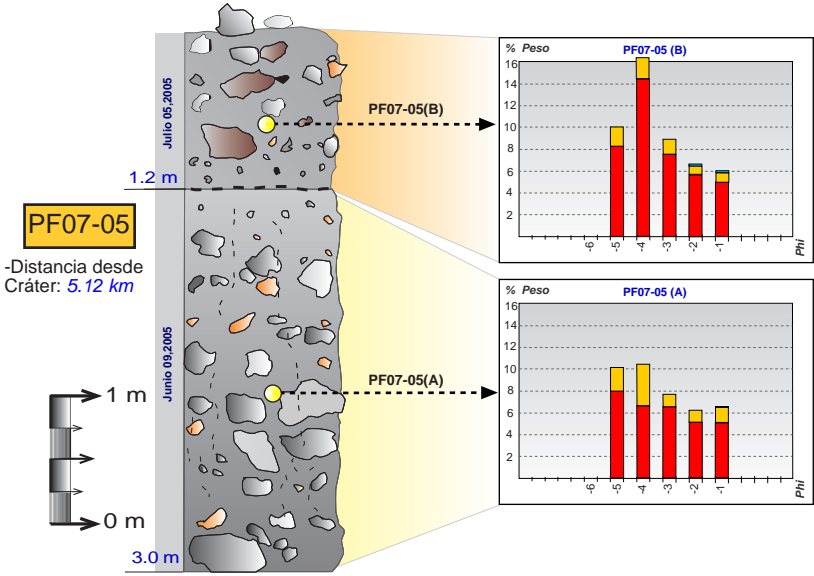
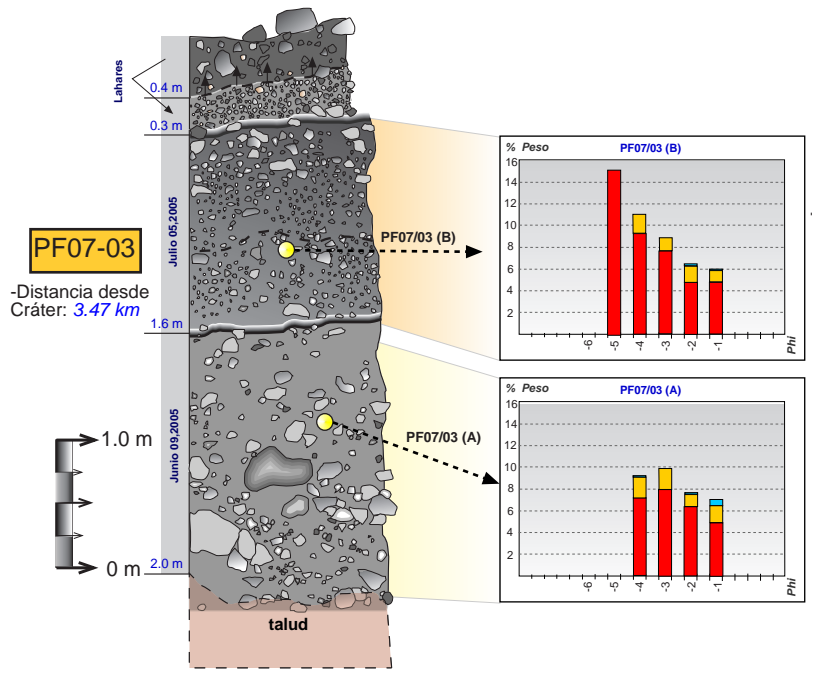
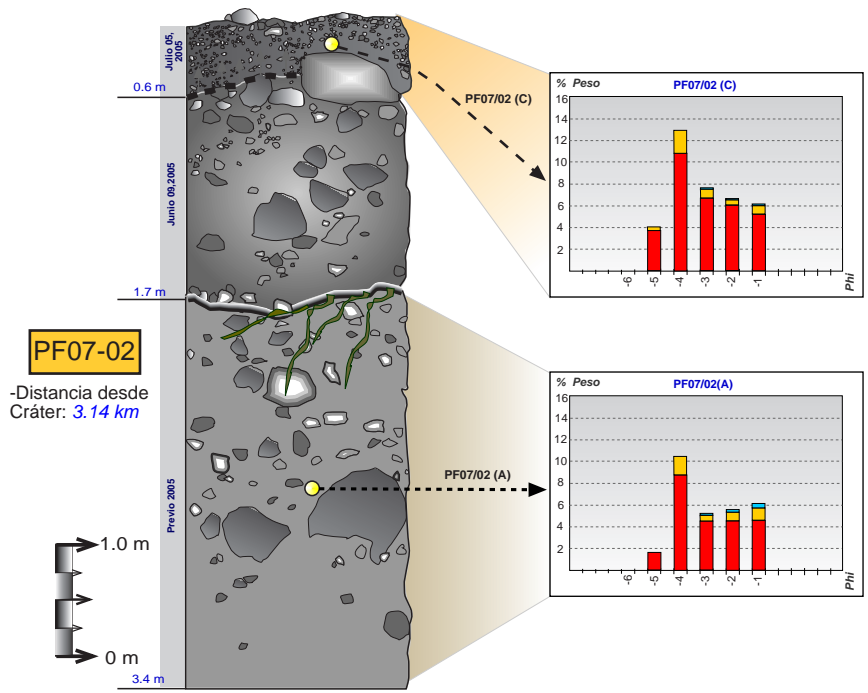


de la última actividad pliniana (1913). Esta componente ha sido incorporada durante el transporte de los flujos debido a su baja densidad y por ende, a su fácil incorporación desde las laderas de los barrancos estudiados.

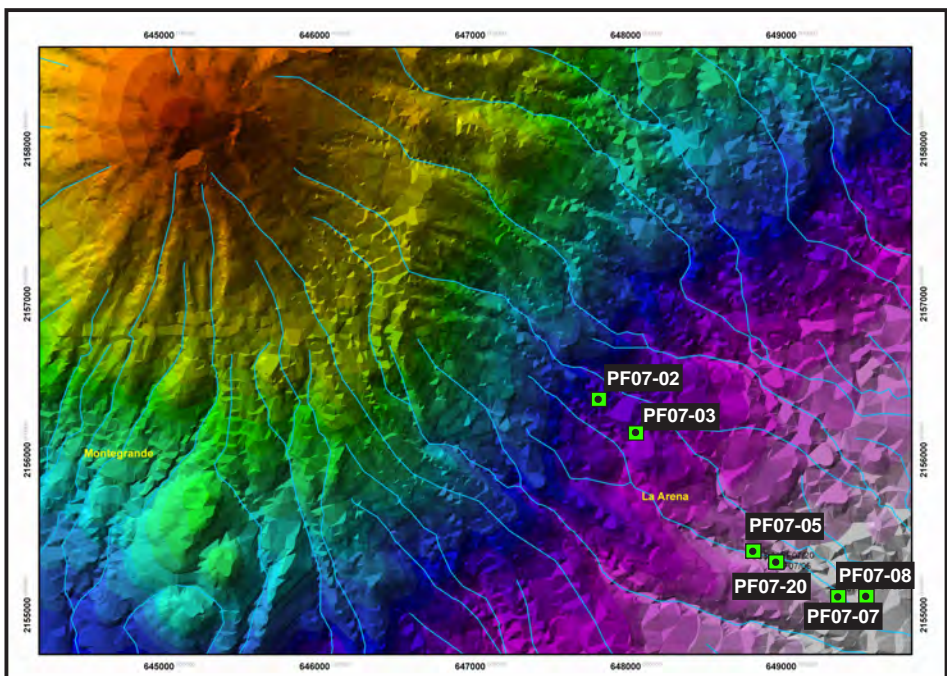
Del conteo de componentes realizado tanto para las muestras de la Barranca de Montegrande como La Arena, se construyeron los histogramas de distribución granulométrica con concentración de componentes para el rango localizado entre  $-6$  a  $-1$  Phi (*Figura VII.12* y *Figura VII.13*). Los porcentajes de cada uno de los componentes se muestran en las *Tablas AP.13* (*sección Apéndice 5*) para Barranca Montegrande y *AP.14* (*sección Apéndice 5*) para la de La Arena.

Particularmente, para la Barranca de Montegrande (*Figura VII.12*) el componente más predominante en proporción es el de juveniles (componente 1). En algunos casos afloramientos como *PF06-45* y *PF07-29* se observa mayor frecuencia del componente 2 (alterados), mientras que *PF08-08* es, en proporción, el de mayor contenido de líticos accidentales (pómez de 1913), posiblemente producto de incorporación desde fuentes cercanas hacia el sitio de depósito de FBC, durante el transporte o posterior a este.

En la Barranca de La Arena (*Figura VII.13*) se observa que el componente más abundante es el 1 (posibles juveniles). Los fragmentos alterados (componente 2) presentan bajas concentraciones en la mayoría de los afloramientos, siendo más frecuentes entre  $-3\phi$  a  $-1\phi$ . Por otro lado, el afloramiento *PF07-08(A)* es una unidad de flujo de pómez correspondiente posiblemente al evento de 1913. Los componentes involucrados en este no presentan ninguna relación con los demás afloramientos de esta barranca.

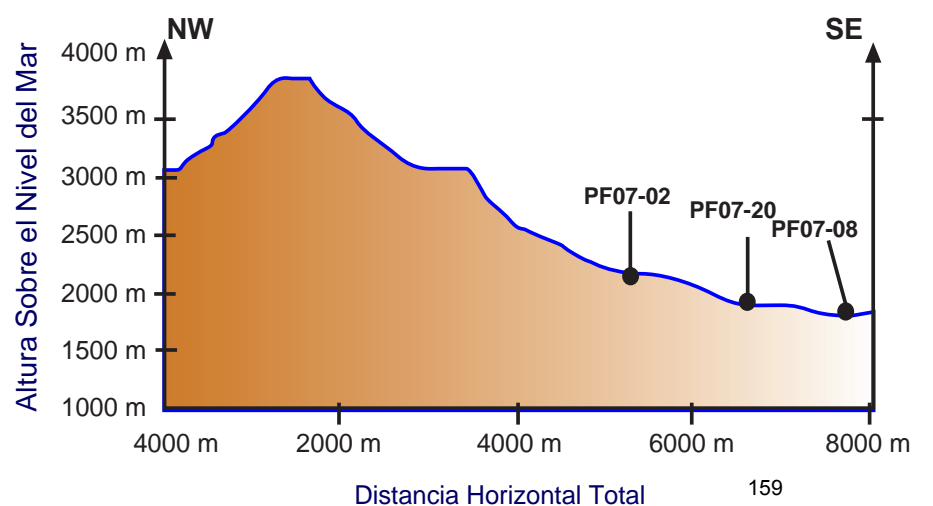


Los componentes de esta muestra no son los mismos de las muestras previamente descritas. Este es el FP de la fase pliniana de 1913



**Figura VII.13**

Histogramas de distribución granulométrica (entre -6 phi a -1 phi) en los que se muestra la concentración de componentes para cada uno de los tamaños de grano. La simbología usada se detalla en el recuadro de la derecha. Excepto la *unidad de flujo PF07/08(A)* -ver explicación-, todas las unidades de flujo dentro de la Barranca de La Arena presentan los tres componentes detallados.





## CAPÍTULO VIII

# PETROGRAFÍA Y GEOQUÍMICA

### VIII.1 / Análisis Petrográfico

El análisis petrográfico fue realizado en un total de 28 muestras, las cuales fueron separadas en dos grupos principales: 1) 23 muestras colectadas directamente de los depósitos de flujos piroclásticos generados durante el 2005 (ver *Tabla AP.15-sección Apéndice 6*) y 2) 5 muestras restantes seleccionadas de 3 diferentes domos sumitales (2002, 2004 y 2007) –*Tabla AP.15, Apéndice 6-*. Para su descripción y comparativa se tomaron en cuenta la mineralogía, textura y clasificación de las muestras estudiadas. No obstante, las diferencias más significativas entre las muestras se ubican en el grado de cristalinidad y vesicularidad.

Las características petrográficas descritas a continuación presentan amplia similitud con las reportadas en los trabajos previos descritos ([Arias-Cabrera, 1987](#); [Mora et al., 2002](#); [Luhr, 2002](#); [Savov et al., 2008](#)). En general, continen una marcada textura porfídica (*Figura VIII.1 a*), con mineralogía predominante, en orden de abundancia, de plagioclasa, piroxeno y óxidos de hierro-titanio. En menor proporción se observan ocasionales anfíboles con estructuras de desequilibrio y bordes de reacción. Esta característica también es visible para el piroxeno y las otras fases minerales, principalmente a nivel de fenocristales. Presenta matriz vítrea con microlitos de la misma asociación mineral antes descrita, con excepción de la hornblenda.

Las muestras son principalmente hipocristalinas, presentan un porcentaje de cristalinidad variable entre 25 y 50% del total de volumen, producto de los fenocristales inmersos dentro de una matriz fuertemente vítrea con microlitos de las fases minerales previamente mencionadas. Según [Mora et al. \(2002\)](#), todas las fases minerales (fenocristales y microlitos) tienen texturas de desequilibrio coexistiendo con microcristales en equilibrio. El mismo autor define un cristal con textura en desequilibrio como aquel de forma anhedral y subhedral con bordes reaccionados o reabsorbidos y zoneamiento. En algunos casos, estos cristales están presentes como figuras fantasmales dentro de la matriz. A continuación, en un par de tablas sintéticas, se describirá a detalle las características de los dos grupos ya mencionados con base en las fases minerales presentes en cada uno de ellos. Al mismo tiempo, se proponen algunas de las posibles explicaciones para las variedades y texturas en las fases minerales presentes.



### VIII.1.1 Características Minerales

#### Plagioclasa

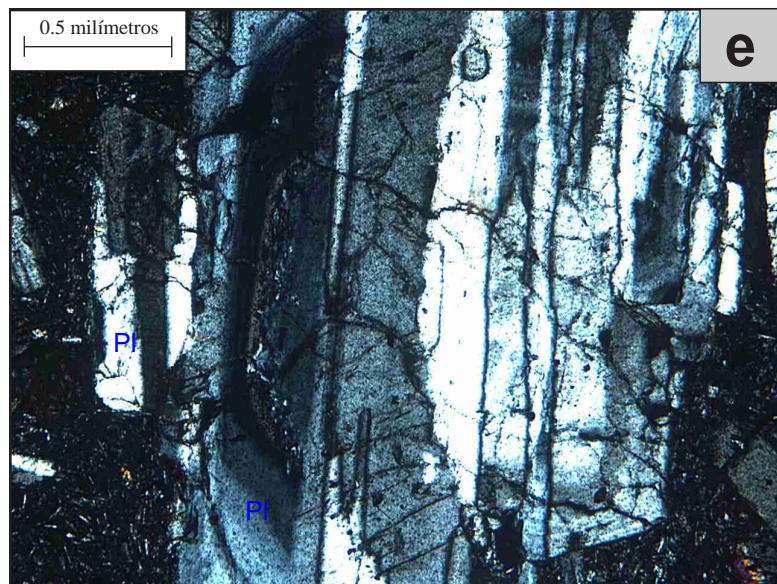
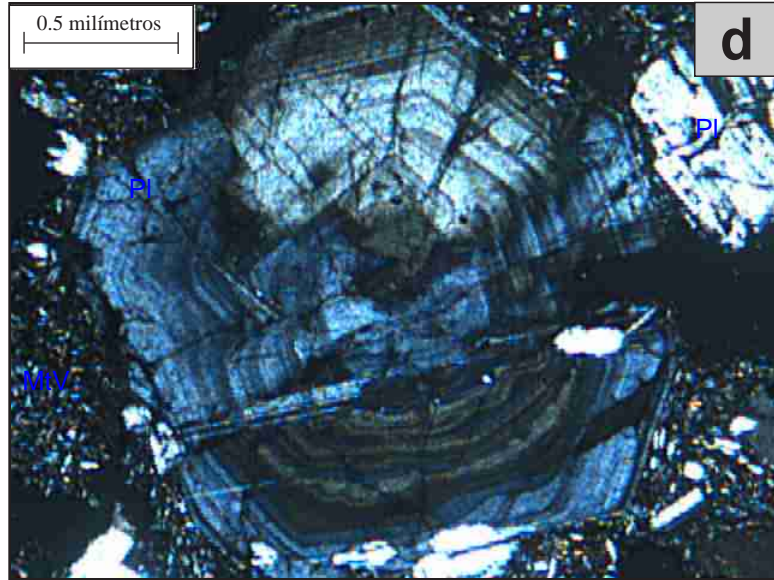
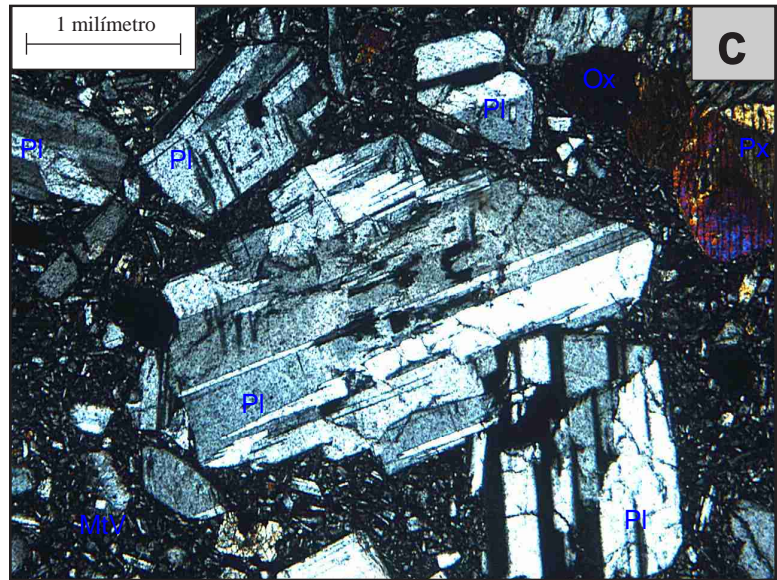
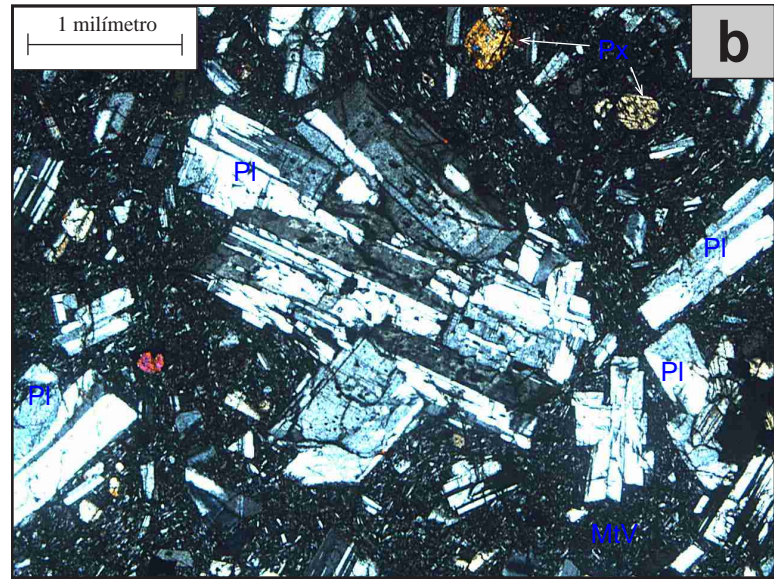
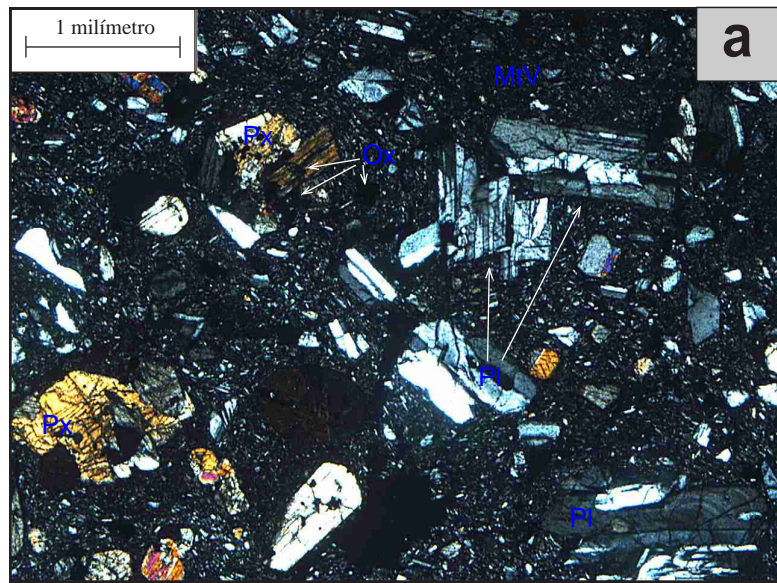
La plagioclasa es la fase mineral más abundante en todas las muestras, tanto como fenocristal, como microlitos y microfenocristales de la matriz. Su composición porcentual oscila entre 60 y 90% de la porción cristalina en las muestras seleccionadas. Como fenocristales presentan tamaños entre 1 y 3.5 mm en su eje mayor, de formas tabulares alargadas euhedrales, con relación de lados de 2:1 y hasta 4:1 (eje mayor / eje menor). Esta fase mineral de igual manera está presente dentro de la matriz a manera de finos microlitos, presentan formas aciculares-alargadas subhedrales y anhedrales. Dichos microlitos por lo general se distribuyen de forma caótica dentro de la muestra, no obstante, en algunos casos se presenta cierto alineamiento que pudiera evidenciar texturas de flujo (textura pilotaxítica).

La gran mayoría de los fenocristales de plagioclasa muestran estructuras minerales sanas de bordes bien definidos (*Figura VIII.1 c*), con fuerte maclado polisintético y maclado tipo Carlsbad. Existen rasgos de desequilibrio en los minerales con zoneamiento normal e inverso evidente en los diferentes fenocristales euhedrales y subhedrales (*Figura VIII.1 d y e*). Otro rasgo significativo es la amplia presencia de fenocristales con evidente textura de sedaso (*sieve*), con desarrollo común de inclusiones desde el centro hacia la periferia de la estructura mineral (*Figura VIII.1 f*).

Los cristales de plagioclasa tienden a formar aglomerados monocristalinos (asociación plagioclasa-plagioclasa) –*Figura VIII.1 b-*, así como aglomerados policristalinos (plagioclasa-piroxeno-óxidos). En algunas muestras este rasgo es tan significativo que la textura de la muestra se define como porfídica a glomeroporfídica. Por otro lado, en algunas muestras, los microlitos de plagioclasa contenidos en la matriz muestran cierto alieneamiento preferencial, lo cual pudiera interpretarse como una posible textura de flujo (pilotaxítica). Este rasgo suele ser más común en rocas tomadas directamente de los depósitos de flujos piroclásticos, mientras que las muestras recolectadas directamente de los domos son preferentemente porfídicas.

En varias muestras, los fenocristales de plagioclasa muestran un intenso fracturamiento y de un leve a severo rompimiento de la estructura mineral original. No existe una relación directa entre la procedencia de las muestras recolectadas (domos ó depósitos de flujo piroclástico) y el grado de fracturamiento de los fenocristales de plagioclasa.

De acuerdo a los trabajos de [Mora et al. \(2002\)](#) y [Arias-Cabrera \(2003\)](#) realizados con microsonda en lavas de flujos de lava, domos y flujos piroclásticos (similares a las de la presente tesis) encontraron que los microcristales de plagioclasa son de labradorita ( $An_{50-67}$ ), mientras que los



**Figura VIII.1** Algunos rasgos petrográficos importantes:

- a) Marcada textura porfídica con fenocristales de Pl-Px-Ox de Fe y Ti. *LNAP-20X* [Muestra DOMO 2002-001]
  - b) Aglomerado monocristalino de plagioclasa con diferentes orientaciones. *LNAP-20X* [Muestra PF07-20(B) C3]
  - c) Plagioclasa de estructura mineral sana con bordes definidos. Textura porfídica. *LNAP-40X* [Muestra PF07-24(A) C4]
  - d) Plagioclasa con zonación concéntrica evidente. Textura porfídica. *LNAP-40X* [Muestra PF07-20(A) C1A]
  - e) Plagioclasa con zonación concéntrica-oscilatoria. Textura porfídica. *LNAP-40X* [Muestra PF07-20(A) low<sup>60</sup>C3]
  - f) Plagioclasa con textura de sedaso muy bien desarrollada. Textura porfídica. *LNAP-40X* [Muestra PF06-45(4) C3]
- Pl= plagioclasa; Px= piroxeno; Ox= óxido; MtV= matriz vítrea



fenocristales varían de andesina a labradorita ( $An_{45-70}$ ), con algunos cristales cuyos bordes caen en el campo de la bitownita (zoneamiento inverso).

### Piroxeno

Es la fase mineral más abundante después de la plagioclasa. De formas tabulares ortorrómbicas a variedades ortogonales, subhedrales y anhedrales. De igual manera, se presenta tanto como fenocristales (de tamaños entre 0.5 a 2.5 mm) y como microlitos dentro de la matriz (menores a 0.5 mm). Se distinguió tanto la variedad de ortopiroxeno (extinción paralela) como clinopiroxeno (extinción oblicua) en abundancia dentro de las muestras. La predominancia en cada muestra se detalla en las *Tablas VII.1 y 2*.

Con estructuras normalmente fracturadas, pero de bordes sanos. Los fenocristales de mayor tamaño (> 2 mm) son normalmente subhedrales, tal como se muestra en la *Imagen VIII.2 b*. La otra variedad es como la presente en la muestra PF07-24 (A) C5, donde existen rasgos relictos o rotas evidenciando posibles texturas de desequilibrio-disolución (minerales destruidos hacia el centro y remanentes hacia las orillas - *Figura VIII.2 c*).

Desarrollan bordes de reacción uniformes definidos por anillos de óxidos de Fe-Ti de aproximadamente 0.01 mm de espesor (*Figura VIII.2 a*). Algunos cristales muestran un borde de reacción de color más claro, con un halo de birrefringencia dispar con respecto al resto del mineral.

Es común encontrar los cristales de piroxeno como formas individuales, entrecruzados (*Figura VIII.2 d*) o formando asociaciones glomerulares monomineral (Piroxeno-Piroxeno) o polimineral (Piroxeno-Plagioclasa-Óxidos).

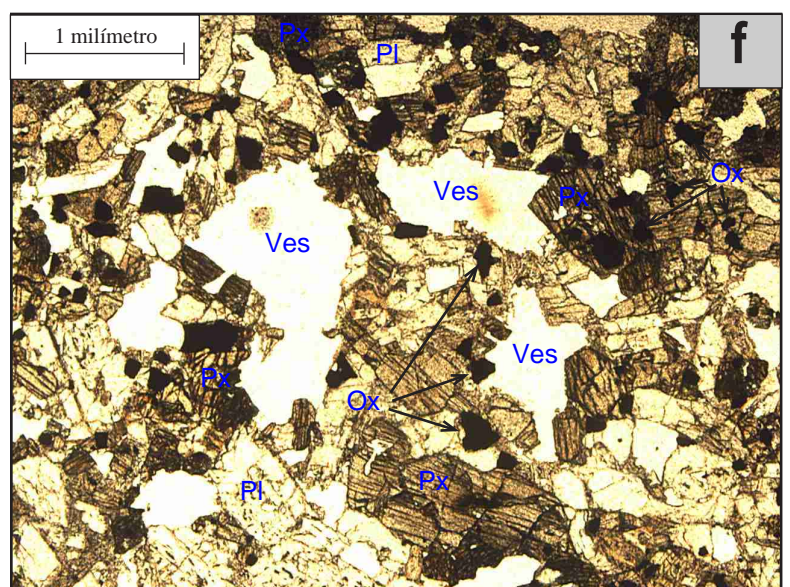
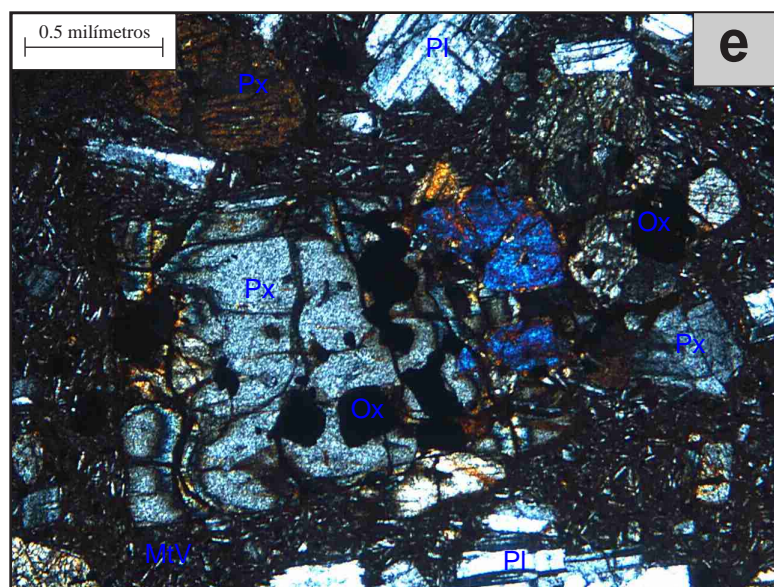
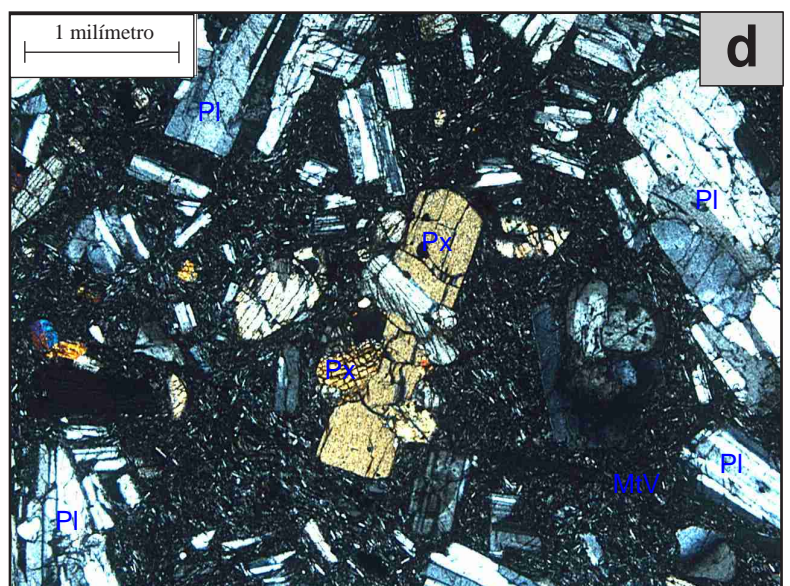
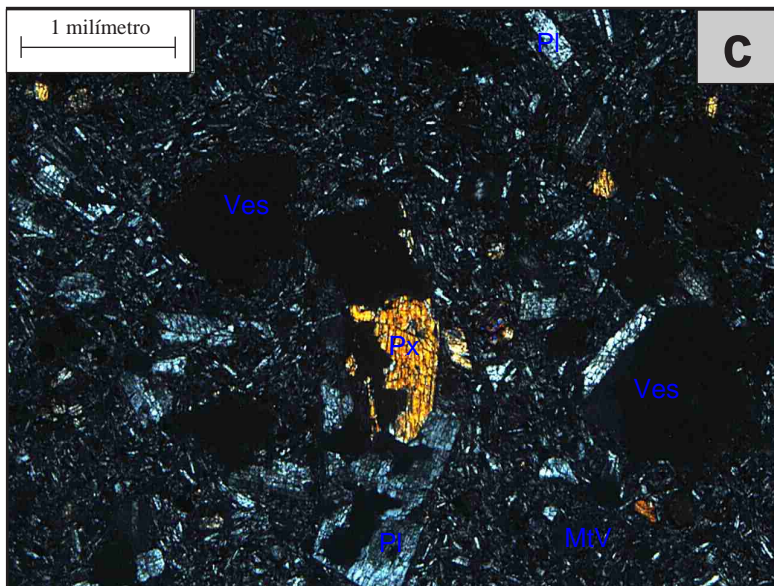
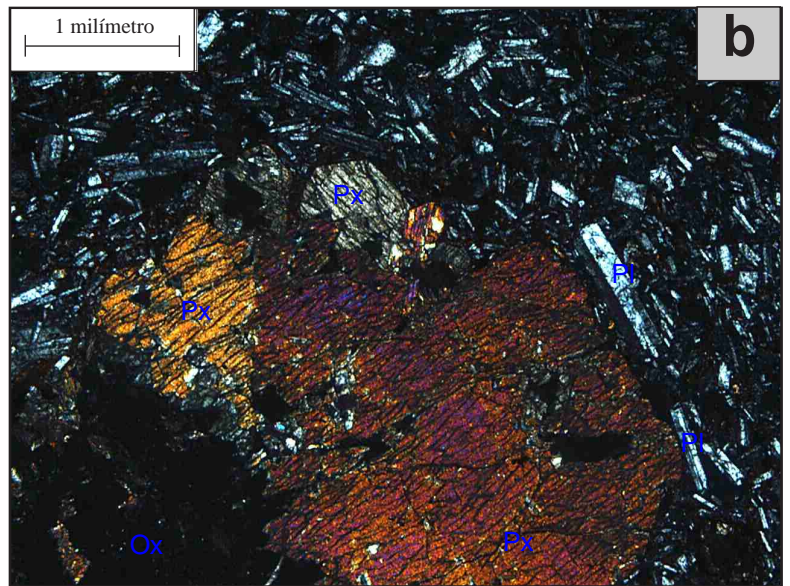
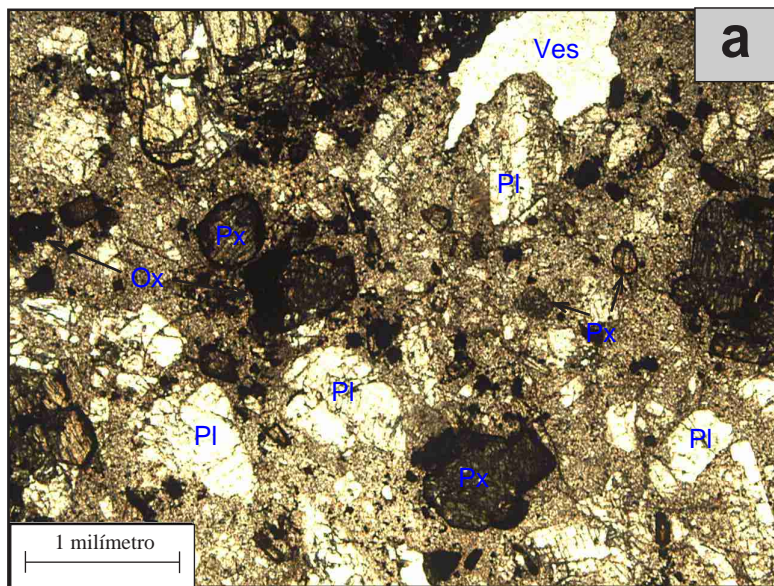
### Oxidos de Hierro-Titanio

Esta fase se encuentre fuertemente dispersa dentro de la matriz, como inclusiones dentro de otros fenocristales o en asociaciones glomerulares con Plagioclasa o Piroxeno y en algunos casos, como cristales aislados.

El porcentaje más alto de óxidos se encuentra como minerales difusos, de formas anhedrales y distribuidos dentro de la matriz, las agrupaciones granulares son < 0.70 mm, pero individualmente son menores a 0.10 mm.

Los óxidos aislados son menores a 0.25 mm, son de formas normalmente euhedrales a subhedrales, cúbicas a poligonales. En la muestra PF07-24(B) C2 (*Figura VIII.2 e*) es posible encontrarlos dentro de cristales de piroxeno (inclusión), mientras que en la muestra PF06-45(4) C3





**Figura VIII.2** Algunos rasgos petrográficos importantes:

- a) Piroxenos con bordes de reacción de óxidos de Fe-Ti. *LNA-20X* [PF07-29(A) medC3]
  - b) Fenocristal subhedral de clinopiroxeno con bordes sanos, dentro de matriz vítrea *LNAP-20X* [Muestra PF07-20(B) C2]
  - c) Cristal de piroxeno roto dentro de matriz vítrea rica en microlitos de Pl. *LNAP-20X* [Muestra PF07-24(A) C5]
  - d) Al centro de la muestra: piroxenos entrecruzados y plagioclasa *LNAP-20X* [Muestra PF07-29(A) low C3]<sub>64</sub>
  - e) Fenocristal de piroxeno conteniendo óxidos de Fe-Ti cúbicos *LNAP-40X* [Muestra PF07-24(B) C2]
  - f) Oxidos anhedrales y subhedrales intercalados con Piroxeno y plagioclasa *LNA-20X* [Muestra PF06-45(4) C3]
- Pl= plagioclasa; Px= piroxeno; Ox= óxido; MtV= matriz vítrea; Ves= vesículas



los óxidos están de forma individual e intercalados entre fenocristales de plagioclasa y piroxeno (*Figura VIII.2 f*).

En algunas zonas se observa claramente que los óxidos son producto de la alteración de piroxenos o anfíboles, mostrado por remanentes de la estructura mineral original de ferromagnesiano pero invadido completamente por rellenos de óxidos, tal y como se puede apreciar en la *Figura VIII.3 a*. De manera secundaria, en algunas muestras los óxidos rellenan zonas de leve fracturamiento.

Según [Mora et al., \(2002\)](#) el óxido más común es la titanomagnetita, con menor frecuencia de ilmenita y posible hematita. La titanomagnetita es común encontrarla distribuida en la matriz y como inclusiones en piroxenos y plagioclasa.

#### Anfibol

Esta es una fase mineral rara, presente solamente como fenocristales con definidas texturas de desequilibrio, de formas anhedrales a subhedrales alargadas, rodeadas por una corona bien definida de óxidos de Hierro-Titanio; en luz natural polarizada muestra colores café oscuro a tonalidades rojizas (*Figura VIII.3 b*).

En otro caso (muestra del DOMO 2007-P40), la textura de desequilibrio es marcada por una recristalización de microlitos de plagioclasa, piroxeno, óxidos y posible cuarzo. El núcleo del mineral ha sido completamente oxidado y puede ser identificada como anfíbol –posible hornblenda– solamente por su distintiva forma mineral (*Figura VIII.3 c*).

#### Matriz

Este es uno de los rasgos petrográficos más importantes usados para diferenciar las muestras analizadas. Se tomaron tres parámetros de diferenciación principales dentro de la matriz:

- a) El grado de cristalinidad.
- b) El grado de alteración de la matriz
- c) El grado de vesicularidad

El *grado de Cristalinidad* se refiere a la relación general de fenocristales más microlitos de cualquier fase mineral (Pl-Px-Ox-Anf) contra la matriz vítrea en la cual están inmersos. Generalmente, el grado de cristalinidad es menor que la abundancia de vidrio en todas las muestras estudiadas, salvo la muestra PF06-45 (3) C6 en donde ambas concentraciones son relativamente similares.



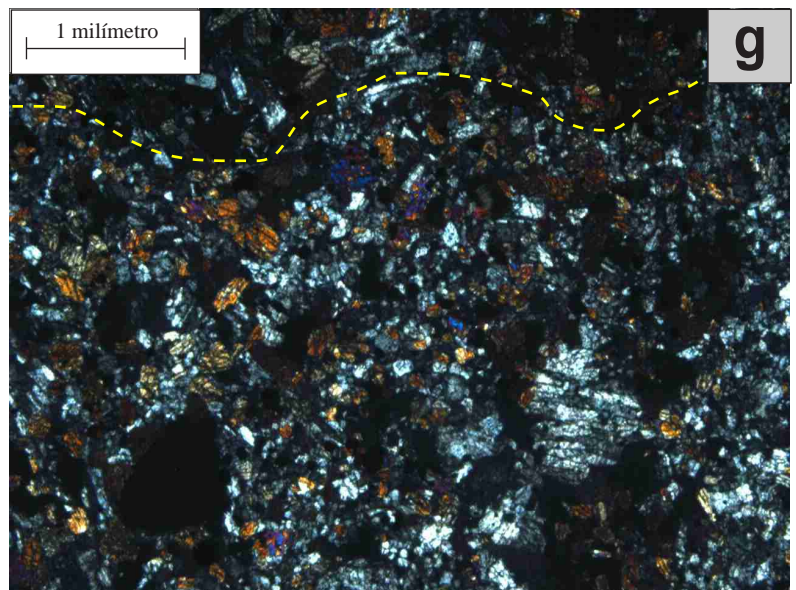
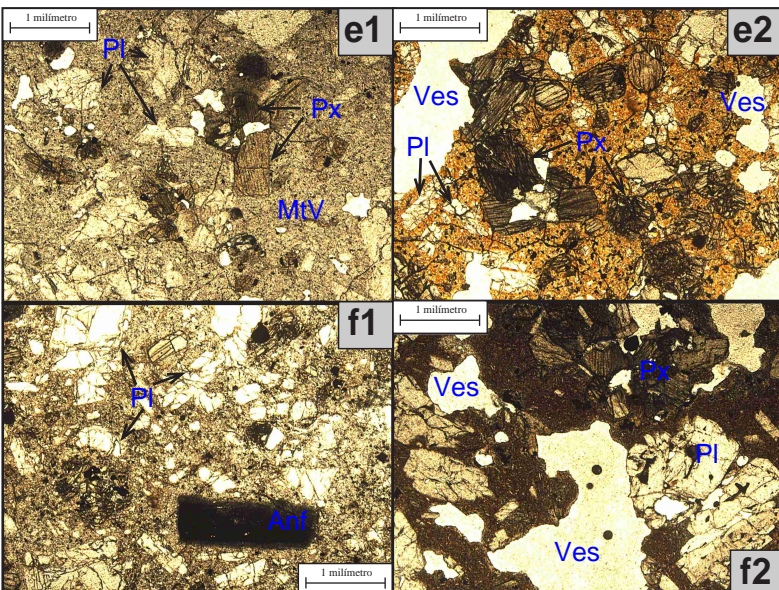
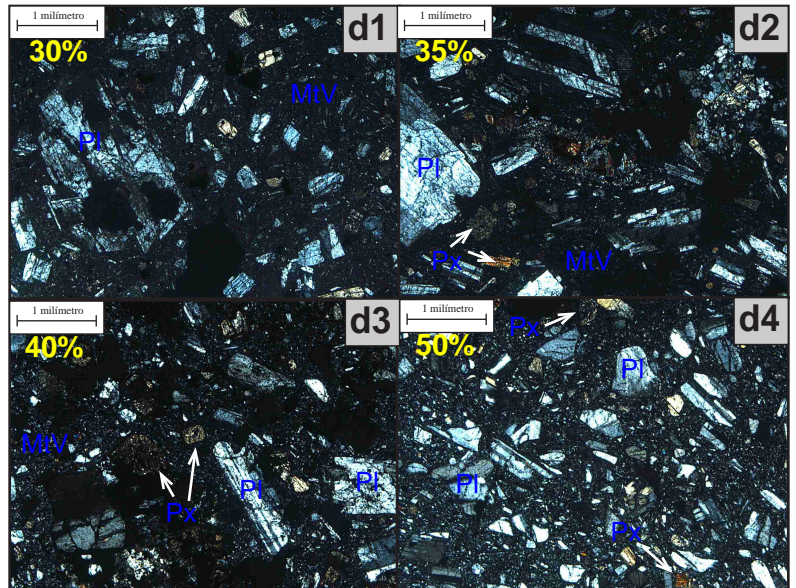
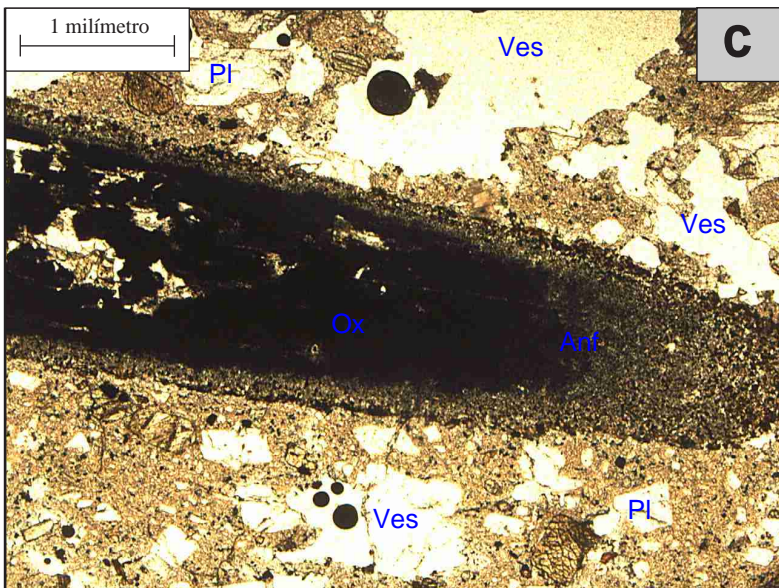
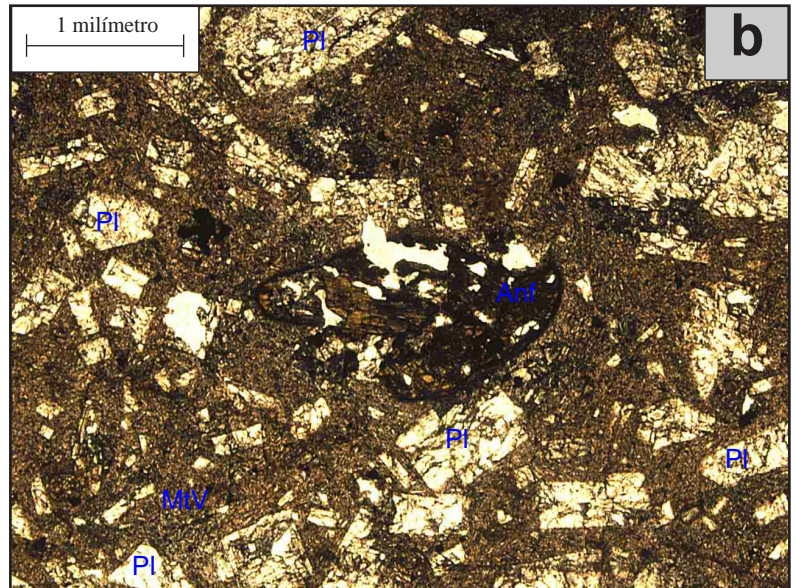
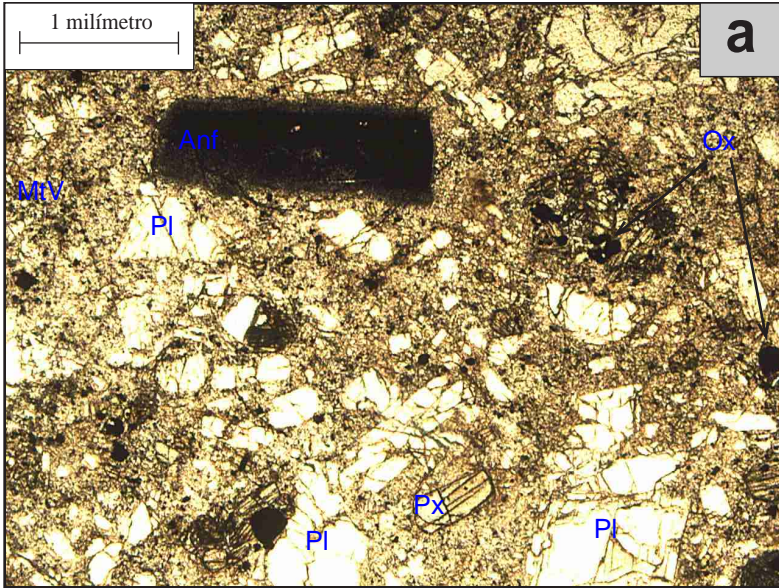
En la *Figura VIII.3 d* se muestra una progresión en el grado de cristalinidad descrito en diferentes muestras: *d1* tomada de la muestra PF06-45(2) C presenta una amplia matriz vítrea sin concentración de microlitos. Pasando por *d2* -muestra PF07-20(B)C1 y *d3* -muestra DOMO 2007 P42- se observa un incremento gradual de los microlitos y microfenocristales de la matriz, hasta *d4*, donde la concentración de microlitos+fenocristales es igual o superior a la matriz vítrea que lo soporta.

El *grado de Alteración de la Matriz* depende del nivel de conservación de las propiedades vítreas de la matriz y de los microlitos contenidos. En condiciones normales, la matriz tiene un color café claro homogéneo con algunas pequeñas manchas oscuras por óxidos diseminados (*Imagen VIII.3 e1* -muestra PF07-24C C6). Por otro lado, la matriz alterada presenta un intenso color naranja-amarillento de distribución inhomogénea, con el desarrollo de “parches” con coloración variable entre naranja rojizo a café claro y tonalidades amarillentas (*Figura VIII.3 e2*- muestra PF07-29A med).

El *grado de Vesicularidad* es la relación general de la fracción de volumen de las vesículas en un clasto, o en este caso, en la lámina estudiada. En las muestras estudiadas del Volcán de Colima se presenta importante variación, desde muestras con nula vesicularidad, como la PF06-45 (3) C8 mostrada en la *Figura VIII. 3 e1 y f1* hasta muestras de importante vesicularidad como la de la *Figura VIII.3 f2* (Muestra PF07-24 C C4) -ver *Tabla VIII.1 y VIII.2*-.

#### Xenolitos

Es un rasgo relativamente común dentro de las muestras estudiadas. Se identifican como agregados cristalinos de la misma asociación mineralógica (Pl-Px-Ox) que las láminas previamente descritas en las tablas sintéticas VIII.1 y VIII.2. Con tamaños de cristales individuales pequeños (<0.10 mm) pero caracterizados por una marcada ausencia de matriz entre los microxenocristales. En conjunto, los xenolitos son de entre 4-6 mm de diámetro; en muestra de mano resaltan fácilmente debido a un grado de cristalinidad contrastante con el resto de la roca que lo contiene, sin embargo en lámina delgada apenas se observa un borde irregular (línea punteada amarilla en la *Figura VIII.3 g*) - muestra PF06-45 (1) C?. Además de esta muestra, es posible encontrar pequeños xenolitos en las muestras PF07-24(B) C3, PF07-29(A) med C3 y en PF07-29 (A) low C3.



**Figura VIII.3** Algunos rasgos petrográficos importantes:

- a) Remanente oxidado de posible piroxeno dentro de muestra porfídica. *LNA-20X* [PF06-45(3) C8]
- b) Posible anfíbol con borde de reacción oxidación (textura de desequilibrio) *LNA-20X* [Muestra PF07-24(B) C3]
- c) Sección de un fenocristal de anfíbol con fuerte efecto de desequilibrio mineral *LNA-20X* [Muestra DOMO 2007 P40]
- d) Variaciones en el grado de cristalinidad de las muestras. Explicación incluida en Sección VIII.1.1. *LNAP-20X*
- e) Marcados cambios en el grado de alteración de la matriz entre **e1** y **e2** *LNA-20X*. Descripción en la Sección VIII.1.1.
- f) Comparativa entre muestra de nula vesicularidad (**f1**) y una de alta vesicularidad (**f2**) *LNA-20X*. Sección VIII.1.1.
- g) Muestra de un posible xenolito de mineralogía de PI-Px-Ox. *LNAP-20X* [Muestra PF06-45(1) C?]

PI= plagioclasa; Px= piroxeno; Ox= óxido; MtV= matriz vítrea; Ves= vesículas; Anf= anfíbol



### VIII.1.2 Significado Petrográfico

En el estudio petrográfico se pudieron identificar tres tipos de cristales coexistentes en la mayoría de las muestras estudiadas (tomado de [Arias-Cabrera, 2003](#)):

- a) Cristales euhedrales – producto de crecimiento en equilibrio de los fenocristales con el material circundante (matriz). Son cristales limpios y de bordes bien definidos.
- b) Cristales subhedrales – son indicadores de desequilibrio parcial con la matriz que lo rodea. Presentan normalmente inestabilidad en los bordes.
- c) Cristales anhedrales – son cristales indicadores de inestabilidad o desequilibrio con respecto al líquido magmático. Son comunes “fantasmas” de formas minerales.

Por otro lado, como ya se explicó previamente, son comunes los cristales con texturas de desequilibrio, caracterizadas por bordes de reacción o reabsorbidos y zoneamiento, principalmente en anfíboles y piroxenos de bloques juveniles y domos. Estas texturas petrográficas sugieren que los minerales formados no estaban en equilibrio con el fundido previo o durante la erupción ([Mora et al., 2002](#)).

La mayoría de las plagioclasas analizadas presentan zoneamiento inverso, lo cual indica que la composición varía de un componente de baja temperatura (centro del mineral) hacia un componente de alta temperatura (a los bordes del cristal). Sin embargo, uno de los minerales donde los rasgos de desequilibrio son más notables es en anfíbol. Por ello, tanto en el trabajo de [Lühr \(2002\)](#), como muchos autores previos han discutido la presencia de bordes de reacción-oxidación en anfíboles (variedad hornblenda). Normalmente estos han sido asociados a pérdidas de agua dentro del fundido, en la mayoría de los casos durante el ascenso del magma relacionado a erupciones bajo condiciones de presión por debajo del mínimo necesario para la estabilidad de la hornblenda.

De acuerdo con [Savov et al. \(2008\)](#) las muestras que presentan una *Matriz* con intenso contenido de vidrio son reflejo de un rápido enfriamiento de bloques debido al rompimiento del flujo de lava o domo formado a finales del 2004 o producto de los pequeños domos de corta vida que crecieron entre las principales explosiones del 2005. Aquellas rocas que presentan una matriz muy rica en microlitos con bajo número de vesículas, supuestamente representan un magma fresco que se enfría relativamente lento, posiblemente en el conducto superior o en las partes internas del domo.

Sin embargo, con base a las descripciones realizadas directamente en los diferentes bloques de estudio (*Tabla VIII.1 y VIII.2*) no se han encontrado características distintivas que diferencien adecuadamente los bloques provenientes de líticos juveniles, lavas o muestras directas de domos.



El análisis sobre tres domos emitidos en eventos distintos (2002, 2004 y 2007) fue principalmente para comparar características entre ellos y analizar variaciones con respecto a la fecha de emisión en los productos volcánicos.

Los resultados obtenidos muestran que petrográficamente los bloques provenientes de los domos anteriormente descritos y las muestras tomadas directamente de los depósitos piroclásticos presentan características muy similares, tanto en mineralogía como en textura, a excepción de las variaciones sutiles a nivel de *matriz*, descritas en la Sección VIII.1.3. Con base en observaciones realizadas sobre el domo actual en Colima (2007-presente), se pudo constatar de la presencia de coronas de fumarolas alrededor del cráter. La roca presente alrededor de dichas zonas sufre importante alteración (color rojiza-naranja). Este contraste con respecto a zonas de fracturamiento prismático y matriz vítrea podría explicar la razón de variaciones texturales en componentes de un mismo domo.

Según [Savov et al. \(2008\)](#), los mejores candidatos para ser componentes “juveniles” son aquellos que presentan grano fino y una matriz moderadamente cristalina con abundantes microlitos de plagioclasa y piroxeno.

Desde el punto de vista petrogenético, [Mora et al. \(2002\)](#) propone una supuesta intrusión de un magma andesítico máfico más caliente dentro de una cámara magmática con un magma estancado más silíceo, esto causa inestabilidad del sistema magmático (disolución de fases sólidas y exsolución de volátiles en el magma residente). Esta inestabilidad es registrada en anfíboles reaccionados, zoneamiento inverso en los fenocristales de plagioclasa y variaciones en las características químicas del piroxeno.



## VIII.2 / Análisis Geoquímico

Un total de 14 muestras fueron seleccionadas, preparadas y analizadas mediante las técnicas descritas con más detalle en la Sección IV.3.4 (Capítulo de Metodología). Se buscó que las muestras seleccionadas fueran las más representativas de los Flujos de Bloques y Ceniza producidos durante el 2005.

La gran mayoría de las muestras fueron tomadas directamente de bloques contenidos en los depósitos piroclásticos, mientras que otras fueron tomadas directamente de domos en formación en episodios previos (2002 y 2004). Adicionalmente, se analizó una muestra del nuevo domo activo y en formación en el Volcán de Colima desde Febrero del 2007 ([Gavilanes y Varley –en curso](#)).

De las muestras seleccionadas para Geoquímica, PF06-45(1) C7, PF07-20(A) C1A, PF07-24(A) C4 y PF07-24(B) C1 son muestras catalogadas dentro del Componente 1 (Juveniles) que fueron recolectadas directamente de los depósitos de Flujos de Bloques y Ceniza. Las muestras DOMO 2002 COL 001, DOMO 2004 081 y DOMO 2007 P40 de igual manera, son consideradas dentro del Componente 1. Por otro lado, las muestras PF06-45(3) C8 y PF06-45(4) C3 corresponden al componente 2, con características propias de flujos de lava. Las muestras PF07-29 (A)\*medC3 y PF07-29(A)\*lowC3 pertenecen a componentes moderadamente alterados (comp. 3), mientras que PF06-45(4) C2, PF07-20(B) C2 y PF07-29(A)\*med son rocas fuertemente alteradas (comp. 4).

### VIII.2.1 Óxidos Mayores

Cómo método de discriminación inicial se usó el diagrama de TAS –Álcalis Totales vs Sílice-, mostrado en la *Figura VIII.4a*. En este se evidencia que las muestras estudiadas en la presente tesis presentan un rango de variación muy estrecho tanto en contenido de SiO<sub>2</sub> (57.95- 61.28 % peso) como en Álcalis Totales (5.51 a 6.23% en peso). De esta manera, todas las muestras caen en el campo de las Andesitas subcalinas de moderado contenido de Potasio, debajo de la línea de discriminación de [Irvine y Baragar \(1971\)](#).

La *Figura VIII.4b* hace un acercamiento del diagrama de TAS para mostrar que las lavas generadas durante el 2005 y los domos estudiados (2002,2004 y 2007) se agrupan en tres lotes principales. En orden ascendente en SiO<sub>2</sub>, el primer lote (bajo SiO<sub>2</sub> y álcalis) contiene la muestra PF06-45(4) C2, el segundo lote, de SiO<sub>2</sub> y álcalis medios (59 a 60% SiO<sub>2</sub> vs 5.5 a 6% álcalis), contiene a la gran mayoría de muestras, especialmente, a las muestras de los tres domos antes descritos; finalmente, en el lote más enriquecido en SiO<sub>2</sub> (entre 60.5 y 61.5%) se encuentran las



muestras PF06-45(4) C3, PF06-45(1) C7 y PF07-29(A) medC3. En la *Tabla VIII.1* se muestran las muestras analizadas, las unidades y el evento que las generó.

**Tabla VIII.1**

Muestras usadas para el estudio geoquímico. Se describen el componente al que pertenecen y el evento piroclástico que las produjo.

Muestra	Componente	Evento Generador	Localización
PF07-24 (B) C1	Comp. 1	30 de Mayo 2005	Barranca Montegrande
Domo 2007 P40	Comp. 1	Domo del 2007-presente	Domo actual del V de C
PF07-24 (A) C4	Comp. 1	15 de Mayo 2005	Barranca Montegrande
PF07-29 (A) low C3	Comp. 2	30 de Mayo 2005	Barranca Montegrande
PF07-20 (A) C1-A	Comp. 1	09 de Junio 2005	Barranca La Arena
PF07-29(A)* medC3	Comp. 2	30 de Mayo 2005	Barranca Montegrande
PF06-45 (3) C8	Comp. 1	05 de Julio 2005	Barranca Montegrande
PF06-45 (4) C3	Comp. 1	05 de junio 2005	Barranca Montegrande
PF07-20 (B) C2	Comp. 2	09 de Junio 2005	Barranca La Arena
PF06-45 (4) C2	Comp. 1	05 de junio 2005	Barranca Montegrande
Domo 2002 Col001	Comp. 1	Domo del 2002	Domo prev. del V de C
Domo 2004 Col081	Comp. 1	Domo del 2004	Domo prev. del V de C

Se graficaron una serie de diagramas de Harker de  $\text{SiO}_2$  contra los principales óxidos mayores analizados - $\text{TiO}_2$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{FeO}$ ,  $\text{MnO}$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{P}_2\text{O}_5$ ,  $\text{CaO}$  así como  $\text{H}_2\text{O}$ - (*Figura VIII.4c-h* y *Figura VIII.4j-m*). Además de los porcentajes de las muestras analizadas para la presente tesis, se incluyeron también los resultados publicados por [Luhr y Carmichael \(1980\)](#), [Luhr \(2002\)](#)—divididos en rocas del 3er Ciclo (posteriores a 1818 y hasta 1913) y rocas del 4to Ciclo (posteriores a 1913 hasta la actualidad)—, [Mora et al. \(2002\)](#) y [Savov et al. \(2008\)](#) buscando confirmar o descartar variaciones sistemáticas en la distribución de las muestras. De igual manera, se toman los datos reportados por dichos autores para elementos traza y variaciones composiciones a través del tiempo.

En los óxidos de Ti, Mg, Fe y Ca (*Figura VIII.4c,d,f,h* respectivamente) se observa una clara tendencia inversa en las gráficas, es decir, una disminución en el porcentaje en peso del óxido en cuestión a medida que se aumenta la concentración en  $\text{SiO}_2$ . De ellos, los diagramas de  $\text{SiO}_2$  vs  $\text{TiO}_2$  (*Figura VIII.4c*) y  $\text{SiO}_2$  vs  $\text{Fe}_{\text{total}}$  (*Figura VIII.4f*) son los que muestran mejor agrupamiento de datos y una tendencia mejor definida; por otro lado, los gráficos  $\text{SiO}_2$  vs  $\text{MgO}$  (*Figura VIII.4d*) y  $\text{SiO}_2$  vs  $\text{CaO}$  (*Figura VIII.4h*) presentan un débil agrupamiento con algunos puntos que se encuentran fuera de la tendencia marcada.

Solamente los óxidos de Na y K muestran una correlación directa de los gráficos. A razón de que aumenta el contenido de  $\text{SiO}_2$  aumenta también el contenido de  $\text{K}_2\text{O}$  y  $\text{Na}_2\text{O}$  (*Figura VIII.4k y j*,



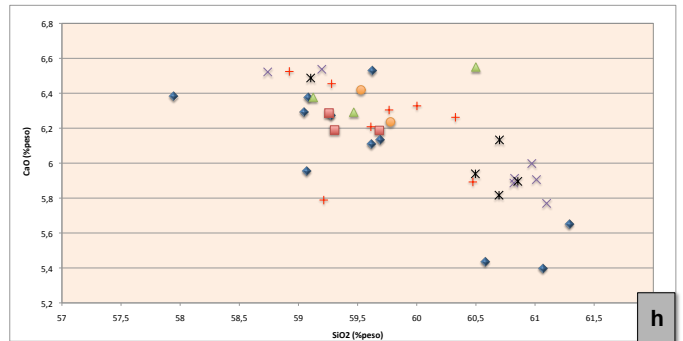
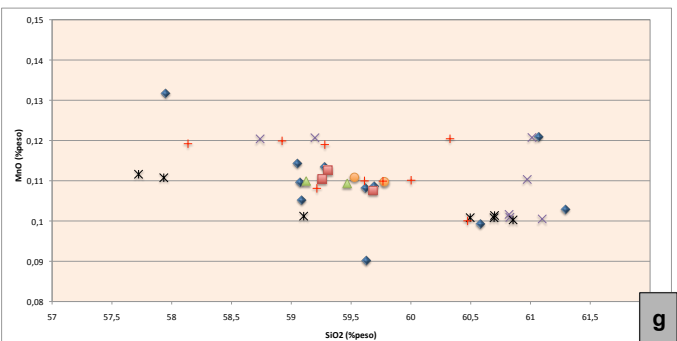
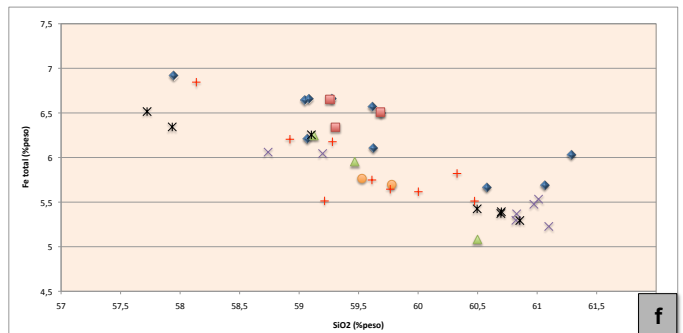
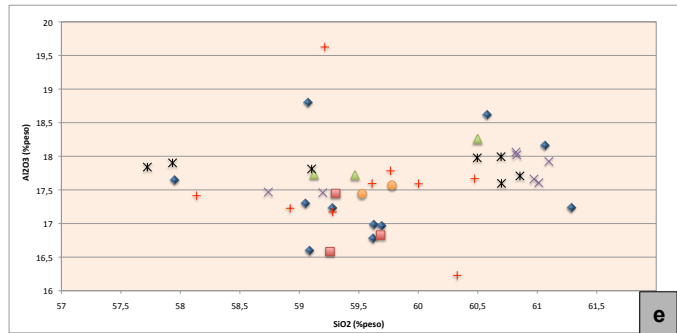
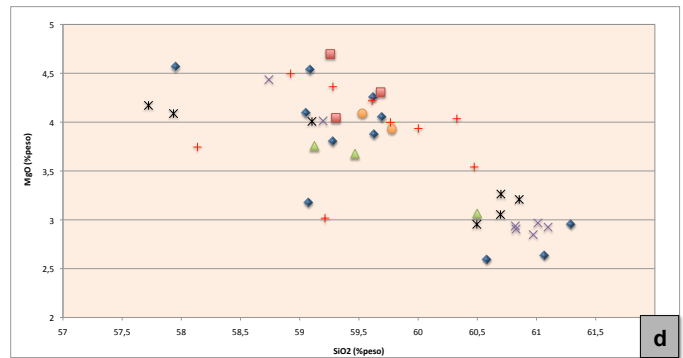
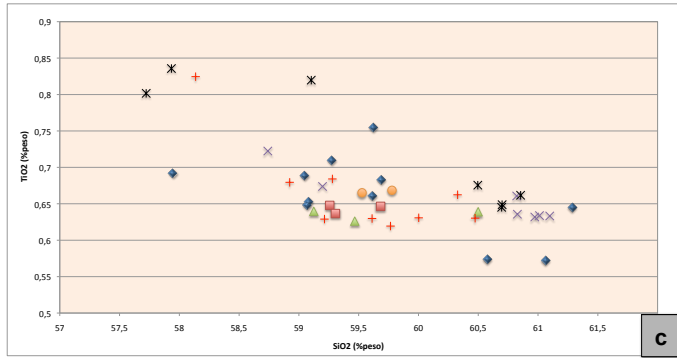
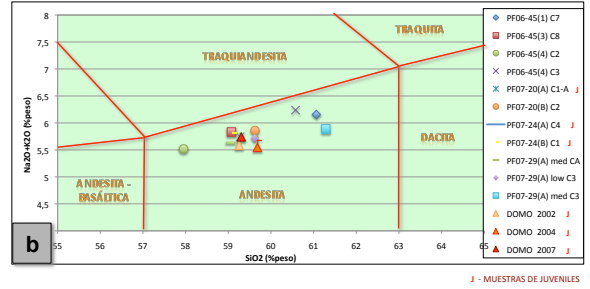
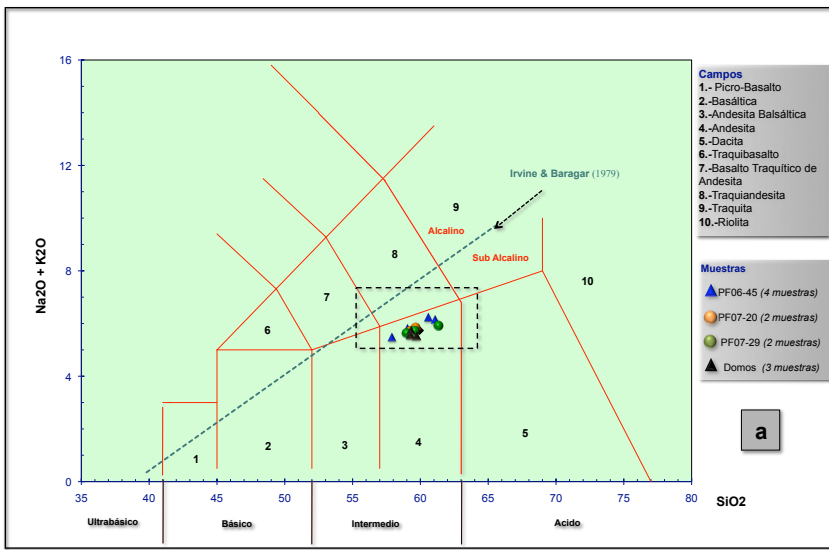


respectivamente). El agrupamiento mostrado en la *Figura VIII.4 k* es significativamente mejor que la *Figura VIII.4j*.

Para el caso de los diagramas binario de  $\text{SiO}_2$  vs  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{MnO}$ ,  $\text{P}_2\text{O}_5$  y  $\text{H}_2\text{O}$  (*Figura VIII.4e,g,l y m*) no existe una tendencia definida en la distribución de los datos. Particularmente, los datos se encuentran distribuidos entre un 16.5 a 19% óxido de Aluminio, entre 0.09 y 0.14% de óxido de Manganeso, 0.18 hasta 0.21% de óxido de Fósforo y un rango amplio desde 0.1 hasta 1.4% en agua; todos los gráficos entre un rango de 57.5 y 61.5% en contenido de  $\text{SiO}_2$ .

Particularmente, el comportamiento de las nuevas muestras (de FBC y Domos) de esta tesis en los respectivos gráficos es el siguiente:

- *Figura VIII.4c (óxido en análisis:  $\text{TiO}_2$ )*: las muestras de domo se encuentran cercanas a los rangos presentados por [Mora et al. \(2002\)](#) y [Savov et al. \(2008\)](#). Las rocas de los FBC reportadas presentan amplia distribución, con la particularidad de un enriquecimiento en 3 muestras de  $\text{SiO}_2$  (entre 60.7 y 61.3%), pero empobrecidas en  $\text{TiO}_2$  con respecto a las rocas del 3er y 4to Ciclo de [Luhr y Carmichael \(1980\)](#).
- *Figura VIII.4d (óxido en análisis:  $\text{MgO}$ )*: las muestras del domo presentan una mayor dispersión en Mg -entre 4 a 4.7%-. Por otro lado, un grupo de muestras de los FBC se ubican en puntos similares a las muestras de [Savov et al. \(2008\)](#).
- *Figura VIII.4e (óxido en análisis:  $\text{Al}_2\text{O}_3$ )*: las rocas tomadas directamente de los FBC y los Domos se ubican aproximadamente en la misma región, moderadamente empobrecidas en Al con respecto a las muestras de [Luhr y Carmichael \(1980\)](#) y [Mora et al. \(2002\)](#). Existen dos muestras tomadas de los Flujos -PF06-45(3)C8 y PF06-45(4)C3- que superan la concentración en  $\text{Al}_2\text{O}_3$  reportadas en trabajos previos.
- *Figura VIII.4f (óxido en análisis:  $\text{Fe total}$ )*: las rocas analizadas en la presente tesis -tanto domos como de FBC- se encuentran siguiendo la tendencia inversa de la gráfica pero con un marcado enriquecimiento de Fe con respecto al resto de las muestras.
- *Figura VIII.4g (óxido en análisis:  $\text{MnO}$ )*: la mayoría de las muestras de esta tesis se encuentran agrupadas hacia el centro del gráfico (entre 59-60% de  $\text{SiO}_2$  y 0.10-0.12% de  $\text{MnO}$ ), compartiendo un comportamiento similar a las muestras de [Mora et al. \(2002\)](#), [Luhr \(2002\)](#) y [Savov \(2008\)](#). Algunas muestras más enriquecidas en  $\text{SiO}_2$  se ubican en posición similar a las reportadas por [Luhr y Carmichael \(1980\)](#) para rocas del 4to Ciclo.
- *Figura VIII.4h (óxido en análisis:  $\text{CaO}$ )*: al igual que para el  $\text{Fe}_{\text{TOTAL}}$ , las muestras conservan la tendencia inversa del gráfico, pero en este caso, las rocas presentan un marcado empobrecimiento en  $\text{CaO}$  en referencia al resto de la muestras analizadas por otros autores.

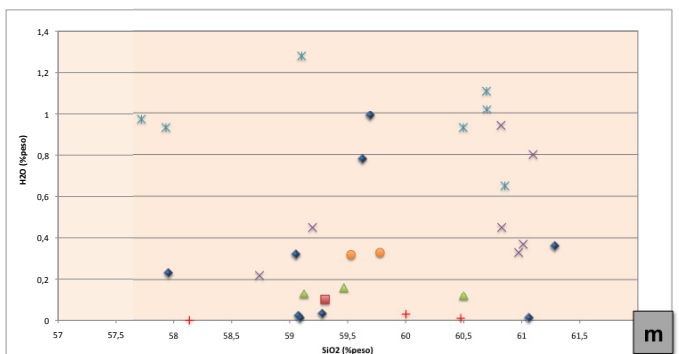
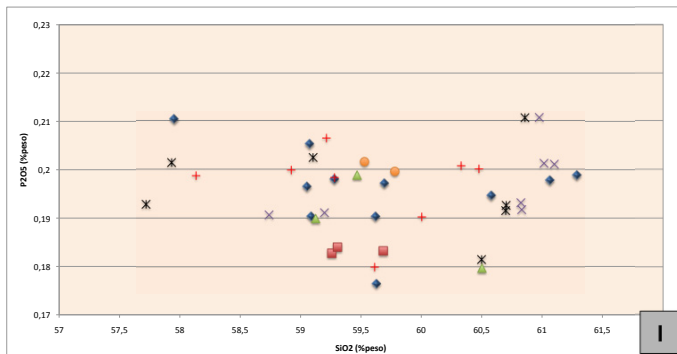
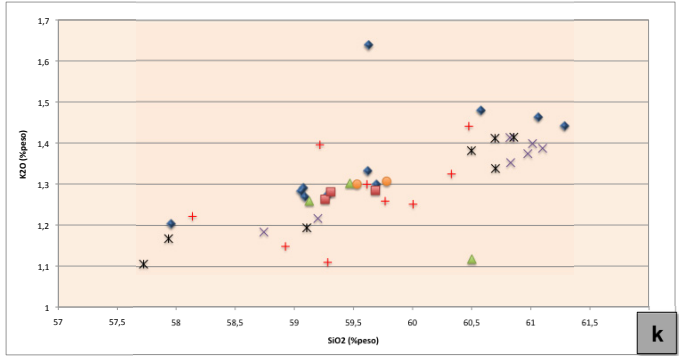
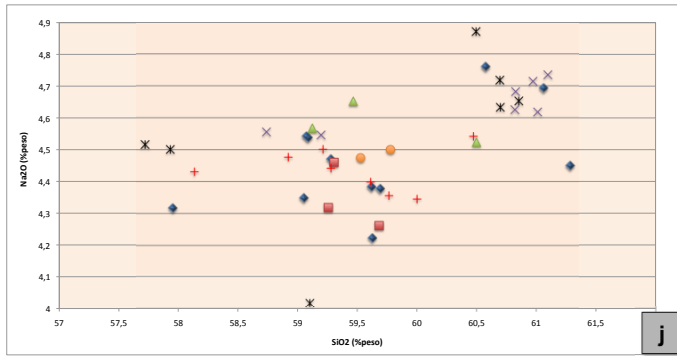
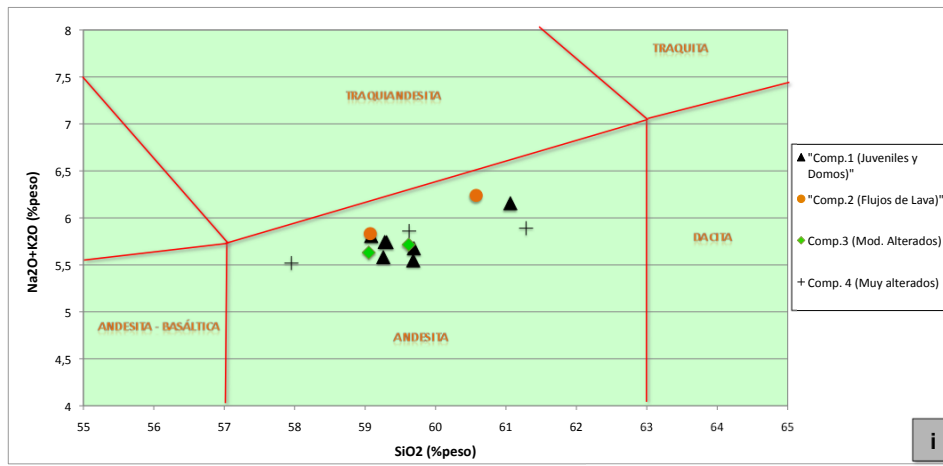


**Figura VIII.4**

**a)** Diagrama de clasificación TAS de SiO<sub>2</sub> vs. Na<sub>2</sub>O+K<sub>2</sub>O (Le Bas et al., 1986). La línea de división propuesta por Irvine y Baragar (1979) divide el campo alcalino del subalcalino.

**b)** Acercamiento del diagrama de TAS marcado por el cuadrado punteado en a). Las muestras seleccionadas son las mismas pero agrupadas de manera distinta.

**c-h)** Diagramas de Harker seleccionados para la descripción de los principales óxidos mayores analizados por Fluorescencia de Rayos X (XRF). Las muestras incluidas en estos diagramas se muestran en los símbolos de la izquierda. Además de las muestras analizadas en esta tesis (PF-2005 y DOMOS), se incluyen los análisis realizados por Savov et al. (2008), Mora et al. (2002), Luhr (2002) y Luhr (1980), dividido en rocas del 4to Ciclo -posteriores a 1913 hasta el presente- y del 3er Ciclo -posteriores a 1818 y hasta 1913-.



**Figura VIII.4 (continuación)**

i) Acercamiento del diagrama de TAS de SiO<sub>2</sub> vs. Na<sub>2</sub>O+K<sub>2</sub>O (Le Bas et al., 1986) marcado en el cuadrado punteado en a). Las muestras seleccionadas son las mismas que las mostradas en la Figura VIII.4a y Figura VIII.4b, pero agrupadas de manera distinta.

j-m) Diagramas de Harker seleccionados para la descripción de los principales óxidos mayores analizados por Fluorescencia de Rayos X (XRF). Los símbolos usados para marcar las muestras son los mismos de la página anterior (Figura VIII.4 c a l h). Además de las muestras usadas para la presente tesis (PF-2005 y DOMOS) se incluyen los análisis realizados por Savov et al. (2008), Mora et al. (2002), Luhr (2002) y Luhr (1980), dividido en rocas del 4to Ciclo -posteriores a 1913 hasta el presente- y del 3er Ciclo -posteriores a 1818 y hasta 1913-.



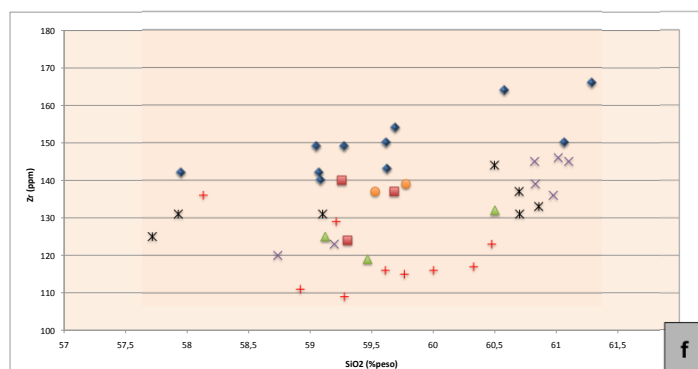
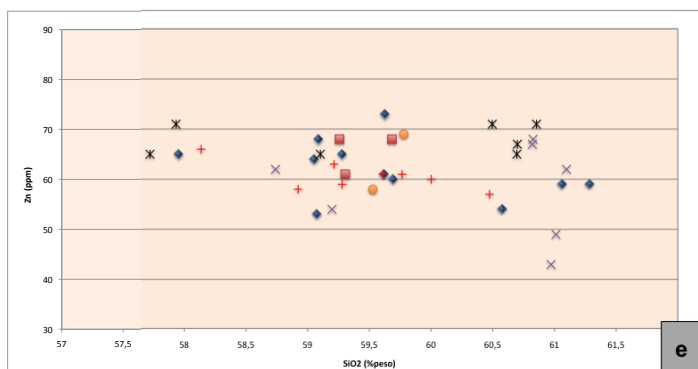
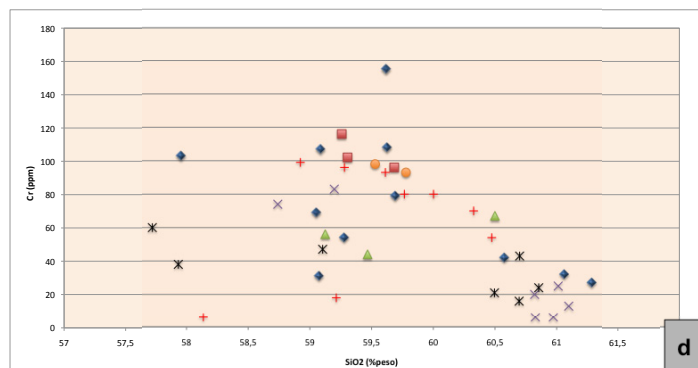
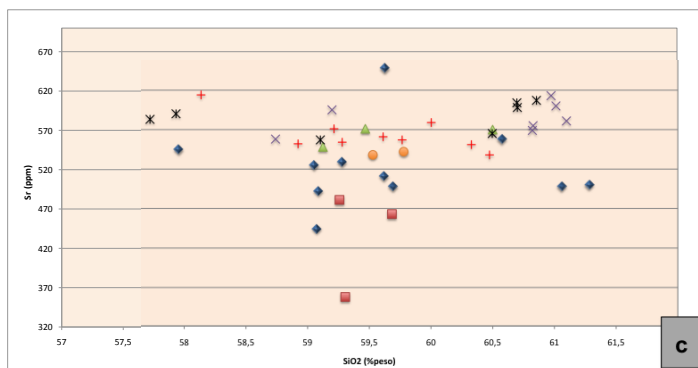
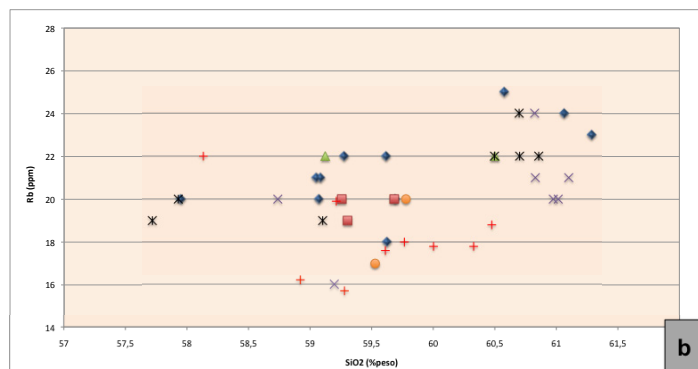
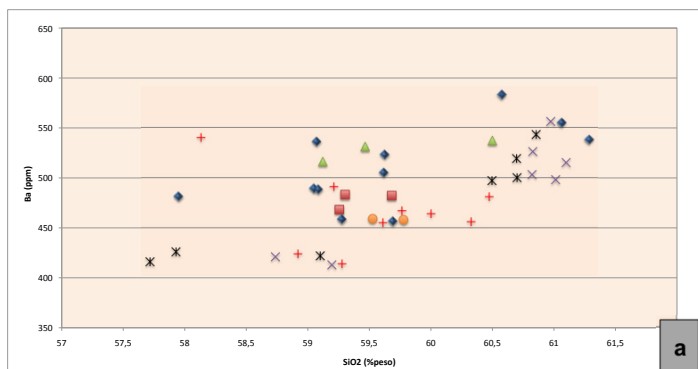
- *Figura VIII.4j (óxido en análisis:  $Na_2O$ ):* para este óxido las muestras se encuentran muy dispersas; en general, con un comportamiento similar a las presentadas por [Savov \(2008\)](#). Aquellas muestras enriquecidas en  $SiO_2$  caen en el campo de las rocas del 3er y 4to Ciclo de [Luhr y Carmichael \(1980\)](#).
- *Figura VIII.4k (óxido en análisis:  $K_2O$ ):* los puntos se ubican alrededor del campo de las muestras de [Mora et al. \(2002\)](#), [Luhr \(2002\)](#) y [Savov \(2008\)](#) dentro de un espacio muy restringido (entre 1.2 y 1.3% de  $K_2O$ ). Al igual que en óxidos anteriores, existen tres muestras tomadas de FBC cercanas al campo de rocas de 3er y 4to Ciclo de [Luhr \(1989\)](#), pero más enriquecidas en  $K_2O$ .
- *Figura VIII.4l (óxido en análisis:  $P_2O_5$ ):* las muestras tomadas de FBC se encuentran distribuidas a lo largo de todo el gráfico de manera similar a las reportadas por [Savov \(2008\)](#). Solamente en las rocas de DOMOS se observa cierto empobrecimiento en  $P_2O_5$ .
- *Figura VIII.4m (óxido en análisis:  $H_2O$ ):* no se observa una distribución ordenada de los puntos estudiados. Distribuidos dispersamente a lo largo de todo el gráfico al igual que los resultados publicados por otros autores.

## VIII.2.2 Elementos Traza

Se construyeron una serie de Diagramas Binarios tipo Harker entre el  $SiO_2$  y algunos elementos traza (Ba, Rb, Sr, Cr, Zn, Zr) designados de forma arbitraria. Al igual que en los diagramas Harker que usamos para óxidos mayores, el objetivo primordial de estos es observar variaciones sistemáticas en la distribución de los elementos traza y compararlos con los análisis presentados por otros autores.

A continuación se describe a detalle cada uno de los diagramas:

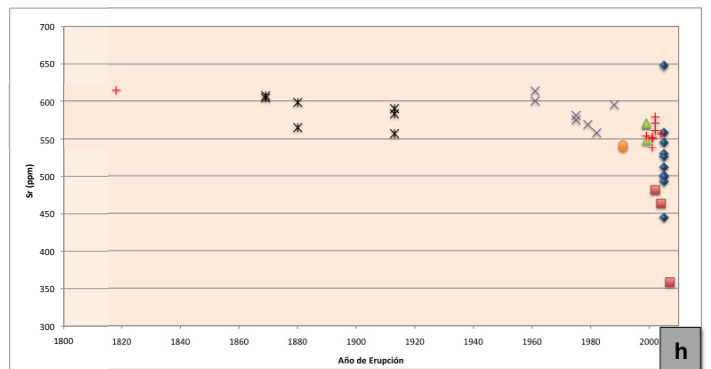
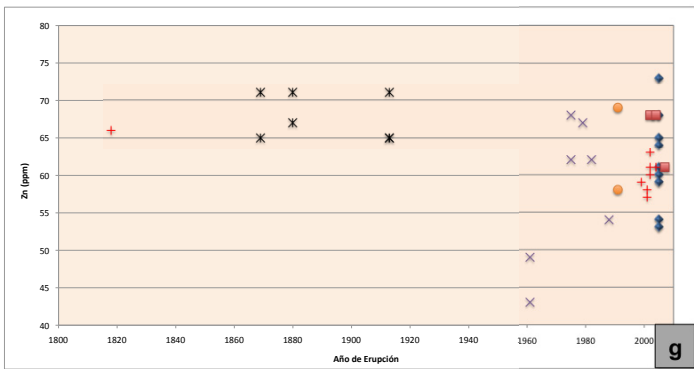
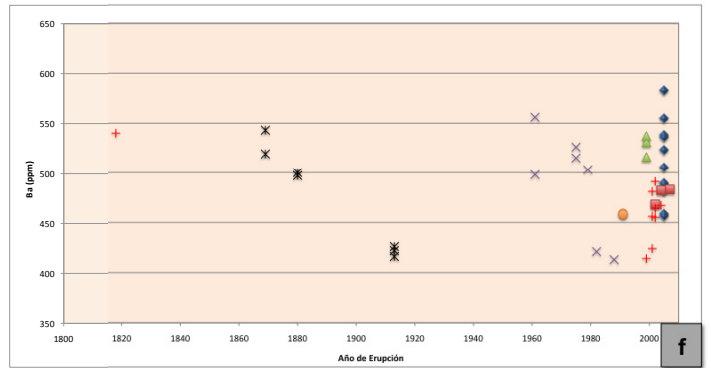
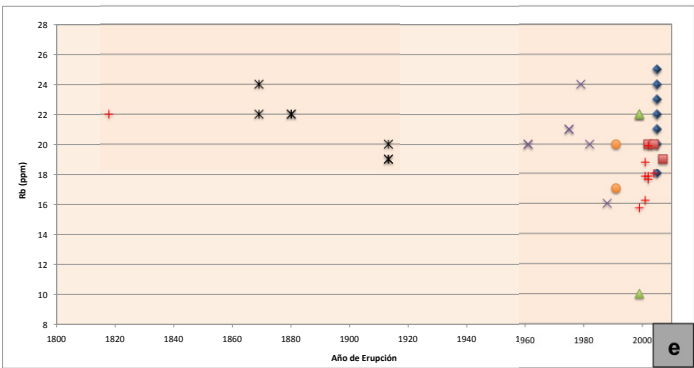
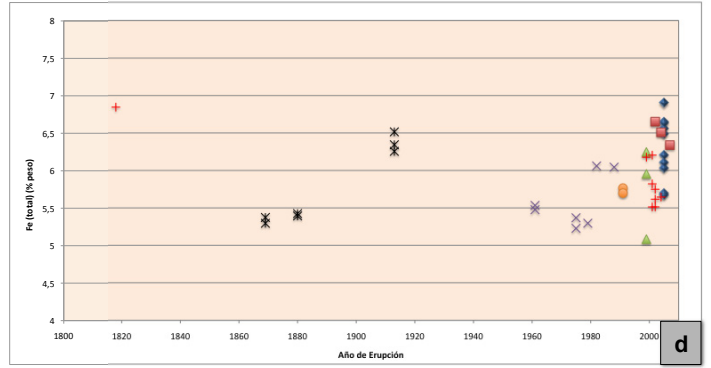
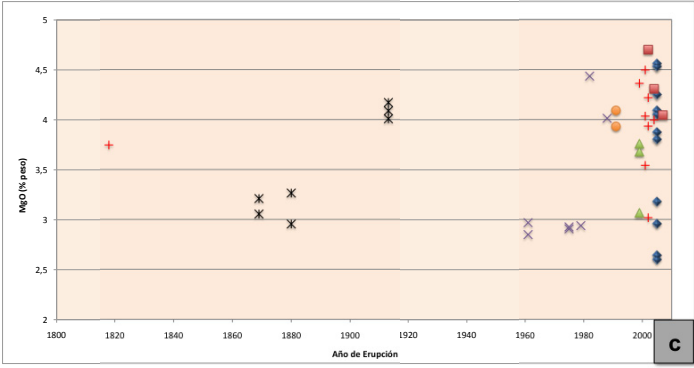
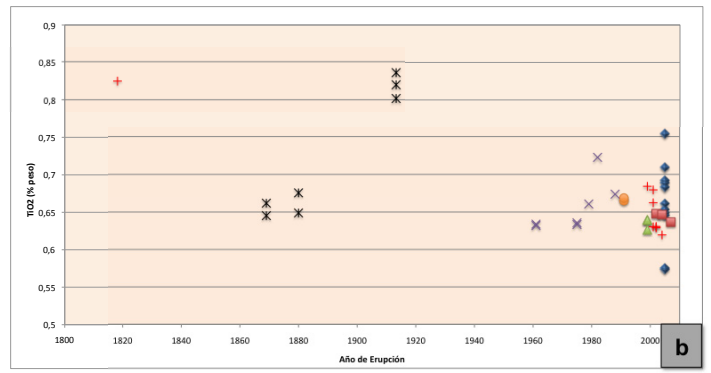
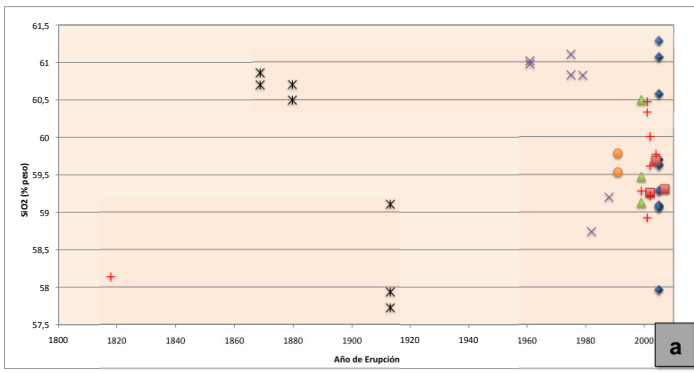
- $SiO_2$  vs Ba (*Figura VIII.5 a*): no se observa una tendencia clara en la distribución de los elementos. Particularmente para los datos de la presente tesis se tienen concentraciones de entre aproximadamente 450-580 ppm. Las muestras de domos de esta tesis se ubican entre 460 y 490 ppm, mientras que las rocas tomadas directamente de los FBC tienen un rango más amplio (450-580 ppm). El punto PF06-45(4) C3 sobresale del resto de muestras analizadas.
- $SiO_2$  vs Rb (*Figura VIII.5 b*): al igual que la muestra anterior, no presenta una distribución preferencial de los datos, con variaciones de concentración de entre 18-25 ppm. El punto descrito en el gráfico anterior de igual manera sobresale del resto de muestras en este análisis.



- Muestras**
- ◆ PF-2005 (presente Tesis)
  - DOMOS (presente Tesis)
  - + Savov et al., 2005
  - ▲ Mora et al., 2002
  - Luhr, 2002
  - × Luhr, 1980 (rocas de 4to Ciclo)
  - ✱ Luhr, 1980 (rocas de 3er Ciclo)

**Figura VIII.5**

a-f) Diagrama de Harker en roca total de contenido de SiO<sub>2</sub> contra los elementos traza: (a) Ba; (b) Rb; (c) Sr; (d) Cr; (e) Zn; (f) Zr. Las muestras incluidas en estos diagramas se muestran en los símbolos de la izquierda. Además de las muestras estudiadas en la presente tesis (PF-2005 y DOMOS), se incluyen los análisis realizados por Savov et al. (2008), Mora et al. (2002), Luhr (2002) y Luhr (1980); dividido en rocas del 4to Ciclo -posteriores a 1913 hasta el presente- y del 3er Ciclo -posteriores a 1818 y hasta 1913-.



2



**Figura VIII.6**  
**a-h)** Diagrama comparativos de años de erupción contra composición por roca total de: (a) SiO<sub>2</sub>; (b) TiO<sub>2</sub>; (c) MgO; (d) Fe-total; (e) Rb; (f) Ba; (g) Zn; (h) Sr. Las muestras incluidas en estos diagramas se muestran en los símbolos de la izquierda. Además de las muestras estudiadas en la presente tesis (PF-2005 y DOMOS), se incluyen los análisis realizados por Savov et al. (2008), Mora et al. (2002), Luhr (2002) y Luhr (1980); dividido en rocas del 4to Ciclo -posteriores a 1913 hasta el presente- y del 3er Ciclo -posteriores a 1818 y hasta 1913-.



- SiO<sub>2</sub> vs Sr (*Figura VIII.5 c*): la gran mayoría de muestras con variadas concentraciones de óxido de sílice presentan entre 520 y 620 ppm de Sr –muestras de [Mora et al. \(2002\)](#), [Luhr \(2002\)](#) y [Savov et al. \(2008\)](#). No obstante, casi todos los puntos analizados para la presente tesis se ubican debajo de los 520 ppm. Los domos analizados son los que presentan las menores concentraciones entre todas las muestras, además, se observa una disminución sistemática del Sr entre los domos del 2004, 2005 y 2007, alcanzando un mínimo de 358 ppm en la muestra P40 del domo del 2007.
- SiO<sub>2</sub> vs Cr (*Figura VIII.5 d*): para este elemento traza se observa una leve tendencia inversa en la disposición de los datos en el gráfico. Dicho agrupamiento es más notable entre el rango de 59.5 a 61.3% de SiO<sub>2</sub>. El punto PF07-29(A) low C3 está completamente fuera de la media de los puntos reportados por autores previos y de los propios de la presente tesis (155 ppm).
- SiO<sub>2</sub> vs Zn (*Figura VIII.5 e*): los datos analizados de este elemento traza se encuentran muy bien agrupados (entre 50-70 ppm), pero sin mostrar una tendencia definida. Todas las muestras pertenecientes al 3er ciclo de actividad del Volcán de Colima (propuesto por [Luhr, 1980](#)) se ubican sobre los 65 ppm, mientras que la mayoría de las rocas de 4to ciclo se ubican debajo de los 68 ppm, con un mínimo de 43 ppm.
- SiO<sub>2</sub> vs Zr (*Figura VIII.5 f*): las muestras tomadas directamente de los depósitos de Flujos Piroclásticos tienen concentraciones de entre 140 y hasta 166 ppm, mientras que las de domos entre 124 y 140 ppm. Considerando solamente los bloques obtenidos de los FBC se observa una cierta correlación positiva entre el aumento de SiO<sub>2</sub> y Zr.

De los elementos anteriores, el Zr es un elemento HFS (de alto Campo de Fuerza –*High Field Strength*), mientras que el Ba, Rb y Sr son elementos LFS (bajo campo de Fuerza) o mejor conocidos como LILE (Elementos litófilos de radios iónicos grandes –*Large Ion Lithophile Elements*).

### VIII.2.3 Variaciones composicionales a través del tiempo

Los datos recopilados incluyen información desde la supuesta erupción pliniana de 1818 (una muestra) hasta los datos recientes de las muestras del domo del año 2007. Es importante recalcar que la mayor densidad de datos presentada en las gráficas se ubica entre 1961 al presente, principalmente por a) importante actividad efusiva-explosiva en el volcán de Colima desde esas fechas b) directamente relacionado al inciso anterior, la cantidad de trabajos y publicaciones detalladas en el Volcán de Colima ha aumentado significativamente (ver *Capítulo II-Marco Geológico*).

En los gráficos presentados en la *Figura VIII.6* el eje de las abscisas es la concentración en porcentaje en peso (para elementos mayores) o partes por millón (ppm) para el caso de elementos



traza, según sea el caso. El eje de las ordenadas es la fecha del evento eruptivo-explosivo; debido a su importancia, hemos seleccionado los siguientes eventos eruptivos para graficar este eje: 1818 (una muestra), 1869 (dos muestras), 1880 (dos muestras), 1913 (tres muestras), 1961 (dos muestras), 1975 (dos muestras), 1979 (una muestra), 1981 (una muestra), 1988 (una muestra), 1991 (dos muestras), 1999 (una muestra), 2001 (dos muestras), 2002 (cuatro muestras), 2004 (dos muestras), 2005 (nueve muestras), 2007 (una muestra).

La *Figura VIII.6a* es la más importante de este apartado, al ser el elemento mayor más abundante proporciona una buena medida de la viscosidad del magma (Savov et al., 2008). Presenta una gran dispersión de datos, con un rango de SiO<sub>2</sub> entre 57.72 hasta 61.02%. Se observa que los eventos con menor concentración de este óxido se ubican en 1818 y dos puntos de 1913, los dos últimos eventos plinianos en el Volcán de Colima. Estos mínimos en óxido de sílice han sido relacionados por Luhr y Carmichael (1980); Luhr (2002) y posteriormente por Savov et al. (2008) como momentos puntuales de inyección de magma más máfico dentro de un reservorio magmático subvolcánico debajo del Volcán de Colima.

Sin embargo, existe una roca proveniente de los FBC del 2005 -muestra PF06-45(4) C2- muy empobrecida en SiO<sub>2</sub>. Este dato en particular es muy interesante, debido a que aunque presenta valores similares a los eventos plinianos antes mencionados, la fase explosiva a la que asocia la generación de estas rocas es claramente vulcaniana.

Las rocas previas a la explosión de 1913 muestran un claro enriquecimiento de SiO<sub>2</sub> (entre 60.5 y 61 %peso), mientras que las rocas generadas de 1961 al 2005 presentan un rango de valores mucho más amplio (entre 57.9 y 61 %peso). Este efecto puede verse muy influenciado simplemente por la densidad de datos presentes al año, ya que las publicaciones relacionadas a eventos explosivos-efusivos en el Volcán de Colima es significativamente mayor entre 1999-2007 que en años previos. Por otro lado, particularmente de los datos presentados en esta tesis, no se observa gran variación entre los datos relacionados a Domos (59.2 a 59.6%), rasgo que contrasta fuertemente con las rocas tomadas directamente de los depósitos piroclásticos, en los que existe variación de 57.9 a 61% de SiO<sub>2</sub>.

Para el Óxido de Titanio (*Figura VIII.6b*) no existe una tendencia definida en la distribución de los datos. Existe una correlación inversa con respecto al SiO<sub>2</sub> para las rocas de 1818 y 1913, ya que para el TiO<sub>2</sub> estos dos eventos son los puntos máximos de concentración. Para el gráfico entre el año de erupción vs MgO no existe una tendencia real de los datos; de igual modo, los eventos de 1818 y 1913 no representan los puntos máximos de concentración en óxido de magnesio (*Figura*





VIII.6c), lo cual contradice la idea sugerida por Savov et al.,2008 en relación a que las muestras de menor contenido de SiO<sub>2</sub> también son las de mayor concentración de MgO.

La *Figura VIII.6d*, relativo al cálculo de Fe<sub>TOTAL</sub> muestra una cierta tendencia positiva entre los años 1869 a 1913 y de 1975 al presente. Para las rocas del tercer ciclo (posteriores a 1818 y hasta 1913) existe un incremento de 5.2 a 6.5 %peso, mientras que para las rocas del cuarto ciclo (posteriores a 1913 hasta el presente) el incremento es de entre 5.2 hasta 6.9%. De los análisis propuestos en la presente tesis observamos que las muestras tomadas directamente de los FBC presentan un rango amplio, que va de 5.6 a 6.9 %, mientras que en los tres datos correspondientes a domos (2002,2004 y 2007) se presenta una corta correlación inversa, con la disminución sistemática de Fe<sub>TOTAL</sub>.

En relación a los elementos traza, tanto en Rb, Ba y Sr se observa una relación inversa entre los mismos ciclos propuestos por Luhr y Carmichael (1980), que han sido detallados en el párrafo anterior (3er y 4 ciclo). En general, posterior a las fases plinianas (1818 y 1913) se observa un decremento en la concentración de Rb, Ba y Sr en función del tiempo (*Figura VIII.6e, f y h*, respectivamente). Para las rocas del 3er ciclo, esta relación inversa es muchísimo más marcada en el Ba. De igual manera, para las rocas del 4to ciclo, este elemento es el que muestra la mejor relación pero solamente entre el periodo de 1961 y hasta aproximadamente el año 2001. Posterior al 2001 existe una marcada discontinuidad en la tendencia de los datos en los tres elementos traza mencionados; después de esta fecha los datos aumentan considerablemente su rango de dispersión (valor máximo/ valor mínimo). La comparativa con Zn se muestra en la *Figura VIII.6g* se muestra el gráfico binario de Zn; se tiene un agrupamiento bueno de datos entre 1869 a 1913, pero posterior a 1960 se incrementa significativamente la dispersión de ellos.



---

## CAPÍTULO IX

# DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

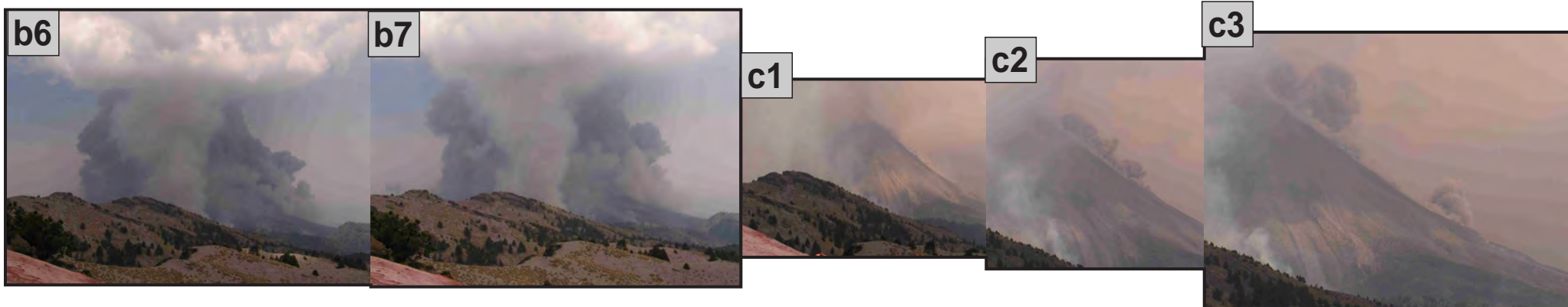
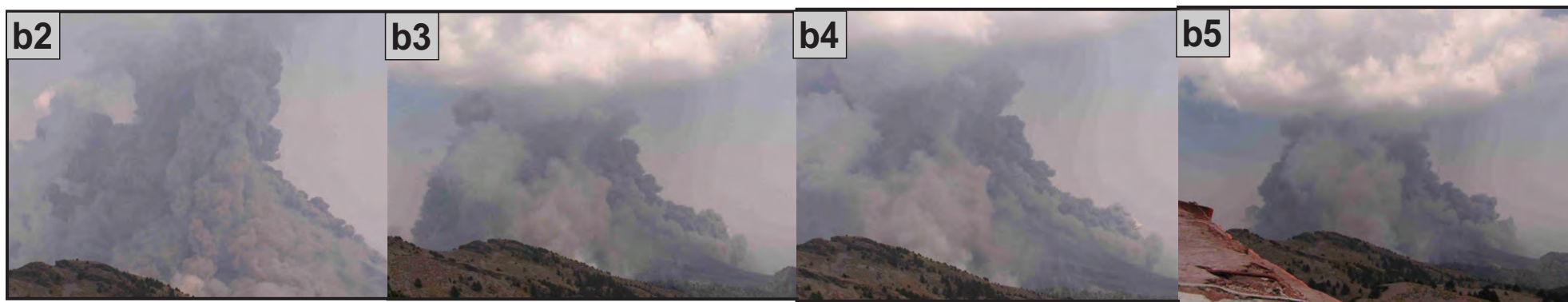
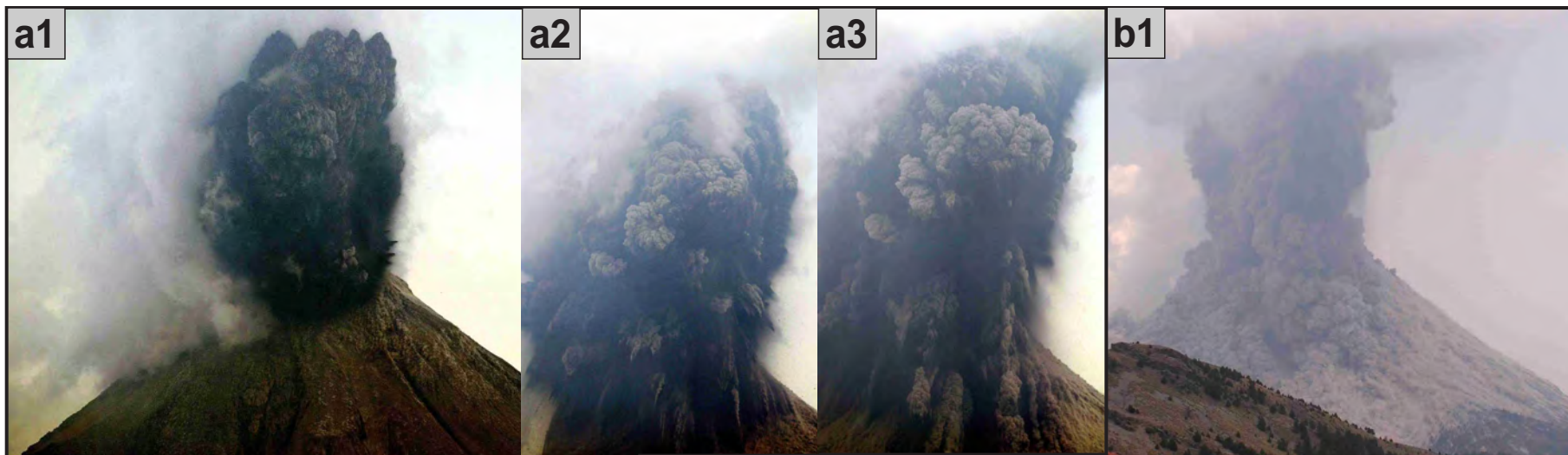
### IX.1 / Eventos Piroclásticos 2004-2005

A finales del 2004 iniciaron los principales eventos piroclásticos en el Volcán de Colima, en particular, el 06 de octubre se generaron flujos de bloques y ceniza (FBC) producto de un evento de colapso gravitacional de domo, favorecido por una gran cantidad de explosiones el mismo día y en días previos que debilitaron fuertemente el domo (*caso A, Figura III.2*). El estudio de estos FBC están fuera del alcance de la presente tesis. Las explosiones que ocurrieron a inicios del año siguiente se caracterizaron por eventos entre colapsos de columnas eruptivas a conducto abierto y colapsos de columnas eruptivas a través de domos en crecimiento de corto periodo de vida ([Navarro, 2009](#)). Las erupciones del 2005 generaron columnas eruptivas que superaron los 5000 metros de altura sobre el nivel del cráter, depositando FBC a más de 5 km en línea recta desde el cráter. Este es el evento generador de flujos piroclásticos no-pliniano más importante desde la erupción de Enero del 1913.

En la presente tesis se estudiaron los depósitos de FBC correspondientes a las explosiones del 15 de mayo, 30 de mayo, 05 de junio, 05 de julio y 16 de septiembre para la barranca de Montegrando (flanco sur del Volcán), mientras que en la barranca de La Arena (flanco sureste del volcán) se estudiaron los depósitos del 09 de Junio, 05 de Julio y 16 de Septiembre.

Los eventos piroclásticos previamente descritos fueron generados por una actividad tipo Soufriere, en donde el colapso de una columna eruptiva generó un flujo piroclástico que se encausó en las principales depresiones topográficas de las laderas del volcán. Particularmente para el caso del Volcán de Colima, se observó que el colapso de la columna se produjo casi inmediatamente después de la explosión, debido principalmente a la alta densidad confinada en la columna (*Figura IX.1 secuencia a1,a2,a3*).

Como asignatura pendiente de los capítulos anteriores es necesario adentrarnos al tema de la dinámica de los flujos piroclásticos y los posibles mecanismos de emplazamiento. En los párrafos siguientes se hará una discusión en relación a las principales observaciones e interpretaciones relacionadas al tema.



**Figura IX.1** Imágenes usadas para la discusión de los mecanismos de emplazamiento de flujo piroclástico durante el 2005 en el Volcán de Colima.  
**a1,a2,a3)** Secuencia de los primeros segundos de la explosión del 05 de Junio del 2005. Foto desde el Nevado de Colima -PC Jal (*Fotografía por Sergio Arias*).  
**b1 a b7)** Secuencia de los primeros segundos de la explosión del 05 de Junio del 2005. Foto desde el Nevado de Colima -PC Jal (*Fotografía por José Guadalupe Landín & Nick Varley*).  
**c1 a c3)** Acercamiento a un pulso secundario de menor distancia total y a la formación de una nube de ceniza turbulenta.



## IX.2 / Integración de Datos

### IX.2.1 Estratigrafía y Granulometría

Como se ha venido mencionando, las características texturales de los depósitos de FBC en las barrancas estudiadas presentan similitudes muy fuertes que complican la adecuada y directa correlación. La ausencia de un marcador estratigráfico o rasgo textural distintivo (gradación, componentes, petrografía) hace prácticamente imposible definir cada uno de los flujos (15 de mayo, 30 de mayo ó 5 de junio) por medio de propiedades intrínsecas y por ende su correlación. Es por ello, que para el presente trabajo, se desarrolló un tipo especial de reconstrucción estratigráfica usando como principal criterio el levantamiento de datos de campo –distancia máxima, espesores, texturas superficiales- en campañas de campo desarrolladas entre cada evento eruptivo. Es importante mencionar que sin este estricto control de campo, resultaría muy complicado haber desarrollado una adecuada comparación entre los depósitos y el margen de error hubiera resultado aún mayor.

De esta manera, con base en el detalle estratigráfico descrito en las varias columnas estratigráficas señaladas en los diferentes capítulos previos y a los análisis granulométricos tomados en cada una de las unidades de flujo exclusivamente en la Barranca de Montegrande, se puede concluir que los depósitos de la avalancha basal estudiados para la actividad 2005 presentan un comportamiento estratigráfico-granulométrico muy uniforme. Los cambios granulométricos puntuales encontrados en algunas columnas estratigráficas descritas en los *Capítulos VI y VII* son respuesta a cambios topográficos locales y a variaciones de la pre-topografía que afecta directamente el emplazamiento de cada uno de los flujos.

### IX.2.2 Componentes, Petrografía y Geoquímica

En el estudio de componentes se observan variaciones texturales importantes entre los diferentes líticos. En general, se destaca el *Componente 1* que corresponde al material juvenil de las explosiones del 2005 y de igual manera a fragmentos relacionados con pequeños domos que se formaron entre el breve espacio entre las explosiones, con la posibilidad de algunos fragmentos que pudieron estar relacionados a flujos de lava previos.

El *Componente 2* son fragmentos dómicos relictos que sufrieron de moderado a intenso grado de alteración hidrotermal, posiblemente relictos del domo del 2004 o previos, o bien, bloques arrancados de las paredes del conducto volcánico. Para tener una idea clara de la proveniencia de este tipo de bloques es útil observar fotografías del domo de Volcán del Colima actual (2007-al



presente), en donde se observan zonas altamente afectadas por emisión de fumarolas que cambian de manera importante el aspecto textural de las muestras.

Por otro lado, el *Componente 3* se definió para las pómez y productos de la actividad pliniana de 1913 o previas, así como de fragmentos ajenos a la última fase explosiva del Volcán de Colima. Principalmente son de color café claro, subredondeados, de baja densidad y con importante mineralogía de plagioclasa+anfíbol (hornblenda). No existe material pumicítico relacionado a las explosiones del 2005 en el Volcán de Colima.

La principal diferencia que existe entre los fragmentos del *Componente 1* y el *Componente 2* es el tiempo de residencia de las lavas en el cráter y en consecuencia, su nivel de alteración/oxidación. Para la presente tesis, se ha definido al *Componente 1* como *juveniles*. Usamos el término juvenil para hacer referencia a fragmentos de lava andesítica porfídica vítrea que se generaron justo en semanas o días previos a las explosiones principales, mediante el desarrollo de domos de pequeño volumen y corta residencia en el cráter. Durante las explosiones estos domos fueron destruidos e incorporados dentro de los depósitos piroclásticos. La definición de *juveniles* que hemos escrito es particularmente útil para señalar los posibles productos relacionados a estas explosiones, aunque pudiera resultar contradictoria a la concepción normal que se le ha dado al término en la bibliografía.

En el estudio de porcentajes predominantes de componentes que se realizó se observa una clara predominancia del *Componente 1*, seguido del *Componente 2* y por último el 3. Esto se debe a que el aporte de volumen principal para la generación de los FBC proviene de la construcción de estos pequeños domos previamente mencionados y de material fragmentado propio de las explosiones del 2005. En menor proporción, fragmentos arrancados del conducto volcánico, líticos del borde del cráter o inclusive de las laderas del volcán pudieron ser incorporados dentro del depósito. En menor proporción, material de baja densidad (pómez de 1913) fue incorporado durante el paso de los flujos piroclásticos o inclusive incorporado tardíamente en la cima de los depósitos por retrabajo.

En el estudio petrográfico no fue posible diferenciar por parámetros cuantitativos (textura, grado de cristalinidad, composición porcentual y vesicularidad) los tres componentes previamente mencionados. Solamente aquellas rocas fuertemente alteradas (componente 2) mostraron una clara división con respecto a aquellas de matriz vítrea y cristales euhedrales (componente 1). El componente 3 se caracteriza por presentar anfíbol sin bordes de reacción ni muestras de inestabilidad mineral. Para las rocas del *Componente 1* y *2* a nivel mineral se observan



asociaciones glomerulares de piroxeno-plagioclasa, así como bordes de reacción en anfíboles y piroxenos, los cuales pudieran indicar inestabilidad dentro del sistema volcánico.

En cuanto a los resultados de la geoquímica, se encontró que todas las muestras caen dentro del campo de las andesitas, sin embargo, entre los domos analizados por este método se observa un confinamiento elevado de los datos (entre 59.2 a 59.6% SiO<sub>2</sub>), mientras que el resto de las muestras tomadas directamente de los depósitos de FBC tienen rangos de entre 57.9 a 61% de SiO<sub>2</sub>.



### IX.3 / Mecanismos de Emplazamiento

De las secuencias de FBC estudiadas en la Barranca de Montegrande-La Arena se separaron dos fases de transporte y deposición claramente identificadas: 1) una corriente de densidad piroclástica concentrada, ubicada dentro del FBC como *avalancha basal* y 2) una corriente de densidad piroclástica diluída, separada entre las *oleadas de terreno* y las *oleadas de nube de ceniza*.

Debido a la alta densidad de las corrientes piroclásticas concentradas, estas se restringen principalmente a facies de canal, dentro de los cauces de la Barranca de La Arena, pero sobre todo en la Barranca de Montegrande, donde el confinamiento general de la barranca es mayor. Las corrientes piroclásticas diluídas superan fácilmente las barreras topográficas y cubren una mayor área con espesores menores. Por su velocidad y turbulencia, pueden ser altamente destructivas en las zonas cercanas a las barrancas, tal como se observa en la vegetación doblada en dirección del flujo de las *Figuras VI.9 b y c*.

La identificación y correlación precisa de la avalancha basal con las oleadas en cada uno de los flujos piroclásticos de Colima resulta un proceso complejo y con múltiples ambigüedades debido a que en las dos barrancas de estudio se emplazó una serie continua de FBC que muy posiblemente erosionaban o removilizaban los depósitos piroclásticos finos generados por las explosiones anteriores. Esta complejidad es acentuada por la topografía preexistente a cada uno de los depósitos piroclásticos, los mecanismos de emplazamiento y la reología misma del flujo en movimiento.

La topografía preexistente está en función de las características que encuentre el flujo durante su emplazamiento. Bien alcanzando zonas completamente irregulares que no han sido rellenadas por flujos piroclásticos de esta fase explosiva o donde la topografía fue nivelada gradualmente al paso y depositación de los FBC. Por otro lado, los mecanismos de emplazamiento y la reología están relacionados con la composición química (de los componentes), el volumen inicial involucrado, el índice de fragmentación, la velocidad de descenso de la columna eruptiva y la temperatura promedio del flujo.

A continuación se presenta una reconstrucción de la dinámica de emplazamiento de los flujos piroclásticos generados durante el 2005 en el Volcán de Colima, integrando las observaciones estratigráficas, granulométricas y de campo:



### IX.3.1 Desarrollo de los FBC en el Volcán de Colima (2005)

En la Figura V.2 y IX.1 se hace una reconstrucción gráfica de dos eventos piroclásticos del 2005 en el Volcán de Colima. Estos son las únicas secuencias gráficas obtenidas de dicha fase eruptiva, de las que se pueden observar características interesantes del emplazamiento de los flujos piroclásticos. La Figura V.2 muestra el emplazamiento de dos pequeños flujos que superaron apenas el quiebre de pendiente mayor del volcán, sin depósitos identificables en el flanco sur. Por otro lado, la Figura IX.1 muestra la secuencia fotográfica de uno de los eventos explosivos más importantes, ocurrido el 05 de junio del 2005.

A continuación se describen algunos de estos rasgos importantes de las figuras mencionadas:

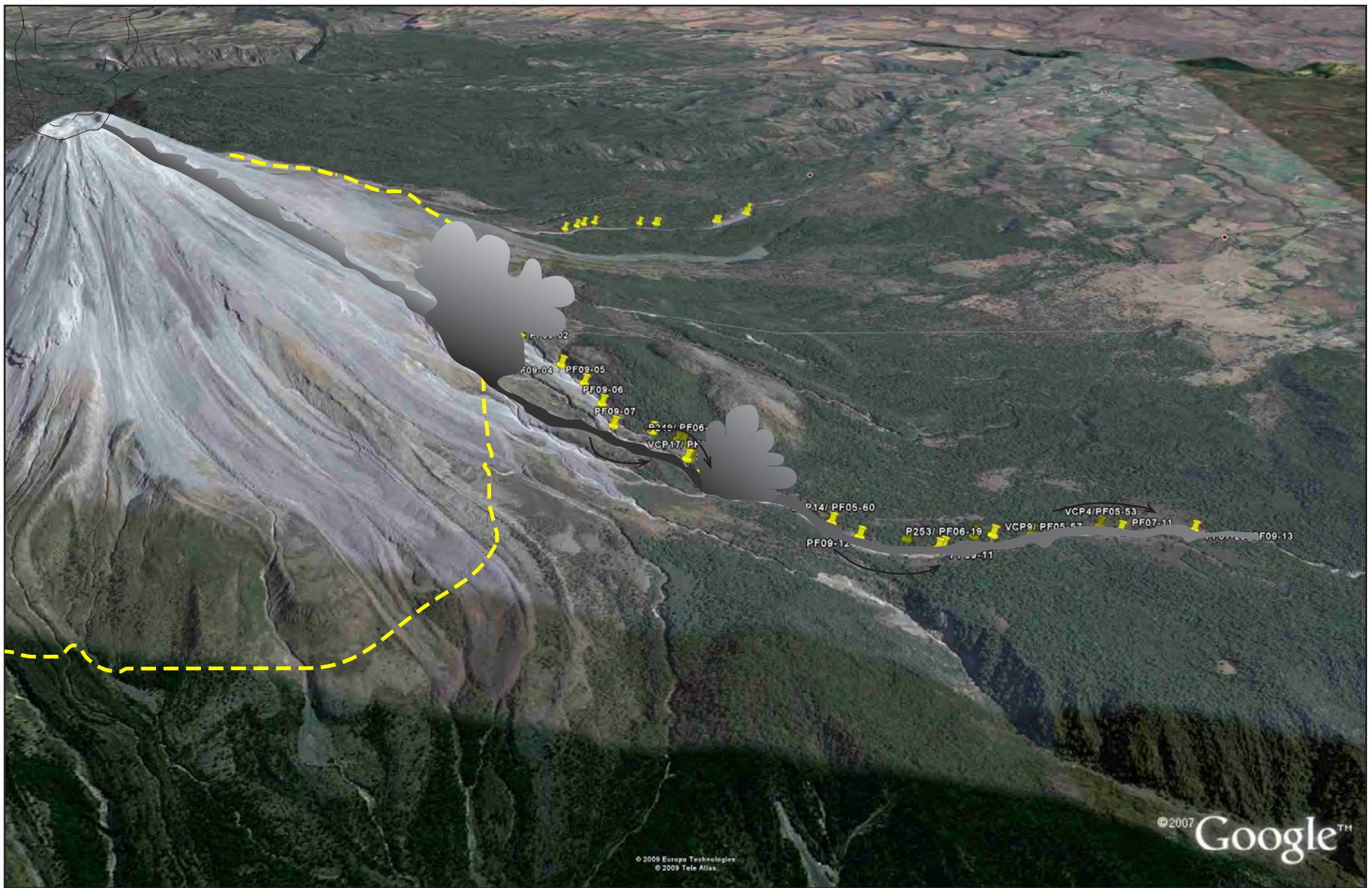
#### **12 de febrero de 2005 (Figura V.2 A):**

- 1) Explosión: a la par que se forma la columna eruptiva, el flujo inicia su colapso.
- 2) Encause en una barranca principal y algunas oleadas (corrientes piroclásticas diluídas) alcanzan barrancas vecinas a Montegrande.
- 3) Engrosamiento del flujo; las oleadas cubren las barrancas cercanas a Montegrande y San Antonio. La avalancha basal (corriente piroclástica concentrada) choca contra una barrera topográfica, lo que favorece la ingestión de aire al sistema y el inmediato inflado del flujo piroclástico.

#### **13 de marzo de 2005 (Figura V.2 B):**

- 1) Impactos balísticos de bloques que se separan del cuerpo principal del flujo se observan antes del paso de la corriente piroclástica completa.
- 2) Las oleadas piroclásticas cubren casi la totalidad del cono superior cubriendo la mayoría de las barrancas del flanco sur -aún sobre el cono principal del volcán- (sin depositación considerable).
- 3) Fotografía de mayor acercamiento. Se observa la misma barrera topográfica mencionada en el inciso 3 del 12 de Febrero. Al igual que el flujo de Febrero, dicha barrera causa la ingesta de aire exterior frío hacia el interior del flujo y el subsecuente inflado.
- 4) La corriente piroclástica se distribuye sobre todo el flanco sur, superando ya cualquier barrera topográfica. Las zonas de FP emplazados en bajos topográficos (avalancha basal) alcanzan velocidades máximas.
- 5) El flujo pierde movimiento y se favorece la ingestión de aire frío dentro del mismo. La corriente de densidad pierde velocidad, mientras que la nube de ceniza diluída (phoenix cloud) gana amplitud y elevación.
- 6) El FP se detiene por completo, la nube de ceniza (phoenix cloud) crece significativamente (orden de cientos de metros) y se desarrolla una zona convectiva ascendente.





**Figura IX.2** Esquema general que muestra la posición del quiebre de pendiente mayor en el Volcán de Colima (línea punteada amarilla) y el desarrollo de nubes turbulentas-oleadas de terreno desacopladas de la avalancha basal al pasar por cambios bruscos de pendiente. Las flechas indican el curvamiento de la topografía original dentro de la barranca de Montegrande, lo cual pudiera favorecer el efecto tobogán dentro de la zona.



**05 de junio de 2005 (Figura IX.1):**

- 1) En un primer momento, la columna eruptiva se forma alcanzando unos pocos cientos de metros. Debido a su elevada densidad, colapsa casi inmediatamente formando los primeros flujos piroclásticos (*a1*). En *a2* y *a3* se observa como la columna eruptiva va colapsando hacia las laderas del volcán (vista hacia el flanco Norte).
- 2) En *b1* se observa como la columna eruptiva se engrosa significativamente a medida que un manto de oleadas piroclásticas (corrientes diluídas) rodea el cono superior; hacia el centro de la imagen se observa una nube de ceniza elevándose diferencialmente del resto del flujo.
- 3) Dentro de *b2* se observa como los flujos se distribuyen hacia todos los flancos del volcán, pero en *b3, b4* y *b5* se observa con mayor claridad la dirección preferencial de los flujos. Desafortunadamente, debido al punto donde fue tomada esta secuencia (estación PC Nevado de Colima), no es posible ver las características de emplazamiento de este flujo en la Barranca de Montegrande.
- 4) En *b6* y *b7* el flujo pierde energía y se desarrolla una nube de ceniza diluída (phoenix cloud) que asciende verticalmente en convección.
- 5) De *c1* a *c3* se observa como se desarrolla un flujo piroclástico secundario de menor alcance que el primero, posiblemente producto de colapsos de zonas cercanas al cráter o remanentes de pequeños domos de crecimiento entre explosiones. En *c3* se observa como se forman nubes de ceniza diluídas flotantes cercanas al frente y hacia la cima del flujo piroclástico flotante.

### IX.3.2 Dinámica de transporte

La dinámica de transporte de los flujos en la presente tesis se ha dividido en tres zonas principales: la avalancha basal (corriente de densidad piroclástica concentrada), oleada de terreno y oleada de nube de ceniza (corrientes de densidad piroclástica diluídas). La división entre la avalancha basal y las oleadas está claramente identificada, sin embargo, el límite entre la generación-depositación de la oleada basal y de la nube de ceniza es confuso y pobremente entendido. Por esta razón algunos autores han considerado los flujos y oleadas como dos entidades completamente coexistentes dentro de la evolución de las corrientes de densidad piroclásticas (Burgisser, 2002).

En el Volcán de Colima la generación de flujos piroclásticos durante el 2005 fue producto de colapsos de columnas vulcanianas (actividad tipo Soufriere), pero con crecimiento de pequeños domos intermedios que fueron destruidos completamente por la explosión siguiente a su formación. Independientemente de su mecanismo de formación, los flujos piroclásticos se comportan de manera similar y generan depósitos de FBC similares (Saucedo, 2001); sin embargo,



Sarocchi, 2006 sugiere que los FBC generados por un colapso de columna podrían ser más rápidos y energéticos que aquellos originados por el colapso de un domo.

Según Saucedo (2001) y Sarocchi (2006) la avalancha basal se comporta como un flujo granular de densidad modificada, es decir, un flujo de gravedad en donde el medio que envuelve a las partículas (aire, gas y ceniza) presenta una mayor densidad que la del medio ambiente. La oleada de terreno es un flujo de baja densidad que puede desacoplarse de la avalancha basal, pudiendo moverse a velocidades mayores que esta, sin ser controlada por la topografía existente. La oleada de nube de ceniza (pluma turbulenta) es material elutriado del cuerpo principal que sube por efectos de convección muy favorecida por cambios súbitos de pendiente que favorecen la fragmentación de partículas desde la zona basal. Tanto la oleada de terreno como la oleada de nube de ceniza son flujos de tipo turbulento, en el que el espacio entre las partículas que contiene es muy grande.

En los flujos piroclásticos estudiados en la presente tesis, las zonas de desacoplamiento de la avalancha basal con respecto a la oleada de terreno y a la pluma turbulenta son fuertemente controladas por la topografía local. En la *Figura IX.2* se observan solamente dos ejemplos de desacople dentro de la Barranca de Montegrande. El primer desacoplamiento mencionado ocurre en el quiebre de pendiente mayor del volcán de Colima, una zona de cambio en la inclinación del edificio volcánico de  $>30$  a  $<20^\circ$ . Es muy probable que esta zona sea un punto de referencia común en los volcanes del mundo con este tipo de actividad, ya que Sato (1992), Cole (2005), Lube et al. (2007) describieron procesos similares en volcanes como Unzen, Arenal y Ngauruhoe, respectivamente.

Después de este quiebre de pendiente, pueden ocurrir desacoples secundarios por cambios bruscos de la pendiente dentro de las barrancas (como el mostrado en la *Figura VI.7a*) y también por las variaciones locales en el curvamiento de la topografía preexistente de la barranca. A este último caso le llamaremos –efecto tobogán–, debido al aumento considerable de la velocidad de los flujos al emplazarse pendiente hacia abajo, al encontrarse estas zonas de curvatura producto de la topografía original de la barranca (ver *Figura IX.2a*-flechas negras) los depósitos de FBC pueden cargarse *ligeramente* hacia la zona interna de la concavidad.

En conclusión, de los depósitos de FBC generados durante el 2005 se pudo observar que la avalancha basal se confina fuertemente dentro de las barrancas de Montegrande y La Arena, mientras que la oleada de terreno y la nube de ceniza turbulenta se desacoplan del cuerpo principal del flujo piroclástico debido a un fuerte control topográfico. Algunas de las oleadas de terreno avanzaron momentáneamente adelante de la avalancha basal, dejando registro en algunos



afloramientos de finas capas frecuentemente con presencia de pequeños troncos (de 1-4 cm de diámetro) cocinados o con leves rasgos de carbonización. En algunas zonas esta parte fina remonta barreras topográficas afectando las zonas marginales de la barranca, tal como se muestran en la *Figura VI.9 b y c*, en donde se observa que el nivel de destrucción de la oleada piroclástica sobrepasó los 25 metros de altura fuera de la Barranca de Montegrande (*Figura VI.9b*) y aproximadamente de 12 a 15 m sobre la Barranca de La Arena (*Figura VI.9c*). A pesar del poder destructivo presente en ambas figuras previas, en ninguno de los árboles derribados en dirección de flujo se pudieron observar rasgos feicientes de carbonización, siendo en la mayoría de los casos, apenas parcialmente *cocinados* en su corteza exterior, lo que supone que los flujos se emplazaron con temperaturas variables moderadas a bajas (200°-250°C).

En general, se observa que es altamente complicado hacer una correcta correlación entre los depósitos de FBC confinados dentro de las barrancas y los depósitos de corrientes piroclásticas diluídas localizados en las zonas marginales, debido a que en la mayoría de los casos dichas capas finas fueron fácilmente erosionadas por los flujos piroclásticos sucesivos [Sato \(1992\)](#), [Saucedo \(2001\)](#). Asimismo existe un gran parecido granulométrico, textural y composicional en los diferentes flujos analizados durante el 2005.

### IX.3.3 Discusión con respecto a los mecanismos de emplazamiento

La frecuente presencia de frentes lobulados sobrepuestos y la generación de levées marginales marcan la posibilidad de flujos piroclásticos con un elevado umbral de esfuerzos (*yield strength*) que permitiera el soporte de bloques en superficie ([Rodríguez-Elizarrarás et al., 1991](#); [Saucedo, 2001](#)). Este es un rasgo distintivo de los depósitos de flujo piroclástico de volumen pequeño en sus alcances medios o distales.

De acuerdo a lo descrito por [Schwarzkopf et al.\(2005\)](#) las distintas facies de depósitos encontradas en el volcán de Colima, son reflejo de las diferentes condiciones de transporte que encontró el flujo. De acuerdo a las observaciones estratigráficas, granulométricas y texturales encontradas en nuestro estudio, podemos concluir, en un modelo intermedio entre la agregación progresiva y la generación de FBC en masa como los responsables de depositación de los FBC en el volcán durante el 2005. Para ello, se involucran las siguientes consideraciones:

- A) El pulso inicial de los flujos en el Volcán de Colima durante el 2005 se congela rápidamente desde su frente hacia atrás y desde su base hacia su cima a medida de que pierde energía. De esta manera, el flujo puede moverse pendiente abajo siempre y cuando la base no haya sido congelada.



- B) Los pulsos se acrecionan horizontal y progresivamente pendiente hacia arriba, desde su frente hacia su cola. En casos particulares de eventos generadores de FBC con multipulsos, se encontró que el pulso inicial es el que alcanza mayor distancia, mientras que los flujos secundarios van gradando desde su lóbulo más distal hacia el más proximal.
- C) La dinámica del flujo granular (avalancha basal) y el flujo turbulento (oleadas de terreno y nube de ceniza) dentro de los FBC se ve fuertemente afectado por cambios de pendiente, confinamiento de los canales y características topográficas locales.

## IX.4 / Cálculo de Volúmenes

Previamente en el capítulo IV-Metodología (pag 55-58) se describió de manera detallada la metodología mediante la cual se estudiaron los volúmenes de FBC para los eventos del 2005. El nivel de confianza sobre los resultados obtenidos es elevado ya que se tienen con mediciones precisas de trabajo de campo, así como una base topográfica actualizada sobre la cual se desarrollaron los modelos de elevación que permitieron el adecuado cálculo de volúmenes para cada uno de los eventos principales estudiados dentro de las barrancas.

En el apéndice 7 se muestran los resultados del cálculo de volúmenes del 2005 en el 2005. En la *Figura y gráfica AP.16* se observan los principales eventos explosivos que estudiamos para el volcán de Colima durante el 2005. Se observa que los eventos del 15 de mayo y 09 de junio fueron los principales generadores de volumen. En total se tiene un estimado de  $2.86 \times 10^6 \text{ m}^3$  para el estudio en todas las barrancas.

En la *Figura y gráfica AP.17* se muestra el mismo volumen total calculado pero dividido entre las barrancas de estudio (Monte grande y La Arena), así como el resto de las barrancas. Es importante aclarar que no se tienen datos de campo para el cálculo de volumen en el resto de la barranca de estudio, en donde las estimaciones fueron realizadas con datos proporcionados por [Varley \(com. personal\)](#) y áreas generadas calculadas con el ARCGIS.

Es importante aclarar que el volumen total presentado ( $2.86 \times 10^6 \text{ m}^3$ ) solamente es de la zona de *avalancha basal*. El volumen de la *oleada de nube de ceniza* se ha estimado en ( $3.63 \times 10^5 \text{ m}^3$ ) en base a datos de campo y estimación de áreas que pudo cubrir la oleada. No se tienen datos del posible volumen generado por la nube de ceniza sobre las zonas circundantes al volcán.



## APENDICES

**Apéndice 1 / Trabajo de Campo**

Para el presente trabajo de tesis se realizó un trabajo de campo consistente en varias campañas, en la siguiente tabla se detallan las principales salidas y los datos obtenidos en cada una.

**Tabla AP.1**

Relación de las principales salidas a campo para la obtención de datos y observaciones del presente proyecto de Investigación.

Barranca / Localidad	Fecha de Salida	Datos obtenidos
Barranca Montegrande	23-Junio-2005	Flujos Piroclásticos
Barranca La Arena	25-Junio-2005	Flujos Piroclásticos
Barranca La Lumbre	28-Junio-2005	Flujos Piroclásticos
Barranca Montegrande	04-Julio-2005	Flujos Piroclásticos y Lahares
Barranca Montegrande	28-Julio-2005	Flujos Piroclásticos
Barranca La Arena	01-Agosto-2005	Flujos Piroclásticos
Barranca Montegrande	02-Agosto-2005	Flujos Piroclásticos y Lahares
Barranca La Lumbre	09-Agosto-2005	Flujos Piroclásticos y Lahares
Barranca La Arena	17-Agosto-2005	Flujos Piroclásticos
Barranca Montegrande	18-Agosto-2005	Flujos Piroclásticos
Barranca La Lumbre	21y22-Enero-2006	Flujos Piroclásticos
Barranca Montegrande	24y25-Enero-2006	Flujos Piroclásticos
Barranca La Arena	26y27-Enero-2006	Flujos Piroclásticos
Barranca La Arena	28-October-2006	Flujos Piroclásticos
Barranca La Lumbre	30-October-2006	Flujos Piroclásticos
Barranca Montegrande	31-October-2006	Flujos Piroclásticos
Barranca Montegrande	22-Enero-2007	Flujos Piroclásticos
Barranca La Lumbre	23-Enero-2007	Flujos Piroclásticos
Barranca Montegrande	27-Enero-2007	Flujos Piroclásticos
Barranca La Arena	29-Enero-2007	Flujos Piroclásticos
Barranca Montegrande	26-Julio-2007	Lahares
Barranca La Arena	28y29-Julio-2007	Flujos Piroclásticos y Lahares
Barranca La Arena	31-Julio-2007	Lahares
Barranca Montegrande	02-Agosto-2007	Flujos Piroclásticos
Barranca La Arena	10-Septiembre-2007	Flujos Piroclásticos
Barranca Montegrande	11-Septiembre-2007	Flujos Piroclásticos
Barranca La Arena	14-Septiembre-2007	Flujos Piroclásticos
Barranca Montegrande	17-Septiembre-2007	Flujos Piroclásticos
Barranca Montegrande	19-Septiembre-2007	Flujos Piroclásticos
Barranca Montegrande	06y07-Noviembre-2007	Flujos Piroclásticos
Barranca La Arena	08-Noviembre-2007	Flujos Piroclásticos
Barranca La Lumbre	15y16-Noviembre-2007	Flujos Piroclásticos
Barranca Montegrande	20-Noviembre-2007	Flujos Piroclásticos
Barranca La Arena	21-Abril-2008	Flujos Piroclásticos
Barranca Montegrande	24-Abril-2008	Flujos Piroclásticos

De la tabla anterior es importante hacer varias aclaraciones:

- 1) En las primeras salidas a campo (año 2005 y primeros meses del 2006) la metodología (explicada en los párrafos siguientes) no había sido debidamente depurada, por tanto, las descripciones estratigráficas detalladas no presentan la misma fiabilidad comparadas



- con las del resto de las salidas a campo, sin embargo, las observaciones texturales generales son muy importantes de estas salidas (lóbulos generados, zonas de llegada de las diferentes fases de FBC y datos de afección de flora-fauna).
- 2) El presente proyecto de Tesis se centra principalmente en el estudio de los FBC en la Barranca de Montegrande y en la Barranca de la Arena (*Fig 11.4*), sin embargo, originalmente se hicieron observaciones valiosas en la Barranca de La Lumbre (flanco SW). Importante aclarar que el Flujo principal que depositó en esta área –Oct 2004- está siendo estudiado por Ricardo Saucedo y Juan Carlos Gavilanes; para evitar traslape en trabajos de investigación, se acordó que para el presente documento se trataría como tema medular la fase explosiva del 2005 en el flanco Sur y Sureste del Volcán de Colima, tomando la actividad del 2004 solamente como el antecedente previo inmediato al lapso de tiempo que abarca nuestro tema de investigación.
  - 3) En algunas salidas a campo se marca que los datos obtenidos fueron sobre lahares; nunca el tema de esta tesis fue centrado en dichos fenómenos, simplemente se marcan debido a imposibilidad de llevar a cabo el adecuado trabajo en esos días dentro de las Barrancas de estudio por las condiciones climáticas locales propias del temporal (lluvias severas) que favorecieron la formación de varios episodios de lahares durante nuestras campañas de campo.



## Apéndice 2 / Trabajo de Laboratorio

La *Tabla AP.2* muestra la relación de muestras analizadas y las líneas dibujadas. A estas líneas equidistantes se les nombrará *Líneas de Medición*.

**Tabla AP.2**

Tabla detallada de las *líneas de medición* usadas y las distancias totales acumuladas en cada una de las muestras.

Muestra	Líneas de Medición	Distancia Total Medida en el análisis (en cm)
PF05-28	26	2986.086059
PF05-58	20	11229.42224
PF05-59	22	27872.62169
PF05-60	22	9668.82797
PF05-61	20	2701.166019
PF05-71	24	33737.7635
PF05-77	17	11642.12815
PF05-78	25	4313.176458
PF06-15	20	2548.402691
PF06-20	26	7196.451248
PF06-22	14	2578.396963
PF06-23	15	3234.68366
PF06-24	33	14411.02593
PF06-25	40	22072.84262
PF06-27	36	6947.958995
PF06-29	20	3701.320355
PF06-30	21	12995.92012
PF06-31	21	12995.92012
PF06-32	21	86855.05784
PF06-33	20	11772.74336
PF06-36	39	13850.86185
PF06-37	24	60215.84373
PF06-38	78	51546.89591
PF06-40	40	30388.26582
PF06-42	73	36217.93163
PF06-43	64	20613.41485
PF06-44	53	13695.54437
PF06-44(5)	62	19941.98641
PF06-45(1)	18	48735.44206
PF06-45(2)	25	68690.39485
PF06-45(3)	28	94842.17138
PF06-45(4)	37	67000.96986
PF06-45(5)	27	10908.05199
PF07-02-1	29	92306.09822
PF07-02-2	21	50481.57988
PF07-03-1	25	11577.83918
PF07-03-3	18	6565.614772
PF07-05 (A)	42	10872.9901
PF07-05 (B)	40	84953.54333
PF07-07 (A)	40	85655.41788
PF07-08 (1913)	23	27123.10278
PF07-08 (Junio)	52	61249.47125
PF07-20 (A)	13	3266.356874
PF07-20 (B)	26	7657.504221





PF07-20 (C)	18	4732.555901
PF07-29 (A)	22	4980.598502
PF07-29 (A) med	19	15504.91844
PF07-42 (A)	27	87100.30244
PF07-42 (B)	27	10602.23354
PF07-42 (B)low	18	61052.60824
PF07-42 (C)	28	20481.41053
PF07-42 (D)	22	5190.723415
PF08-04 (A1)	29	13126.3629
PF08-04 (A2)	29	23597.34419
PF08-04 (A3)	25	16256.45978
PF08-04 (B1)	26	29025.8102
PF08-04 (B2)	38	31944.7863
PF08-05 (A)	16	6019.272424
PF08-05 (B1)	40	17283.35221
PF08-08 (A1)	26	7676.041791
PF08-08 (A2)	36	15541.4307
PF08-08 (B1)	45	9594.733621
PF08-08 (B2)	39	9566.476962

En la *Tabla AP.3* se muestra la cantidad de puntos analizados por muestra y la distancia total medida en cada uno.

**Tabla AP.3**

Tabla detallada de los *segmentos de cruce* determinados, las distancias totales acumuladas y los porcentajes relativos de los segmentos de cruce medidos con respecto a la totalidad de la muestra.

Muestra	Segmentos de cruce analizados	Distancia Total Medida en Segmentos (en cm)	%Total dentro del afloramiento
PF05-28	102	8745.32935	29.29
PF05-58	99	17636.5315	15.71
PF05-59	96	30431.01098	10.92
PF05-60	62	3226.527668	28.68
PF05-61	56	4094.783299	13.98
PF05-71	344	154796.0841	45.48
PF05-77	266	76388.42729	65.61
PF05-78	78	6520.267931	15.12
PF06-15	136	15819.22869	62.08
PF06-20	120	10664.70049	14.82
PF06-22	78	2928.944476	11.36
PF06-23	61	4212.874366	13.02
PF06-24	156	18165.62158	12.63
PF06-25	358	49427.34257	22.39
PF06-27	200	19217.56583	27.76
PF06-29	113	6532.739797	17.68
PF06-30	79	12755.52232	9.82
PF06-31	17	12755.52232	17.74
PF06-32	89	17202.27515	19.81
PF06-33	91	15274.06871	12.97
PF06-36	182	23197.90377	16.75
PF06-37	236	27034.16935	44.90
PF06-38	1386	126957.2195	24.63
PF06-40	871	78227.26624	25.74
PF06-42	756	89161.95849	24.72
PF06-43	366	38805.60564	18.83
PF06-44	135	27417.37947	20.02
PF06-44(5)	517	93478.94269	46.88



PF06-45(1)	342	15762.61107	32.34
PF06-45(2)	367	26234.5454	38.19
PF06-45(3)	445	47545.03051	50.13
PF06-45(4)	670	31983.50506	47.74
PF06-45(5)	463	38397.52046	35.20
PF07-02-1	325	35673.10435	38.65
PF07-02-2	375	16457.66966	32.60
PF07-03-1	183	26867.87362	23.21
PF07-03-3	149	16901.79989	25.78
PF07-05 (A)	586	30275.85718	27.99
PF07-05 (B)	583	23586.23185	27.76
PF07-07 (A)	366	15561.5774	18.17
PF07-08 (1913)	261	4610.28828	17.05
PF07-08 (Junio)	360	12185.08674	19.89
PF07-20 (A)	87	14663.10435	44.89
PF07-20 (B)	266	25282.96754	34.34
PF07-20 (C)	178	13949.13329	31.31
PF07-29 (A)	141	32818.69136	6.59
PF07-29 (A) med	556	106169.9393	68.48
PF07-42 (A)	211	25674.12896	29.54
PF07-42 (B)	312	37001.00745	34.90
PF07-42 (B)low	174	8470.092399	13.87
PF07-42 (C)	878	70763.69751	34.75
PF07-42 (D)	235	13094.43436	25.23
PF08-04 (A1)	394	39792.1337	30.34
PF08-04 (A2)	757	77670.30662	33.01
PF08-04 (A3)	165	29782.10505	18.32
PF08-04 (B1)	669	55450.86032	19.25
PF08-04 (B2)	669	55450.86032	17.49
PF08-05 (A)	239	24582.10796	45.95
PF08-05 (B1)	672	49223.96168	28.72
PF08-08 (A1)	479	33572.20644	43.74
PF08-08 (A2)	988	74144.68266	47.71
PF08-08 (B1)	596	35996.64802	37.52
PF08-08 (B2)	509	31738.41344	37.18

**Tabla AP.4**

Tabla de resultados con separación granulométrica "artificial" trabajada con la paquetería [Didger 3 ©](#).

Distancia real (cm)	Distancia en mm	Phi	Total Distancia en Phi	Porcentaje
4.410682685	44.10682685			
4.834489895	48.34489895	-5	129.9353209	<b>1.00%</b>
11.78477041	117.8477041			
12.32826654	123.2826654	-6	392.2500495	<b>3.02%</b>
19.5359508	195.359508			
21.68589073	216.8589073			
24.26160804	242.6160804			
25.42802945	254.2802945	-7	1506.381459	<b>11.59%</b>
27.62799475	276.2799475	-8	276.2799475	<b>2.13%</b>
	<b>Total Líneas</b>		<b>Total Medido</b>	
129959.2012	<b>12995.92012</b>	100%	<b>12755.52232</b>	<b>17.74%</b>

**Tabla AP.5**

Tabla de resultados finales del procesamiento en la fracción gruesa del análisis granulométrico

Phi	Porcentaje
-9	3.82
-8	6.08
-7	9.58
-6	13.25
-5	5.65
<b>Total</b>	<b>38.37</b>

**Tabla AP. 6**

Tabla de los principales tamices usados en la separación de las fracciones granulométricas. Además se muestra el equivalente de la malla en varias unidades

Número	Equivalente Tyler	Micrómetros/ Milímetros	Pulgadas
230	250	63	0.0025
120	115	125	0.0049
60	60	250	0.0098
35	32	500	0.0197
18	16	1 mm	0.0394
10	9	2 mm	0.0787
5	5	4 mm	0.157
5/16	2 1/2	8 mm	0.312
5/8	.624 plg	16 mm	0.625
1 1/4	Tyler (=No)	31.5 mm	1.25
2 1/2	Tyler (=No)	63 mm	2.5

**Tabla AP.7**

Cantidad de puntos analizados para el trabajo de componentes y fracciones granulométricas estudiadas.

Fracción Granulométrica	Rango de tamaños	Número de fragmentos contados
-6 $\phi$	64 a 128 mm	Todos los presentes
-5 $\phi$	32 a 64 mm	Todos los presentes
-4 $\phi$	16 a 32 mm	50 fragmentos o todos los presentes
-3 $\phi$	8 a 16 mm	100 fragmentos
-2 $\phi$	4 a 8 mm	150 fragmentos
-1 $\phi$	2 a 4 mm	200 fragmentos



**Tabla AP.8**

Muestras usadas en el estudio petrográfico. Se especifica la ubicación de cada una de las muestras y el posible componente que representa.

Muestra	Componente	Petrografía	Geoquímica	Localización
PF07-29 (A) low C6	Comp. 2	SI	NO	Barranca Montegrande
PF07-24 (B) C1	Comp. 1	SI	SI	Barranca Montegrande
Domo 2007 P40	Comp. 1	SI	SI	Domo actual del V de C
Domo 2007 P42	Comp. 1	SI	NO	Domo actual del V de C
Domo 2007 P41	Comp. 1	SI	NO	Domo actual del V de C
PF05-45 (3) C6	Comp. 1	SI	NO	Barranca Montegrande
PF07-24 (A) C4	Comp. 1	SI	SI	Barranca Montegrande
PF07-20 (B) C3	Comp. 2	SI	NO	Barranca La Arena
PF07-29 (A) low C3	Comp. 2	SI	SI	Barranca Montegrande
PF07-20 (A) C1-A	Comp. 1	SI	SI	Barranca La Arena
PF07-20 (A) C2	Comp. 2	SI	NO	Barranca La Arena
PF07-20 (A) C1-B	Comp. 2	SI	NO	Barranca La Arena
PF07-24 (B) C2	Comp. 2	SI	NO	Barranca Montegrande
PF07-29(A)* medC3	Comp. 2	SI	SI	Barranca Montegrande
PF06-45 (3) C8	Comp. 1	SI	SI	Barranca Montegrande
PF07-24 (A) C5	Comp. 2	SI	NO	Barranca Montegrande
PF06-45 (4) C3	Comp. 1	SI	SI	Barranca Montegrande
PF06-45 (1) C7	Comp. 1	SI	NO	Barranca Montegrande
PF07-24 (C) C4	Comp. 1	SI	NO	Barranca Montegrande
PF07-24 (C) C6	Comp. 1	SI	NO	Barranca Montegrande
PF06-45 (2) C6	Comp. 1	SI	NO	Barranca Montegrande
PF06-45 (2) C?	Comp. 1	SI	NO	Barranca Montegrande
PF07-20 (B) C2	Comp. 2	SI	SI	Barranca La Arena
PF06-45 (4) C2	Comp. 1	SI	SI	Barranca Montegrande
PF07-20 (B) C1	Comp. 1	SI	NO	Barranca La Arena
Domo 2002 Col001	Comp. 1	SI	SI	Domo prev. del V de C
Domo 2004 Col081	Comp. 1	SI	SI	Domo prev. del V de C
PF06-45 (1) C?	Comp. 1	SI	NO	Barranca Montegrande



## Apéndice 3 / Estratigrafía y Distribución de Facies

### AP.3.1/ Color

A pesar de que normalmente los colores de depósito más oscuros podrían indicar depósitos máficos (de composición basáltica a andesita basáltica), mientras que por otro lado, el polo félsico presentaría coloración más clara (andesita-dacita-riolita), este parámetro debe tratarse con especial cuidado al momento de la interpretación, debido a que cambios en la mineralogía, en el grado de la alteración y los procesos postdeposicionales (erosión, lluvia, contaminación por otros depósitos y vegetación) pueden afectar fuertemente el color del depósito. El color es importante describirlo como un medio de comparación entre las unidades, sin embargo, se debe tener especial cuidado al momento de hablar de composición química, condición que solamente puede ser determinada mediante un debido estudio petrográfico-geoquímico de las rocas y depósitos analizados.

*FP 2005:* la coloración normal del depósito (clastos y matriz) se presenta entre tonalidades gris claro a gris oscuro en condiciones normales. Algunos depósitos muestran variaciones a colores café claro-ocre, que pudieran significar contaminación o mezcla con los depósitos plinianos de 1913. Debido a la humedad captada por los depósitos durante la temporada de lluvias, la coloración suele modificarse demasiado, restándole validez al método.

### AP.3.2/ Rango de Estratificación

Tradicionalmente, se han descrito los flujos piroclásticos a manera de capas y subcapas, debido a su relativa estratificación paralela (Fisher y Schmincke, 1984). Bajo esta organización, las capas de una secuencia se distinguen de otras por su distinta estructura interna, textura o composición como *Unidades de Estratificación (Figura VI.1 A)*. Dos o más capas pueden ser definidas dentro de una Unidad de Estratificación si existe estratificación interna (laminación). Diferentes unidades se desarrollarán en respuesta a cambios en las condiciones eruptivas o durante la transportación (o inclusive, ambos procesos), por lo tanto, el agrupamiento tiene un significado genético de igual manera. Las Co-unidades son definidas con referencia a escalas espaciales-temporales más grandes, pueden incluir una o varias unidades.

*FP 2005:* para este caso se ha optado por usar una clasificación parecida a la anterior, pero tomando como mayor influencia los procesos de generación de los flujos. La agrupación más básica empleada en la presente tesis son los *Horizontes de Flujo*, que corresponden a pulsos puntuales durante el desarrollo de las explosiones. El contacto existente entre horizontes de flujo es normalmente muy difuso, por lo que usualmente el límite entre ellos es solamente una sutil



variación en la granulometría (gradación). El rango inmediato superior son las *Unidades de Flujo*; estas se pueden componer de varios o de un único horizonte de flujo. Las unidades de flujo normalmente están separadas entre sí por un contacto erosional o finamente marcado. Las unidades de flujo son la totalidad de pulsos (o el pulso) producido por un evento explosivo de corta duración, como cada uno de los eventos ocurridos en el Volcán de Colima y descritos en el capítulo anterior. Por último, al agrupamiento de todas las unidades de flujo expuestas en una región particular se le llamará *Afloramiento*. Las unidades de flujo exhibidas en cada afloramiento dependerán del nivel de erosión alcanzado en la zona de depositación. La equivalencia entre la nomenclatura usada en esta tesis y la propuesta por Fisher y Schmincke (1984) se puede comparar fácilmente en la *Figura VI.1 A*.

### AP.3.3/ Espesor

Representa la porción depositada después del paso del flujo piroclástico. Sus mecanismos de acumulación y depositación fueron discutidos en el Capítulo III (FBC). Según lo escrito anteriormente, el total del depósito puede formarse en un solo momento (emplazamiento en masa) o puede ser producto de una acumulación progresiva de material a medida de que el evento explosivo se desarrolla (emplazamiento por agregación). Cualquiera que sea el caso, el espesor depositado normalmente es menor a la altura máxima alcanzada por el flujo durante su recorrido. El espesor está muy controlado por:

1) características topográficas del terreno previas al paso del flujo 2) confinamiento de la Barranca o sitio de depósito 3) ancho del sitio de emplazamiento 4) cantidad de material – volumen- generado o removilizado durante el evento explosivo.

*FP 2005:* existen variaciones considerables en el espesor de estos flujos. No existe una correlación directa entre el espesor del depósito y la distancia desde la fuente (cráter activo del volcán). Los espesores están más controlados por variaciones locales en la topografía-relieve de la Barranca original o de las condiciones dejadas por el flujo piroclástico inmediatos previo. Los espesores promedio en Unidades de Flujo varían entre 0.5 m (Afloramiento PF07-29) y hasta 7.5 m (Afloramiento PF07-29).

### AP.3.4/ Estructura

Las características de estructura son muy útiles para la interpretación e identificación de campo de rocas piroclásticas. Esta es una de las características principales para establecer correctamente los límites entre horizontes de flujo y unidades de flujo (*Figura V.1 A – rangos de estratificación*). Cuando la estructura estudiada es una sola capa carente de ordenamiento o laminaciones visibles, se trata de una *estructura masiva*. Por otro lado, cuando el depósito



presenta varias capas, de estructura ordenada y cuya separación de otras capas es fácilmente reconocible, se dice que posee una *estructura estratificada*.

Dentro de los productos volcánicos, los FBC (Flujos Piroclásticos), algunas unidades de flujo en Lahares y depósitos de avalancha de escombros son ejemplos comunes de depósitos con estructura masiva, mientras que, unidades de flujo en oleadas piroclásticas, zonas de flujos hiperconcentrados y depósitos de caída pueden mostrar estructura estratificada.

*FP 2005:* la gran mayoría de los depósitos de flujo de bloques y ceniza descritos presentan estructura masiva muy clara, con variaciones internas de burda estratificación. Por otro lado, los depósitos de oleada presentan una estructura estratificada laminar simple predominante, con algunos pocos afloramientos que exhiben estratificación laminar-cruzada.

### **AP.3.5/ Compactación**

Se refiere al grado de aglutinación y resistencia a la destrucción que presentan las unidades de flujo como los FBC. Algunos de los factores que gobiernan la compactación y soldamiento en FBC es la temperatura de emplazamiento de los flujos piroclásticos, reología original de los bloques contenidos, contenido de volátiles, flujo de masa durante el emplazamiento, velocidad de enfriamiento, espesor del depósito, distribución del tamaño de partículas, permeabilidad y porosidad del depósito (Michol et al., 2008).

*FP 2005:* la gran mayoría de depósitos presentan un grado bajo de compactación, razón por la cual sufren continua erosión pluvial y eólica. Por ello, la preservación de los depósitos de FBC en el Volcán de Colima tienen periodos de vida cortos, principalmente por ser fácilmente removilizados dentro de las Barrancas y transportados por corrientes laháricas o fluviales.

### **AP.3.6/ Variaciones Verticales - Laterales**

Las variaciones verticales, desde el punto de vista de la deposición agradacional, son cambios que se presentan durante el emplazamiento del flujo piroclástico en un punto de deposición fijo y que en mucho, pueden representar variaciones provenientes de la fuente eruptiva durante la fase explosiva. Estas variaciones se pueden describir correctamente en cualquier afloramiento mediante la debida construcción de columnas estratigráficas.

Las variaciones laterales, proporcionan información de las modificaciones que sufre un flujo durante su recorrido, proceso principalmente controlado por cambios en las condiciones de transporte de la CDP. Para la comparación de las variaciones laterales es necesario hacer correlaciones entre eventos similares localizados a diferentes distancias de la fuente eruptiva.



*FP 2005:* existe una gran cantidad de variaciones verticales y laterales en los depósitos de FBC en el Volcán de Colima del 2005. Las variaciones verticales se deben principalmente a procesos de gradación, sin embargo, se presentan una gran cantidad de variaciones laterales que complican la correlación de una misma unidad de flujo pendiente abajo. Una discusión más amplia de este tema se encontrará en la sección VI. 2.

### **AP.3.7/ Contactos**

Las características que pueden presentar el contacto entre unidades de flujo dan idea de las posibles condiciones existentes y el lapso de tiempo, entre la depositación de un flujo y otro. Para la mayoría de los flujos piroclásticos depositados en un espacio corto de tiempo los contactos son paralelos no erosionales (paraconformidad) o paralelos erosionales (disconformidad).

*FP 2005:* los contactos paralelos no erosionales usados en la presente tesis para el análisis de los principales FBC del 2005 fueron:

- A) Contacto Intraunidad: son contactos que dividen horizontes de flujo. No se observan variaciones significativas entre capa y capa, son determinados solamente por la ocurrencia de varios pulsos (horizontes de flujo) dentro de una misma unidad de flujo. - *Figura V.1 D.*
- B) Contacto difuso: situado entre los límites de dos unidades de flujo. El contacto no es del todo claro y no hay cambio en el tamaño de partículas entre unidad y unidad.
- C) Contacto transicional: el contacto entre unidades de flujo es evidenciado por un marcado contraste en el tamaño granulométrico de las bloques y partículas, a pesar de que difícilmente se observe un contacto neto que marque diferencias- *Figura V.1 D.*

Por otro lado, en la otra división, el contacto paralelo erosional (disconformidad), es un contacto muy bien definido por secuencias finas de estratificación laminar paralela. En algunas ocasiones, justo en el contacto entre las unidades de flujo se presenta una fina secuencia milimétrica de posibles depósitos de oleada piroclástica preservados. El contraste granulométrico de la oleada, proporciona un marcador estratigráfico distintivo, pero que difícilmente se presenta en los afloramientos de FBC.

Entre las unidades de flujo en el *Volcán de Colima* es más común encontrar contactos paralelos no erosionales, debido a que el tiempo transcurrido entre el emplazamiento de una unidad y la siguiente es demasiado corto (días o semanas), lo cual impide el desarrollo de vegetación, suelo o inclusive la formación de horizontes finos de material removilizado. Aunque también es importante remarcar que el emplazamiento de una nueva unidad depositacional podría causar





erosión muy rápida. La simbología empleada para los contactos estratigráficos se muestra en la *Figura VI.1 D*.

### **AP.3.8/ Estructuras de Desgasificación**

Estas estructuras miden generalmente alrededor de 50 cm de largo por algunos pocos centímetros de ancho. Están caracterizadas por la ausencia de finos y el enriquecimiento en cristales y líticos. Las estructuras de desgasificación son muy comunes hacia la parte superior de las unidades de flujo, producto de una corriente de gas vertical a través de una matriz de ceniza en un flujo durante su emplazamiento. Sin embargo, en algunos depósitos se han encontrado estas estructuras en la base de las unidades de flujo, producto de factores externos, y consideradas, para este caso, como postdeposicionales.

*FP 2005:* son muy poco comunes en los depósitos de FBC en Colima. Se observó el desarrollo de incipientes estructuras en algunos depósitos poco después de su emplazamiento, pero que fueron erosionadas casi en totalidad después del primer temporal de lluvias. Es importante señalar que el incipiente escurrimiento de agua sobre los afloramientos débilmente compactados, puede formar finos canales empobrecidos en finos que pueden confundirse erróneamente con tubos de desgasificación. Esto nos lleva a considerar que las estructuras en el Volcán de Colima son productos de factores externos, consideradas para este caso como post-deposicionales.

### **AP.3.9/ Vegetación**

La presencia de vegetación normalmente es un útil marcador estratigráfico. El desarrollo de vegetación entre dos unidades de flujo puede significar un lapso significativo de tiempo entre el emplazamiento de un flujo a otro (considerado para volcanes localizados en zonas tropicales). De igual manera, el nivel de preservación de la vegetación después del paso de un flujo piroclástico es un método indirecto en la estimación de la temperatura de emplazamiento del flujo.

*FP 2005:* es común el desarrollo de vegetación entre los depósitos previos (1913 ó 1991) y los depósitos estudiados del 2005 en el Volcán de Colima. Entre las unidades de flujo depositadas durante el 2005 no existe desarrollo de vegetación debido al breve lapso de tiempo transcurrido entre la generación de estas. Se aunarà en el tema en la Sección VI.2 y VI.3.

### **AP.3.10/ Componentes Principales**

Estos son producto de muchos procesos relacionados a la erupción volcánica o inclusive, con un origen completamente ajeno a estas. El significado de su entendimiento reside en saber



cuales fueron las condiciones volcano-magmáticas iniciales y los procesos eruptivos para la generación de los depósitos estudiados. Los componentes pueden ser prístinos generados durante la propia erupción (juveniles), rocas previamente generadas o accesorias (flujos de lava antiguos, remanentes de domo, bordes cratéricos), líticos arrancados del conducto volcánico (enclaves comunes “cognate”) o por otro lado, rocas sin ninguna relación con la actividad volcánica (accidentales).

*FP 2005:* las variedades descritas para estos flujos son principalmente a nivel textural. Los componentes principales son detallados en el Capítulo VII.

### **AP.3.11/ Tamaño de las Partículas**

El tamaño absoluto de una partícula piroclástica individual es determinado por los procesos de explosividad y vesiculación, así como por el medio de transporte (gas, agua, viento) y distancia de transportación; mientras que la distribución está regida principalmente en la manera en que las partículas son transportadas y depositadas (Fisher y Schmincke, 1984).

*FP 2005:* los depósitos presentan un amplio rango de tamaños, sin embargo, casi siempre se observan dos tamaños de partículas dominantes, una en el rango de bloques y otro dentro de la matriz (comportamiento bimodal). La distribución granulométrica de cada uno de los depósitos estudiados es descrita en el capítulo de granulometría (Cap. VII). Para la presente tesis, se usa la escala granulométrica propuesta por Sarocchi (2006) ya que proporciona la clasificación de diferentes tamaños de partícula y respeta la nomenclatura para depósitos volcánicos propuesta por Sohn y Chough (1989) añadiendo algunos campos para hacer más específico la descripción del depósito (Figura VI.2).

### **AP.3.12/ Redondez**

La redondez de las partículas está en función de la composición de los granos, el tamaño de grano, tipo de proceso de transporte y la distancia de transporte (Boggs, 2001). A diferencias de los flujos sedimentarios (epiclásticos), los flujos piroclásticos presentan un factor extra a considerar: la temperatura de los fragmentos transportados. La Figura VI.1.C muestra los rangos de esfericidad y redondez propuesta por Powers (1953).

*FP 2005:* las partículas encontradas en los depósitos de FBC en Colima varían entre el rango de subangulares a muy angulares, de esfericidad moderada a alta en las partículas de menor tamaño (lapilli y ceniza) y esfericidad baja en las de mayor tamaño (bloques) Sarocchi (2006) – Tabla 3.1, pág. 24.



### AP.3.13/ Gradación

Son cambios verticales progresivos en el tamaño de partículas (gradación por tamaño) o en la densidad de los fragmentos (gradación por densidad) dentro de una capa. La *Figura VI.1 B* muestra los diversos tipos de gradación. La gradación normal es la disminución del tamaño de grano hacia la cima del depósito dentro de una capa simple. La gradación inversa es el incremento del tamaño de grano o la densidad hacia la cima del depósito, La gradación simétrica puede ir de inversa a normal o de normal a inversa (*Figura VI.1 B caso C y D*). Si existe una sola gradación dentro de la capa, se dice se tiene una gradación simple (*Figura VI.1 B caso A y B*), por otro lado, si hay más de una gradación en una misma capa se tiene una gradación múltiple (*Figura VI.1 B caso G y H*). La gradación por densidad involucra la presencia de elementos con densidad fuertemente contrastantes, como es el caso de fragmentos lávicos y pómez dentro de depósitos de caída (*Figura VI.1 B caso E y F*) (Fisher y Schmincke, 1984).

*FP 2005:* en los depósitos de FBC es común encontrar una Gradación Inversa predominante. No hay variaciones significativas entre la densidad de los diferentes clastos, por lo que se descarta una gradación por densidad. Algunas unidades de flujo presentan gradación inversa múltiple, la cual es marcadora en muchos casos de horizontes de flujo dentro de la unidad.



## Apéndice 4 / Parámetros Granulométricos

**Tabla AP.9**

Principales parámetros estadísticos sedimentológicos determinados mediante las fórmulas de *Folk y Ward (1957)*. Tabla y parámetros modificado de *Capra (2000)*.

Parámetro	Descripción y Significado
Mediana (Md)	Diámetro correspondiente al 50% de la curva cumulativa
Media (Mz)	Diámetro medio obtenido promediando toda la curva cumulativa. Tiene en cuenta toda la distribución granulométrica.
Desviación Stándard Selección – Clasificación ( $\sigma_I$ )	Mide el grado de dispersion o la bimodalidad. Considera el 90% de la curva cumulativa, por lo tanto, es más representativa que la Selección Central.
Selección Central ( $\sigma_G$ )	Selección calculada solamente en al porción central de la curva
Asimetría (Skewness) $Sk_I$	Mide la dirección de las colas de la curva cumulativa. Varía de +1 (abundancia en material fino) hasta -1 (abundancia material grueso). Calculada sobre el 90% de la curva
Asimetría Central ( $Sk_G$ )	Calculada solamente considerando la porción central de la curva
Kurtosis ( $K_G$ )	Mide la concavidad de la curva, indica el tipo de selección, entre más pobre la selección más plana es la curva ( $K_G < 1$ ). Para una distribución gaussiana $K_G$ es igual a 1.

Tanto la *media* como la *mediana* son medidas de tendencia central. Estas reflejan la energía cinética promedio del agente de transporte más la distribución de tamaño del sedimento disponible. La *moda* se refiere al punto medio del intervalo de clase más abundante. Si dentro de un histograma de granulometría se tiene solo una moda –unimodal-, la distribución se aproxima a una distribución normal gaussiana (campana gaussiana). Si se tienen dos clases predominantemente abundante, y por ende el desarrollo de dos campanas, se dice que la distribución granulométrica es bimodal. Cuando se tiene más de dos modas predominantes, se dice que la curva tiene un comportamiento polimodal.

La desviación estándar (*sorting*) muestra el grado de selección –clasificación- granulométrica. La selección es más baja en la medida que mayores intervalos estén involucrados en la distribución granulométrica. Esta es de suma importancia, ya que refleja el tipo de agente de transporte y es una buena medida del grado de fluidez o viscosidad. La *Tabla AP.10* muestra la escala de clasificación usada para depósitos vulcanoclásticos.

La asimetría (*skewness*) muestra si la distribución es simétrica o asimétrica con respecto a la moda y la media. Las asimetrías van desde positiva (+1.0), en la que se presenta una cola de partículas finas, la cual indica afinidad en partículas predominantemente gruesas, pasando por tendencia simétrica (0.0) y hasta asimetría negativa (-1.0), la cual desarrolla una marcada cola



de partículas gruesas y afinidad por los finos. La *Tabla AP.11* es la clasificación de los valores de asimetría identificado para depósitos sedimentarios.

La curtosis (*kurtosis*) es una medida comparativa entre la selección en el centro de distribución granulométrica y en los extremos o “colas”. La distribución leptocúrtica posee mejor selección en el centro que en las colas de distribución. En la distribución platicúrtica sucede exactamente el caso contrario. En la *Tabla AP.12* se representan los rangos principales de valores de curtosis y su significado.

**Tabla AP.10**

Escala de clasificación (sorting) usadas en vulcanología. Propuesta por *Cas y Wright (1987)*.

Clasificación / Selección	Depósitos Volcanoclásticos-Piroclásticos
0-1 Phi	Muy bien clasificado
1-2 Phi	Bien clasificado
2-4 Phi	Pobremente clasificado
>4 Phi	Muy pobremente clasificado

**Tabla AP.11**

Rango de valores para la asimetría granulométrica y su clasificación.

Valor	Clasificación
0.30 a 1.0	Muy asimétrica positiva
0.10 a 0.30	Asimétrica positiva
-0.10 a 0.10	Simétrica
-0.30 a -0.10	Asimétrica negativa
-1.00 a -0.30	Muy asimétrica negativa

**Tabla AP.12**

Clasificación de los distintos valores de curtosis, propuestos para rocas sedimentarias.

Valor	Clasificación
>3	Extremadamente leptocúrtica
1.5 a 3	Muy leptocúrtica
1.11 a 1.50	Leptocúrtica
0.90 a 1.11	Mesocúrtica
0.67 a 0.90	Platicúrtica
< 0.67	Muy platicúrtica



## Apéndice 5 / Análisis de Componentes

**Tabla AP.13**

Porcentajes de los principales componentes encontrados dentro de las unidades de flujo en la Barranca de Montegrande. Todas las unidades de flujo presentan 3 componentes distribuidos en varias clases granulométricas.

Muestra	-5		-4		-3		-2		-1	
<b>PF07-42(B)</b>	C1	C1	59.7	C1	74.9	C1	86.8	C1	83.3	
	C2	C2	40.3	C2	22.3	C2	10.7	C2	16.7	
	C3	C3	0	C3	2.8	C3	2.5	C3	0	
	Total	Total	100	Total	100	Total	100	Total	100	
<b>PF07-42(B)low</b>	C1	C1	72.34	C1	75.4	C1	78.7	C1	83.7	
	C2	C2	27.61	C2	23.6	C2	19.3	C2	16.3	
	C3	C3	0	C3	1.0	C3	2.0	C3	0	
	Total	Total	100	Total	100	Total	100	Total	100	
<b>PF07-42(D)</b>	C1	C1	75.2	C1	76.5	C1	82.0	C1	81.5	
	C2	C2	24.8	C2	20.0	C2	16.9	C2	15.6	
	C3	C3	0	C3	3.5	C3	1.1	C3	2.9	
	Total	Total	100	Total	100	Total	100	Total	100	
<b>PF06-45(2)</b>	C1	56.0	C1	72.3	C1	83.4	C1	87.4	C1	80.0
	C2	44.0	C2	24.8	C2	14.2	C2	10.8	C2	17.8
	C3		C3	2.9	C3	2.4	C3	1.8	C3	2.2
	Total	100	Total	100	Total	100	Total	100	Total	100
<b>PF06-45(3)</b>	C1	C1	73.6	C1	86.9	C1	84.6	C1	83.6	
	C2	C2	26.4	C2	13.1	C2	9.9	C2	12.5	
	C3	C3	0	C3	0	C3	5.5	C3	3.9	
	Total	Total	100	Total	100	Total	100	Total	100	
<b>PF06-45(4)</b>	C1	C1	75.3	C1	86.3	C1	87.8	C1	82.3	
	C2	C2	24.7	C2	13.7	C2	12.2	C2	14.8	
	C3	C3	0	C3	0	C3	0	C3	2.9	
	Total	Total	100	Total	100	Total	100	Total	100	
<b>PF08-08(B2)</b>	C1	100	C1	86.0	C1	91.0	C1	91.9	C1	76.1
	C2		C2	14.0	C2	6.8	C2	6.3	C2	22.9
	C3		C3	0	C3	2.2	C3	1.8	C3	1.0
	Total	100	Total	100	Total	100	Total	100	Total	100
<b>PF08-08(B1)</b>	C1	C1	75.2	C1	88.9	C1	88.5	C1	86.4	
	C2	C2	22.7	C2	9.9	C2	8.0	C2	9.1	



	C3	C3	2.1	C3	1.2	C3	3.5	C3	4.5	
	Total	Total	100	Total	100	Total	100	Total	100	
<b>PF08-08(A2)</b>	C1	C1	89.3	C1	90.1	C1	81.7	C1	80.9	
	C2	C2	10.7	C2	7.7	C2	12.9	C2	17.4	
	C3	C3	0	C3	2.2	C3	5.4	C3	1.7	
	Total	Total	100	Total	100	Total	100	Total	100	
<b>PF08-08(A1)</b>	C1	C1	83.0	C1	84.3	C1	91.5	C1	80.5	
	C2	C2	16.2	C2	11.6	C2	6.8	C2	18.1	
	C3	C3	0.8	C3	4.1	C3	1.7	C3	1.4	
	Total	Total	100	Total	100	Total	100	Total	100	
<b>PF08-04(B2)</b>	C1	100	C1	84.2	C1	92.0	C1	95.9	C1	92.6
	C2	0	C2	15.8	C2	8.0	C2	4.1	C2	7.4
	C3	0	C3	0	C3	0	C3	0	C3	0
	Total	100	Total	100	Total	100	Total	100	Total	100
<b>PF08-04(B1)</b>	C1		C1	88.2	C1	95.8	C1	97.3	C1	91.9
	C2		C2	11.8	C2	3.5	C2	2.7	C2	8.1
	C3		C3	0	C3	0.7	C3	0	C3	0
	Total		Total	100	Total	100	Total	100	Total	100
<b>PF08-04(A3)</b>	C1		C1	75.9	C1	93.1	C1	91.0	C1	86.2
	C2		C2	22.2	C2	6.0	C2	7.9	C2	10.5
	C3		C3	1.9	C3	0.9	C3	1.1	C3	3.3
	Total		Total	100	Total	100	Total	100	Total	100
<b>PF08-04(A2)</b>	C1		C1	83.0	C1	90.0	C1	85.3	C1	82.2
	C2		C2	17.0	C2	8.8	C2	12.9	C2	16.3
	C3		C3	0	C3	1.2	C3	1.8	C3	1.5
	Total		Total	100	Total	100	Total	100	Total	100
<b>PF08-04(A1)</b>	C1	100	C1	88.3	C1	94.8	C1	87.8	C1	84.0
	C2	0	C2	11.7	C2	3.9	C2	10.7	C2	15.5
	C3	0	C3	0	C3	1.3	C3	1.5	C3	0.5
	Total	100	Total	100	Total	100	Total	100	Total	100
<b>PF07-29(A) *high</b>	C1		C1	79.0	C1	68.2	C1	79.1	C1	76.5
	C2		C2	19.8	C2	28.7	C2	18.6	C2	21.5
	C3		C3	1.2	C3	3.1	C3	2.3	C3	2
	Total		Total	100	Total	100	Total	100	Total	100
<b>PF07-29(A) *med</b>	C1		C1	54.6	C1	71.0	C1	72.0	C1	71.9
	C2		C2	41.9	C2	26.9	C2	22.4	C2	26.4
	C3		C3	3.5	C3	2.1	C3	5.6	C3	1.7
	Total		Total	100	Total	100	Total	100	Total	100



<b>PF07-29(A)</b>	C1	C1	62.3	C1	57.5	C1	63.5	C1	68.6
	C2	C2	37.7	C2	41.6	C2	31.9	C2	24.6
	C3	C3	0	C3	0.9	C3	4.6	C3	6.8
	Total	Total	100	Total	100	Total	100	Total	100
<b>PF08-05(A)</b>	C1	C1	90.0	C1	88.8	C1	87.8	C1	86.2
	C2	C2	8.8	C2	7.9	C2	8.2	C2	10.0
	C3	C3	1.2	C3	3.3	C3	4.0	C3	3.8
	Total	Total	100	Total	100	Total	100	Total	100
<b>PF08-05(B1)</b>	C1	C1	90.2	C1	89.3	C1	87.3	C1	75.1
	C2	C2	6.8	C2	8.4	C2	9.5	C2	21.1
	C3	C3	3.0	C3	2.3	C3	3.2	C3	3.8
	Total	Total	100	Total	100	Total	100	Total	100

**Tabla AP.14**

Porcentajes de los principales componentes encontrados dentro de las unidades de flujo en la Barranca de La Arena. Todas las unidades de flujo presentan 3 componentes distribuidos en varias clases granulométricas.

Muestra	-5		-4		-3		-2		-1	
<b>PF07-02(C)</b>	C1	88.0	C1	83.5	C1	87.2	C1	89.6	C1	84.6
	C2	12.0	C2	16.5	C2	10.7	C2	9.4	C2	14.5
	C3	0	C3	0	C3	2.1	C3	1.0	C3	0.9
	Total	100	Total	100	Total	100	Total	100	Total	100
<b>PF07-02(A)</b>	C1	100	C1	85.0	C1	90.7	C1	81.9	C1	76.4
	C2	0	C2	15.0	C2	7.3	C2	13.2	C2	18.7
	C3	0	C3	0	C3	2.0	C3	4.9	C3	4.9
	Total	100	Total	100	Total	100	Total	100	Total	100
<b>PF07-03(B)</b>	C1	100	C1	88.5	C1	88.4	C1	74.5	C1	81.2
	C2	0	C2	11.5	C2	11.6	C2	23.5	C2	17.1
	C3	0	C3	0	C3	0	C3	2.0	C3	1.7
	Total	100	Total	100	Total	100	Total	100	Total	100
<b>PF07-03(A)</b>	C1	100	C1	75.7	C1	77.3	C1	82.7	C1	70.3
	C2	0	C2	22.6	C2	18.2	C2	14.6	C2	20.9
	C3	0	C3	1.7	C3	4.5	C3	2.7	C3	8.8
	Total	100	Total	100	Total	100	Total	100	Total	100
<b>PF07-05(B)</b>	C1	82.7	C1	84.4	C1	85.3	C1	90.3	C1	83.3
	C2	17.3	C2	15.6	C2	14.7	C2	7.9	C2	14.4
	C3	0	C3	0	C3	0	C3	1.8	C3	2.3
	Total	100	Total	100	Total	100	Total	100	Total	100





<b>PF07-05(A)</b>	C1	75.9	C1	63.0	C1	85.6	C1	82.2	C1	80.7
	C2	24.1	C2	37.0	C2	14.4	C2	16.9	C2	19.0
	C3	0	C3	0	C3	0	C3	0.9	C3	0.3
	Total	100	Total	100	Total	100	Total	100	Total	100
<b>PF07-20(A2)</b>	C1	76.5	C1	87.6	C1	95.4	C1	84.5	C1	79.2
	C2	23.5	C2	12.4	C2	4.0	C2	10.9	C2	8.9
	C3	0	C3	0	C3	0.6	C3	4.6	C3	11.9
	Total	100	Total	100	Total	100	Total	100	Total	100
<b>PF07-20(A1)</b>	C1	82.4	C1	56.9	C1	86.9	C1	62.2	C1	57.1
	C2	17.6	C2	43.1	C2	13.1	C2	31.8	C2	42.9
	C3	0	C3	0	C3	0	C3	6.0	C3	0
	Total	100	Total	100	Total	100	Total	100	Total	100
<b>PF07-07(A)</b>	C1	78.16	C1	83.3	C1	82.0	C1	82.6	C1	83.3
	C2	21.84	C2	16.7	C2	18.0	C2	17.0	C2	14.3
	C3	0	C3	0	C3	0	C3	0.4	C3	2.4
	Total	100	Total	100	Total	100	Total	100	Total	100
<b>PF07-08(B)</b>	C1	85.6	C1	92.6	C1	87.2	C1	82.9	C1	81.7
	C2	14.4	C2	7.4	C2	12.8	C2	13.5	C2	17.4
	C3	0	C3	0	C3	0	C3	3.6	C3	0.9
	Total	100	Total	100	Total	100	Total	100	Total	100
<b>PF07-08(A)</b>	C1	82.0	C1	57.9	C1	65.6	C1	89.1	C1	69.6
	C2		C2	0	C2	0	C2	0	C2	22.4
	C3	18.0	C3	42.1	C3	34.4	C3	10.9	C3	
	Total	100	Total	100	Total	100	Total	100	Total	



**Apéndice 6 / Análisis Petrográfico**

**Tabla AP.15:**

Tabla descriptiva de las muestras seleccionadas dentro de los diferentes depósitos de FBC en la Barranca de Montegrando y La Arena para el análisis petrográfico. Se usaron parámetros generales de caracterización y diferenciación entre las diferentes unidades.

<b>PF06-45(4) C3</b> Afloramiento PF06-45 / unidad de flujo 3	Plagioclasa, Piroxeno (Cpx=Opx), Oxidos de Fe-Ti	Marcadamente Porfídica, algunos cristales con textura de seda	Cristales= 35% Matriz= 55%	Plagioclasa= 75% Piroxeno= 20% Oxidos= 3% Accesorios= 2%	Nula= 0%	Andesita porfídica de Plagioclasa  <b>Componente 1= Juvenil</b>
PF06-45 / unidad de flujo 1	Opx), Oxidos de Fe-Ti	Levemente glomeroporfídica zonalmente	Matriz= 65%	Piroxeno= 20% Oxidos = 5%		<b>Componente 1= Juvenil</b>
<b>PF06-45(3) C6</b> Afloramiento PF06-45 / unidad de flujo 3	Plagioclasa, Piroxeno (Cpx≥Opx), Oxidos de Fe	Principal= Porfídica; levemente pilotaxítica (fluidal)	Cristales= 45-50% Matriz= 55-50%	Plagioclasa= 60% Piroxeno= 37% Oxidos= 3%	Nula= 0%	Andesita Porfídica de Pl  <b>Componente 1= Juvenil</b>
<b>PF07-24(C) C4</b> Afloramiento PF07-24 / unidad de flujo C	Plagioclasa, Piroxeno (Opx≥Cpx), Óxidos de Fe-Ti	Porfídica	Cristales= 50% Matriz= 50%	Plagioclasa= 85% Piroxeno= 13% Oxidos= 2%	Alta= 40%	Andesita Porfídica altamente vesiculada  <b>Componente 1= Juvenil</b>
<b>PF07-20(B) C1</b> Afloramiento PF07-20 / unidad de flujo B	Plagioclasa, Piroxeno (Cpx=Opx), Oxidos de Fe-Ti, Apatito, Anf (sec)	Porfídica (textura principal) y leves rasgos de textura pilotaxítica	Cristales= 35% Matriz= 65%	Plagioclasa= 85% Piroxeno= 12% Oxidos= 2% Anfibol (Secundario)= 0.5% Apatito= 0.5%	Baja a Moderada= 15%	Andesítica porfídica  <b>Componente 1= Juvenil</b>
<b>PF07-20(A) C1</b> Afloramiento PF07-20 / unidad de flujo A	Plagioclasa, Piroxeno (Opx≥Cpx), Oxidos de Fe-Ti	Porfídica	Cristales= 40% Matriz= 60%	Plagioclasa= 90% Piroxeno= 8% Oxidos= 2%	Muy baja= 2%	Andesita porfídica de Plagioclasa  <b>Componente 1= Juvenil</b>
<b>PF07-24(A) C4</b> Afloramiento PF07-24 / unidad de flujo A	Plagioclasa, Piroxeno (Cpx≥Opx) Ox de Fe,	Porfídica a zonas de posible glomeroporfídica	Cristales= 30% Matriz= 70%	Plagioclasa= 75% Piroxeno= 20% Oxidos= 5%	Baja= 5%	Andesita de Pl-Px  <b>Componente 1= Juvenil</b>
<b>PF07-24(B) C1</b> Afloramiento PF07-24 / unidad de flujo B	Plagioclasa, Piroxeno (Opx>Cpx), Oxidos de Fe-Ti, Apatito??	Porfídica simple, vesiculada	Cristales= 45% Matriz= 55%	Plagioclasa= 80% Piroxeno= 15% Oxidos= 4.5% Apatito?= 0.5%	Alta= 35%	Andesita Porfídica de Pl y Px  <b>Componente 1= Juvenil</b>



Continuación...

Muestra (Ubicación)	Mineralogía	Textura	Grado de Cristalinidad	Composición Porcentual	Vesicularidad	Clasificación y Observaciones
<b>PF06-45(3) C8</b> Afloramiento PF06-45 / unidad de flujo 3	Plagioclasa, Piroxeno (Opx> Cpx), Oxidos de Fe-Ti, Accesorios	Porfídica (ppal)	Cristales= 45% Matriz= 55%	Plagioclasa= 80%; Piroxeno= 12% Oxidos = 8%	Nula= 0%	Andesita Porfídica de Pl  <i>Componente 1= Juvenil</i>
<b>PF06-45(1) C?</b> Afloramiento PF06-45 / unidad de flujo 1	Plagioclasa, Piroxeno (Cpx>Opx), Oxidos de Fe	Porfídica con zonas de acumulados glomeroporfídicos y posibles enclaves	Cristales= 40% Matriz= 60%	Plagioclasa= 70% Piroxeno= 25% Oxidos= 5%	Baja= 10%	Andesita porfídica de plagioclasa y piroxeno  <i>Componente 1= Juvenil</i>
<b>PF06-45(2) C?</b> Afloramiento PF06-45 / unidad de flujo 2	Plagioclasa, Piroxeno (Opx>>Cpx), Oxidos de Fe-Ti	Marcadamente porfídica	Cristales= 30% Matriz=70%	Plagioclasa=90% Piroxeno= 5% Oxidos=5%	Muy baja=3%	Andesita Porfídica  <i>Componente 1= Juvenil</i>
<b>PF07-24(B) C3</b> Afloramiento PF07-29 / unidad de flujo B	Plagioclasa, Piroxeno (Opx>>Cpx), Oxidos de Fe-Ti, Anfibol alterado	Porfídica a levemente pilotaxítica	Cristales= 35% Matriz=65%	Plagioclasa= 85% Piroxeno= 10% Oxidos=4% Anfibol (secundario)= 1%	Muy baja= 1%	Andesita Porfídica de Plagioclasa con anfíbol reaccionado  <i>Componente 2= lava alterada/oxidada</i>
<b>PF07-29(A) low C3</b> Afloramiento PF07-29 / unidad de flujo A	Plagioclasa, Piroxeno (Opx>Cpx), Oxidos de Fe-Ti, Anfibol oxidado	Porfídica	Cristales=40% Matriz=60%	Plagioclasa= 75% Piroxeno=15% Oxidos= 10% (posibles relictos de Px y Anfíbol)	Baja= 8%	Andesita Porfídica de Pl-Px  <i>Componente 2= lava alterada/oxidada</i>
<b>PF07-29(A) medC3</b> Afloramiento PF07-29 / unidad de flujo A	Plagioclasa, Piroxeno (Opx>Cpx), Óxidos de Fe	Porfídica a levemente pilotaxítica. Sec= Pl textura sieve	Cristales= 45% Matriz= 55%	Plagioclasa= 80% Piroxeno=15% Oxidos=5%	Muy baja= 1%	Andesita Porfídica  <i>Componente 2= lava alterada/oxidada</i>
<b>PF07-20(B) C3</b> Afloramiento PF07-20/ unidad de flujo B	Plagioclasa, Piroxeno (Opx>Cpx), Oxidos de Fe-Ti	Porfídica a zonas pilotaxítica por acumulación de ejes mayores de Pl	Cristales=40% Matriz=60%	Plagioclasa= 70% Piroxeno=25% Oxidos=5%	Muy baja= 2%	Andesita Porfídica de Pl-Px  <i>Componente 2= lava alterada/oxidada</i>



Muestra (Ubicación)	Mineralogía	Textura	Grado de Cristalinidad	Composición Porcentual	Vesicularidad	Clasificación y Observaciones
<b>PF07-29(A) low C6</b> Afloramiento PF07-29 / unidad de flujo A	Plagioclasa, Piroxeno (Opx>Cpx), Oxidos de Fe-Ti	Porfídica con cristales de plagioclasa de textura sieve	Cristales= 45% Matriz= 55%	Plagioclasa= 73%; Piroxeno= 20% Oxidos = 7%	Baja= 5%	Andesita Porfídica  <b>Componente 2= lava moderadamente alterada</b>
<b>PF07-20(A) C1-B</b> Afloramiento PF07-20 / unidad de flujo A	Plagioclasa, Piroxeno (Cpx≥Opx), Oxidos de Fe y accesorios	Porfídica normal, con contenido importante de vesículas	Cristales= 30% Matriz=70%	Plagioclasa=70% Piroxeno=24.5% Oxidos= 5% Accesorios –pos hblendada oxidada= 0.5%	Baja a Moderada= 15%	Andesita Porfídica de Plagioclasa  <b>Componente 2= lava moderadamente alterada</b>
<b>PF07-29(A) med</b> Afloramiento PF07-29 / unidad de flujo A	Plagioclasa, Piroxeno (Cpx≥Opx), Oxidos de Fe	Porfídica y grandes fenocristales de plagioclasa con textura de sedaso	Cristales=40% Matriz=60%	Plagioclasa= 66% Piroxeno=30% Oxidos= 4%	Moderada=20 %	Andesita porfídica con matriz alterada  <b>Componente 2= lava moderadamente alterada</b>
<b>PF07-20(B) C2</b> Afloramiento PF07-20 / unidad de flujo B	Plagioclasa, Piroxeno (Cpx=Opx), Oxidos de Fe-Ti	Porfídica a débilmente pilotaxítica-afieltrada zonal	Cristales=25% Matriz=75 %	Plagioclasa=75% Piroxeno=15% Oxidos= 10%	Baja= 5%	Andesita Porfídica  <b>Componente 2= lava muy oxidada</b>
<b>PF07-24(C) C6</b> Afloramiento PF07-24 / unidad de flujo C	Plagioclasa, Piroxeno (Opx=Cpx), Oxidos de Fe	Porfídica claramente marcada de matriz vítrea (vitrofídica)	Cristales=30% Matriz= 70%	Plagioclasa=80% Piroxeno=15% Oxidos= 5%	Muy Baja= 3%	Andesita Porfídica de plagioclasa  <b>Componente 1= Juvenil</b>
<b>PF07-24(A) C5</b> Afloramiento PF07-24 / unidad de flujo A	Plagioclasa, Piroxeno (Cpx>Opx), Oxidos de Fe	Porfídica a posible vitrofídica	Cristales=30% Matriz=70%	Plagioclasa= 80% Piroxeno=10% Oxidos=10%	Muy baja= 2%	Andesita Porfídica de Pl-Px  <b>Componente 2= lava muy oxidada</b>
<b>PF07-24(B) C2</b> Afloramiento PF07-24 / unidad de flujo C	Plagioclasa, Piroxeno (Cpx>>Opx), Oxidos de Fe	Porfídica con zonas de plagioclasa de textura sieve	Cristales=35% Matriz=65%	Plagioclasa= 70% Piroxeno=20% Oxidos= 10%	Nula=0%	Andesita Porfídica de Pl  <b>Componente 2= lava muy oxidada</b>
<b>PF07-20(A) C2</b> Afloramiento PF07-20 / unidad de flujo A	Plagioclasa, Piroxeno (Cpx>Opx), Ox Fe-Ti, Apatito?	Porfídica a pequeñas zonas con textura glomeroporfídica	Cristales=40% Matriz=60%	Plagioclasa= 75% Piroxeno= 18% Oxidos= 7%	Alta= 30-35%	Andesita Porfídica de Pl con matriz moderadamente alterada  <b>Componente 4</b>

Tabla AP.16:



Tabla descriptiva del análisis petrográfico de diferentes muestras seleccionadas en domos generados entre el 2002 y 2007 (domo actual). Se usaron parámetros generales de caracterización y diferenciación entre los diferentes unidades.

Muestra (Ubicación)	Mineralogía	Textura	Grado de Cristalinidad	Composición Porcentual	Vesicularidad	Clasificación y Observaciones
<b>DOMO 2002</b> <b>001</b> Muestra del Domo 2002- Cráter del V. De Colima	Plagioclasa, Piroxeno (Cpx>>Opx), Oxidos regulares de Fe-Ti	Marcadamente porfídica con leve tendencia pilotaxítica, vitrofídica	Cristales= 35% Matriz= 65%	Plagioclasa= 75%; Piroxeno= 15% Oxidos = 10%	Baja= 4%	Andesita porfídica de plagioclasa  <b>Componente 1= Juvenil</b>
<b>DOMO 2004</b> <b>081</b> Muestra del Domo 2004- Cráter del V. De Colima	Plagioclasa, Piroxeno (Cpx>Opx), Oxidos de Fe-Ti, Anfibol Sec?	Porfídica con importante contenido de vesículas	Cristales= 30% Matriz=70%	Plagioclasa=75% Piroxeno=20% Oxidos= 4.5% Accesorios –pos hblend oxidada= 0.5%	Alta = 30%	Andesita porfídica vesiculada  <b>Componente 1= Juvenil</b>
<b>DOMO 2007</b> <b>P40</b> Muestra del Domo 2007- Cráter del V. De Colima	Plagioclasa, Piroxeno (Cpx=Opx), Oxidos de Fe-Ti, Anfibol oxidado	Marcadamente porfídica con gran contenido de vesículas	Cristales=40% Matriz=60%	Plagioclasa= 80% Piroxeno=15% Oxidos= 4% Anfibol oxidado= 1%	Alta= 35%	Andesita Porfídica de Pl-Px  <b>Componente 1= Juvenil</b>
<b>DOMO 2007</b> <b>P41</b> Muestra del Domo 2007- Cráter del V. De Colima	Plagioclasa, Piroxeno (Cpx>Opx), Oxidos de Fe	Porfídica (vitrofídica)	Cristales= 45% Matriz= 55%	Plagioclasa= 85% Piroxeno= 11% Oxidos=4%	Muy Baja=2%	Andesita Porfídica  <b>Componente 1= Juvenil</b>
<b>DOMO 2007</b> <b>P42</b> Muestra del Domo 2007- Cráter del V. De Colima	Plagioclasa, Piroxeno (Cpx>Opx), Oxidos de Fe-Ti	Porfídica	Cristales=40% Matriz= 60%	Plagioclasa=80% Piroxeno=15% Oxidos=5%	Baja=10%	Andesita Porfídica de Pl-Px  <b>Componente 1= Juvenil</b> <b>Componente 1= Juvenil</b>



**Apéndice 7 / Cálculo de Volúmenes**

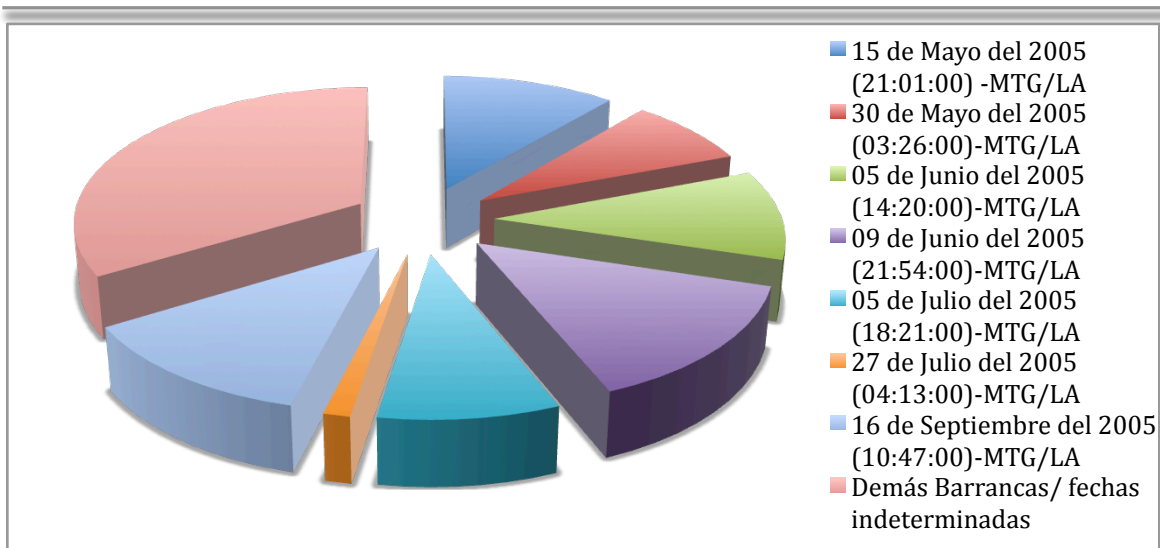
**Tabla y gráfica AP.16**

Principales eventos explosivos en el volcán de Colima durante el 2005 y los volúmenes generados en cada caso. Se anexa el volumen calculado para aquellas barrancas fuera de nuestra área de estudio. Estimación desarrollada en Arcgis con datos de campo.  
 MTG=Barranca Montegrande; LA= Barranca de la Arena

Explosión	Volumen Calculado (m <sup>3</sup> )
15 de Mayo del 2005 (21:01:00) -MTG/LA	320000
30 de Mayo del 2005 (03:26:00)-MTG/LA	229000
05 de Junio del 2005 (14:20:00)-MTG/LA	303000
09 de Junio del 2005 (21:54:00)-MTG/LA	404000
05 de Julio del 2005 (18:21:00)-MTG/LA	250000
27 de Julio del 2005 (04:13:00)-MTG/LA	37000
16 de Septiembre del 2005 (10:47:00)-MTG/LA	354000
Demás Barrancas/ fechas indeterminadas	967000

**VOLUMENES TOTALES TODAS**

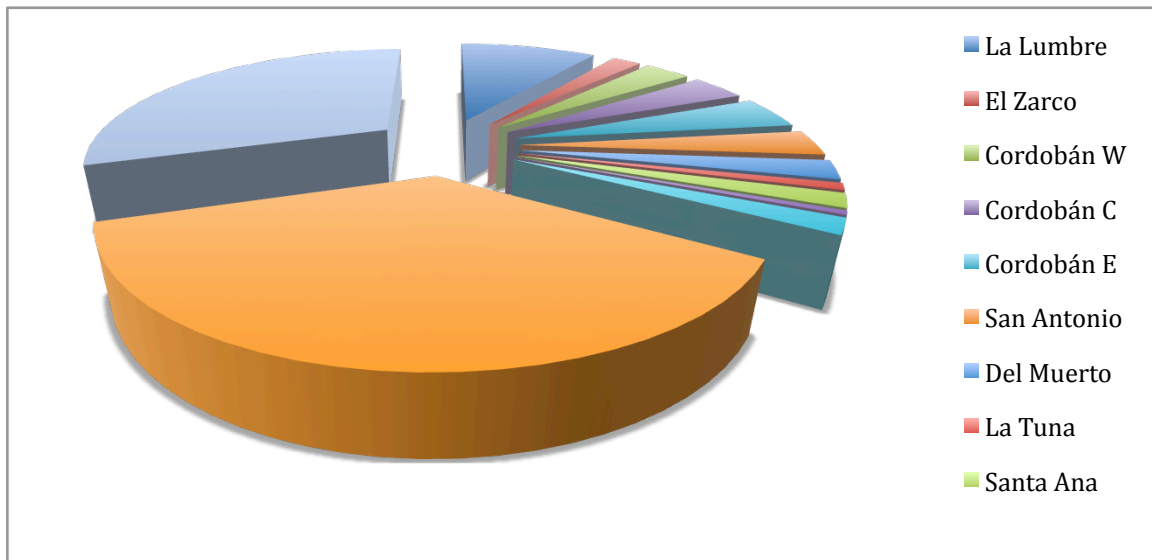
**2,864,000**



**Tabla y gráfica AP.17**

Principales volúmenes de los flujos piroclásticos generados por barrancas. Se observa un mayor volumen en Montegrande y La Arena que el resto de las barrancas.. Estimación desarrollada en ARCGIS con datos de campo.

Barranca	Volumen Calculado (m <sup>3</sup> )
La Lumbre	284000
El Zarco	57000
Cordobán W	90000
Cordobán C	104000
Cordobán E	123000
San Antonio	95000
Del Muerto	70000
La Tuna	24000
Santa Ana	49000
Beltrán	13000
Flanco N-Playón	55000
Montegrande	1038000
La Arena	862000
<b>VOLUMENES TOTALES DE BARRANCAS</b>	<b>2,864,000</b>
VOLUMEN (Oleada de nube de ceniza)	363000





---

## BIBLIOGRAFÍA

- Aguirre-Díaz, G.** (1996). Volcano stratigraphy of the Amealco caldera and vicinity, central Mexican Volcanic Belt. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas* 13: 10-51.
- **Aguirre-Díaz, G., Nelson, S., Ferrari, L., López, M.** (1997). Ignimbrites of the central Mexican Volcanic Belt, Amealco and Huichapan calderas (Querétaro-Hidalgo). *IAVCEI General Assembly excursion. Puerto Vallarta, México, Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología*. Excursión 1: 1-39.
- Alaniz-Álvarez, S. A., Nieto-Samaniego, A.F.** (2005). El Sistema de fallas Taxco-San Miguel de Allende y la Faja Volcánica Transmexicana, dos fronteras tectónicas del centro de México activas durante el Cenozoico. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana* 57(1): 63-80.
- Allan, J.** (1986). Geology of the Colima and Zacoalco grabens, SW México: late cenozoic rifting in the Mexican Volcanic Belt. *Geological Society of America* 97: 473-485.
- Arreola, J.M.** (1915). Catálogo de las erupciones antiguas del Volcán de Colima *Memorias de la Sociedad Antonio Alzate*, 32(443-481).
- Arias-Cabrera, R.** (2003). Análisis Petrográfico y Químico en Roca Total y Minerales de los Productos Emitidos en el Periodo eruptivo de 1998-2002 del Volcán de Colima, México. *Escuela Regional de Ciencias de la Tierra. Taxco El Viejo, Guerrero, Universidad Autónoma de Guerrero. Tesis para obtener grado de Ingeniero Geólogo*.
- Barcena, M.** (1887). Informe sobre el estado actual del Volcán de Colima. *Anales del Ministerio de Fomento de México*: 328-365.
- **BGVN, 2004.** *Bulletin of the Global Volcanism Network, Smithsonian Institution, Washington D.C.* Boletín Mensual 29:05 (Mayo, 2004)
- **BGVN, 2004w1.** *Bulletin of the Global Volcanism Network, Smithsonian Institution, Washington D.C.* Reporte semanal 06 al 12 de Octubre, 2004.
- **BGVN, 2004w2.** *Bulletin of the Global Volcanism Network, Smithsonian Institution, Washington D.C.* Reporte semanal 20 al 26 de Octubre, 2004.
- **BGVN, 2004w3.** *Bulletin of the Global Volcanism Network, Smithsonian Institution, Washington D.C.* Reporte semanal 03 al 09 de Noviembre, 2004.
- **BGVN, 2004w4.** *Bulletin of the Global Volcanism Network, Smithsonian Institution, Washington D.C.* Reporte semanal 17 al 23 de Noviembre, 2004.
- **BGVN, 2004w5.** *Bulletin of the Global Volcanism Network, Smithsonian Institution, Washington D.C.* Reporte semanal 20 al 26 de Octubre, 2004.
- **BGVN, 2005w6.** *Bulletin of the Global Volcanism Network, Smithsonian Institution, Washington D.C.* Reporte semanal 11 al 17 de Mayo, 2005.





- **BGVN, 2005w7.** *Bulletin of the Global Volcanism Network, Smithsonian Institution, Washington D.C.* Reporte semanal 25 al 31 de Mayo, 2005.
- **BGVN, 2005w8.** *Bulletin of the Global Volcanism Network, Smithsonian Institution, Washington D.C.* Reporte semanal 01 al 07 de Junio, 2005.
- **BGVN, 2005w9.** *Bulletin of the Global Volcanism Network, Smithsonian Institution, Washington D.C.* Reporte semanal 01 al 07 de Junio, 2005.
- **BGVN, 2005w10.** *Bulletin of the Global Volcanism Network, Smithsonian Institution, Washington D.C.* Reporte semanal 14 al 20 de Septiembre, 2005.
- **BGVN, 2005w11.** *Bulletin of the Global Volcanism Network, Smithsonian Institution, Washington D.C.* Reporte semanal 16 al 21 de Noviembre, 2005.
- **BGVN, 2005a.** *Bulletin of the Global Volcanism Network, Smithsonian Institution, Washington D.C.* Boletín Mensual 30:01 (Enero, 2005)
- **BGVN, 2005b.** *Bulletin of the Global Volcanism Network, Smithsonian Institution, Washington D.C.* Boletín Mensual 30:03 (Marzo, 2005)
- **BGVN, 2005c.** *Bulletin of the Global Volcanism Network, Smithsonian Institution, Washington D.C.* Boletín Mensual 30:06 (Junio, 2005)
- **BGVN, 2006.** *Bulletin of the Global Volcanism Network, Smithsonian Institution, Washington D.C.* Boletín Mensual 31:03 (Marzo, 2006)
- **Blair, T. C., McPherson, J.G.** (1999). Grain-size and textural classification of coarse sedimentary particles *Journal of Sedimentary Research* 69: 6-19.
- **Branney, M., Kokelaar, P.** (1992). A reappraisal of ignimbrite emplacement: progressive aggradation and changes from particulate to non-particulate flow during emplacement of high-grade ignimbrite. *Bulletin of Volcanology* 54: 504-520.
- **Branney, M., Kokelaar, P.** (2002). Pyroclastic density currents and the sedimentation of ignimbrites. *The Geological Society Memoir* No.27: 144 pp.
- **Bretón González, M., Ramírez, J.J, Navarro, Carlos.** (2002). Summary of the historical eruptive activity of Volcán De Colima, México 1519-2000. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 117: 21-46.
- **Boggs, S.** (2001). Principles of sedimentology and stratigraphy. New Jersey, *Prentice Hall. Primera Edición*, 1987.
- **Boudon, G., Camus, G., Gourgaud, A., Lajoie, J.** (1993). The 1984 nuée-ardente deposits of Merapi Volcano, Central Java, Indonesia: stratigraphy, textural characteristics, and transport mechanism. *Bulletin of Volcanology* 55: 327-342.
- **Burgisser, A., Bergantz, G.** (2002). Reconciling Pyroclastic Flow and Surge: the



Multiphase Physics of Pyroclastic Density Currents. *Earth and Planetary Science Letters* 2002(2): 405-418.

-**Capra, L.** (2000). Colapsos de Edificios Volcánicos: Transformación de Avalanchas de Escombros en Flujos de Escombros Cohesivos. Los casos de Monte Santa Elena (EEUU), Nevado de Toluca y Nevado de Colima (México). *Instituto de Geofísica-Posgrado en Ciencias de la Tierra. Ciudad de México, UNAM. PhD- Doctor en Ciencias de la Tierra (Sismología y Física del Interior de la Tierra): 177.*

-**Capra, L., Macias, J.L.** (2002). "The cohesive Naranjo debris-flow deposit (10 km<sup>3</sup>): A dam breakout flow derived from the Pleistocene debris-avalanche deposit of Nevado de Colima Volcano (México)." *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 117: 213-235.

-**Carrasco-Núñez, G.** (1999). "Holocene block-and-ash flows from summit dome activity of Citlaltépetl volcano, Eastern Mexico." *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 88: 47-66.

-**Cas, R. A. F., Wright, J.V.** (1987). *Volcanic Successions. Modern and Ancient*, London. Allen & Unwin.

-**Charbonnier, S. J., R. Gertisser, R.** (2008). Field observations and surface characteristic of pristine block-and-ash flow deposits from the 2006 eruption of Merapi Volcano, Java, Indonesia. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 177: 971-982.

-**Cole, P. D., Calder, E.S., Druitt, T.H., Hoblitt, R., Robertson, R., Sparks, R.S.J.** (1998). Pyroclastic flows generated by gravitational instability of the 1996-97 lava dome of Soufriere Hills Volcano, Montserrat. *Geophysical Research Letters* 25(18): 3425-3428.

-**Cole, P. D., Calder, E.S., R., Sparks, R.S., Clarke, A.B., Druitt, T.H., Young, S.R., Herd, R.A., Harford, C., Norton, G.** (2002). Deposits from dome-collapse and fountain-collapse flows at Soufriere Hills, Volcano, Montserrat. *The Eruption of Soufrière Hills Volcano, Montserrat, From 1995 to 1999, Geological Society of London Memoirs* 21: 231-262.

-**Cole, P. D.** (2005). "Explosive activity and generation mechanisms of pyroclastic flows at Arenal volcano, Costa Rica between 1987 and 2001." *Bulletin of Volcanology* 67: 695-716.

-**Cortés, A., Garduño, V.H., Navarro-Ochoa, C., Komorowski, J.C., Saucedo, R., Macias, J.L., Gavilanes, J.C.** (2005). Carta Geológica del Complejo Volcánico de Colima con Geología del Complejo Volcánico de Colima. *UNAM-Instituto de Geología-Cartas Geológicas y Mineras*, 10 1-37.

-**Davila, N., Capra, L., Gavilanes-Ruiz, J.C., Varley, N., Norini, G., Gómez, A.,** (2007). Recent lahars at Volcán de Colima (Mexico): Drainage variation and spectral classification. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 165: 127-141.

- **De La Cruz, S.,** (1993). Random patterns of occurrence of explosive eruptions at Volcan de Colima, Mexico. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 55: 51-68.



- **Demant, A.** (1978). Características del Eje Neovolcánico Transmexicano y sus problemas de interpretación. *Revista del Instituto de Geología* 2: 172-187.
- DdeC, 2005a.** *Diario de Colima*. Periódico de Circulación Estatal. Edición del Viernes 11-Marzo-2005. Año 52, No. 17,124 Colima, Col.
- DdeC, 2005b.** *Diario de Colima*. Periódico de Circulación Estatal. Edición del Miércoles 11-Mayo-2005. Año 52, No. 17,181 Colima, Col.
- DdeC, 2005c.** *Diario de Colima*. Periódico de Circulación Estatal. Edición del Miércoles 01-Junio-2005. Año 52, No. 17,203 Colima, Col.
- DdeC, 2005d.** *Diario de Colima*. Periódico de Circulación Estatal. Edición del Lunes 06-Junio-2005. Año 52, No. 17,208 Colima, Col.
- DdeC, 2005e.** *Diario de Colima*. Periódico de Circulación Estatal. Edición del Sábado 17-Septiembre-2005. Año 52, No. 17,311 Colima, Col.
- DECOLOG.** [www.decolog.org](http://www.decolog.org). Dr. Lorenzo Borselli y Damiano Sarocchi. Software Especializado en Distribuciones Granulométricas. Versión 2.0 (2004-2006)
- DIDGER** <http://www.goldensoftware.com/products/didger/didger.shtml> Golden Software. EUA. Versión 3.0
- Drake, T. G.** (1990). Structural Features in Granular Flows. *Journal of Geophysical Research* 95: 8681-8696.
- Europe Technologies** (2009). Tele Atlas. *Modelo de elevación de la plataforma Google Earth*
- Ferriz, H.** (1985). Zoneamiento composicional y mineralógico de los productos eruptivos del centro volcánico de Los Humeros, Puebla, México. *Geofísica Internacional* 24: 97-157.
- Ferriz, H., Mahood, G.** (1986). "Volcanismo riolítico en el Eje Neovolcánico Mexicano." *Geofísica Internacional* 25: 117-156.
- Fisher, R. V.** (1961). Proposed classification of volcanoclastic sediments and rocks. *Bulletin of the Geological Society of America* 72(9): 1409-1414.
- Fisher, R. V.** (1964). Maximum size, mean diameter, and sorting of tephra. *Journal of Geophysical Research* 69: 341-355.
- Fisher, R., Heiken, G.** (1982). Mt. Pelée, Martinique: May 8 and 20 pyroclastic flows and surges. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 13: 339-371.
- Fisher, R. V., Schmincke, H.U.** (1984). *Pyroclastic Rocks*. Berlin, Springer.
- Folk, R. L., Ward, W.C.** (1957). Brazos river bar: a study of significant of grain size parameters. *Journal of Sedimentary Petrology* 27: 3-26.



- Francis, P. (1993). *Volcanoes. A planetary Perspective*. Nueva York, Oxford University Press Inc.
- Folk, R. L. (1974). *Petrology of Sedimentary Rocks*. Austin, Texas, Hemphill Publishing Company.
- Fujii, T., Nakada, S. (1999). The 15 September 1991 pyroclastic flow at Unzen volcano (Japan): a flow model for associated ash-cloud surge. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 89: 159-172.
- Galindo, I., Gavilanes, J.C., Cervantes, L., López, J.P., Bricio, E. y Zuarzo N. (2006). Real-time remote sensing monitoring of lava flows of Volcán de Colima (México), 1996-2005. *EGU 2006 General Assembly. Vienna, Austria*.
- Garduño, V. H., Saucedo, R., Jiménez, S., Gavilanes, J.C., Cortés, A., Uribe, R.M. (1998). La falla Tamazula, límite suroriental del bloque Jalisco, y sus relaciones con el Complejo Volcánico de Colima, México *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas* 15: 132-144.
- Gómez, C., Lavigne, F., Lespinasse, N., Hadmoko, D.S., Wassmer, P. (2008). Longitudinal structure of pyroclastic-flow deposits, revealed by GPS survey, at Merapi Volcano, Java, Indonesia. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 176: 439-447.
- Gomez-Tuena, A., Orozco-Esquivel, M.T., Ferrari, L. (2005). Petrogénesis ígnea de la Faja Volcánica Transmexicana. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana Volumen Conmemorativo de la Sociedad Geológica Mexicana (Tomo LVII, No 3): 227-283*.
- INEGI (2000) Censo General de Población y Vivienda. *Página de consulta de internet: <http://www.inegi.org.mx/est/contenidos/Proyectos/ccpv/cpv2000/default.aspx>*
- INEGI (2005) Topografía base LIDAR (usada para la creación de modelos de elevación). *Imágenes procesadas por la Dra. Lucía Capra y N. Dávila*
- Irvine, T. N., Baragar, W.R.A., (1971). A guide to the chemical classification of the common volcanic rocks. *Canadian Journal of Earth Sciences* 8: 523-548.
- Kerber, E. (1882). Eine Besteigung des tatigen Vulkans von Colima. *Aus allen Welttheilen* 14: 33-39.
- Komorowski, J. C., Siebe, C., Cortés, A., Navarro, C., Rodríguez-Elizarrarás, S., Galindo, I. (1993). Diversity of the pyroclastic processes and deposits from Volcán de Colima, México, a typical subduction zone tropical volcano-some research sigues and aspects of a multidisciplinary approach to risk assesment *INGEOMINAS Resumen- Taller Internacional sobre el Complejo Volcánico Galeras, Pasto, Colombia*.
- Komorowski, J. C., Navarro, C., Cortés, A., Saucedo, R., Gavilanes, J.C., Siebe, C., Espíndola, J.M., Rodríguez-Elizarrarás, S. (1997). The Colima volcanic complex: Part I: Quaternary multiple debris-avalanche deposits; Part II: Historical pyroclastic sequencies



(1913,1991,1994). *International Association of Volcanology and Chemistry of the Earth's Interior, General Assembly, 1997/ Field Trip Guidebook No.3(Special Publication): 37*

-**Lacroix, A.** (1904). *La Montagne Pelée et ses éruptions. Massons et Cie, Paris: 622.*

-**Le Bas, M. J. Le Maitre, R.W., Streckeisen, A., Zanettin, B** (1986). A chemical classification of volcanic rocks based on the total alkali-silica diagram. *Journal of Petrology* 27: 745-750.

-**Lirer, L., Vinci, A.** (1991). Grain-size distribution of pyroclastic deposits. *Sedimentology* 38: 1075-1083.

-**Lirer, L., Pescatore, T.** (1968). Studio sedimentologico delle piroclastiti del Soma-Vesubio. *Associazione Scientifica di Fisica e Matematica VII: 139-185.*

-**Lube, G., Cronin, S., Platz, T., Freundt, A., Procter, J., Henderson, C., Sheridan, M.** (2007). Flow and deposition of pyroclastic granular flows: a type example from the 1975 Ngauruhoe eruption, New Zealand. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 161: 165-186.

-**Luhr, J., Carmichael, I.S.E** (1980). The Colima Volcanic Complex, Mexico I. Post-caldera andesites from Volcán de Colima. *Contributions to Mineralogy and Petrology* 71: 343-372.

-**Luhr, J.F., Carmichael, I.S.E.** (1981). The Colima Volcanic Complex, México: Part II. Late-Quaternary Cinder Cones. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 76: 127-147.

-**Luhr, J. F., Carmichael, I.S.E.** (1990). Geology of Volcán de Colima. *Boletín del Instituto de Geología de la UNAM* 107.

- **Luhr, J.F.** (1993). Petrology and geochemistry of Stage-I andesite and dacites from the caldera wall of Volcán Colima, México. *Geofísica Internacional*, 32(4): 591-603.

- **Luhr, J.F.** (2002). Petrology and geochemistry of the 1991 and 1998-1999 lava flows from Volcán de Colima, México: implications for the end of the current eruptive cycle. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 117: 169-194.

-**Luhr, J., Navarro, C.** (2002). Guía de excursión al volcán Nevado de Colima. *Octava Reunión Internacional Volcán de Colima*, Enero 2002: 50 p.

-**Macías, J.L., Capaccioni, B., Conticelli, S., Giannini, L., Martini, M., Rodríguez, S.,** (1993). Volatile elements in alkaline and calc-alkaline rocks from the Colima graben, Mexico: Constraints on their genesis and evolution. *Geofísica Internacional*, 32(4): 575-589.

-**Macías, J.L., Saucedo, R., Gavilanes, J.C., Varley, N., Velasco, S., Bursik, M., Vargas-Gutiérrez, V.R., Cortés, A.,** (2006). Flujos piroclásticos asociados a la actividad explosiva del Volcán de Colima y perspectivas futuras. *GEOS*, 25(3): 340-351.

- **Mahood, G., Halliday, A.** (1981). A summary of the geology and petrology of the Sierra



- La Primavera, Jalisco, México. *Journal of Geophysical Research* 86: 10137-10152.
- Medina-Martínez, F.**, (1983). Analysis of the Eruptive History of the Volcán de Colima, México (1560-1980). *Geofísica Internacional*, 22(2): 157-178.
- Michol, K. A., Russell, J.K., Andrews, G.D.M.** (2008). Welded Block and Ash Flow deposits from Mount Meager, British Columbia, Canada. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 169: 121-144.
- Mora, J.C., Macias, J.L., Saucedo, R., Orlando, A., Manetti, P., O. Vaselli,** (2002). Petrology of the 1998-2000 products of Volcán de Colima. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 117: 195-212.
- Moore, J. G., Melson, W.G.** (1969). Nueés Ardentes of the 1968 Eruption of Mayon Volcano, Filipinas. *Bulletin of Volcanology* 33: 600-620.
- Mooser, F.** (1961). Los volcanes de Colima. Universidad Nacional Autónoma de México-*Instituto de Geología Boletín* 61: 49-71.
- Nair, I. A. y S., S.** (1978). Explosive eruptions and pyroclastic avalanches from Ngauruhoe in February 1975. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 3: 39-60.
- Nakada, S., Fujii, T.** (1993). Preliminary report on the activity at Unzen Volcano (Japan) November 1990-November 1991: Dacite lava domes and pyroclastic flows. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 54: 319-333.
- Navarro, C., Gavilanes-Ruiz, J.C., Cortés-Cortés, A.** (2002). Movement and emplacement of lava flows at Volcán de Colima, México: November 1998-February 1999. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 117: 155-167.
- Navarro, C.** (2009). "Domos de lava en la cima del Volcán de Colima, una comparación de sus tasas de emisión y volumen en los últimos 50 años". *XI Reunión Internacional Volcán de Colima*. Colima, Colima, México. Universidad de Colima.
- Newhall, C.** (1996). "IAVCEI/International Council of Scientific Unions' Decade Volcano Projects: Reducing Volcanic Disaster". *Status Report, United States Geological Survey, Washington, D.C.*
- Orozco, M. N.** (1888). Seismología. Efemérides seísmicas mexicanas. *Memorias de la Sociedad Antonio Alzate*: 303-541.
- Pantoja-Alor, J., Estrada-Barraza, S.** (1986). Estratigrafía de los alrededores de la mina de hierro El Encino, Jalisco. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana* 47: 1-15.
- **Pardo, M., Suárez, G.** (1993). Steep subduction geometry of the Rivera plate beneath the Jalisco block in Western México. *Geophysical Research Letters* 20: 12357-12373.
- Pasquaré, G., Ferrari, L., Garduño, V., Tibaldi, A., Vezzoli, L.** (1991). Geology of the central sector of the Mexican Volcanic Belt, states of Guanajuato and Michoacan. *Geological Society of America Map and Chart Series MCH072*: 22.



- Puga, G. B.** (1889). La última erupción del volcán de Colima. *Memorias de la Sociedad Antonio Alzate* **3**: 97-102.
- Powers, M. C.** (1953). A new roundness scale for sedimentary particles. *Journal of Sedimentary Petrology* **23**: 117-119.
- Rendón, V.**, (2008). Apuntes de Clase de Hidráulica. *Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa*. Perú.
- **Robin, C.** (1982). Mexico. *Andesites*. R. S. Thorpe. Mexico: 137-147.
- Robin, C., Mossand, P., Camus, G., Cantagrel, J.M., Gourgaud, A** (1987). Eruptive history of the Colima Volcanic Complex (México). *Journal of Volcanology and Geothermal Research* **31**: 99-113.
- Robin, C., Camus, G., Gourgaud, A.**, (1991). Eruptive and magmatic cycles at Fuego de Colima volcano (Mexico). *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, **45**: 209-225.
- Robin, C., Potrel, A.**, (1993). Multi-stage magma mixing in the pre-caldera series of Fuego de Colima volcano. *Geofísica Internacional*, **32**(4): 605-615.
- Rodriguez-Elizarrarás, S.R., Siebe, C., Komorowski, J.C., Espindola, J.M., Saucedo, R.**, (1991). Field observations of pristine block-and ash-flow deposits emplaced April 16-17, 1991 at Volcán de Colima, Mexico. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, **48**: 399-412.
- Rodriguez-Elizarrarás, S. R.** (1995). Estratigrafía y Estructura del Volcán de Colima, México. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas* **12**(1): 22-46.
- Rose, W. I.** (1972). Santiaguito Volcanic Dome, Guatemala. *Geological Society of America Bulletin* **83**: 1413-1434.
- Rosival, A.** (1898). Uber geometrische Gesteinsanalysen usw: Verhandl. *Geol. Reichsanst* **5**: 143-175.
- Sarocchi, D.**, (2005). Construcción de perfiles granulométricos de depósitos piroclásticos por métodos ópticos. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, **22**: 371-382.
- Sarocchi, D.**, (2006). Análisis Textural del Depósito de Flujo de Bloques y Ceniza del 17 de Julio de 1999 en el Volcán de Colima, UNAM, *Tesis Doctoral*, México, DF, 222 pp.
- Saucedo, R.** ,(1997). Reconstrucción de la Erupción de 1913 del Volcán de Colima. Instituto de Geofísica- *Posgrado en Ciencias de la Tierra. México, DF, UNAM*. Master. 185.
- Saucedo, R.**, (2001). Erupciones de 1991 y 1998-1999 del Volcán de Colima: mecanismos de transporte y depositación de los flujos piroclásticos de Bloques y Ceniza, *UNAM, Tesis Doctoral*, México, DF, 132 pp.



- Saucedo, R., Macías, J.L., Bursik, M.**, (2004). Pyroclastic flow deposits of the 1991 eruption of Volcán de Colima, México. *Bulletin of Volcanology*, 66: 291-306.
- Saucedo, R., Macías, J.L.**, (2005). Modeling of pyroclastic flows of Colima Volcano, Mexico: implications for hazard assessment. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 139: 103-115.
- Saucedo, R., Macías, J.L., Sarocchi, D., Bursik, M., Rupp, B.**, (2008). The rain-triggered Atenquique volcaniclastic debris flows of October 16, 1955 at Nevado de Colima, Mexico. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 173: 69-83.
- Sato, H., Fujii, T., Nakada, S.** (1992). Crumbling of dacite dome lava and generation of pyroclastic flows at Unzen volcano. *Nature* 360: 664-666.
- Savov, I., Luhr, J., Navarro-Ochoa, C.**, (2008). Petrology and geochemistry of lava and ash erupted from Volcán Colima, Mexico, during 1998-2005. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 174.
- Schwarzkopf, L. M., Schmincke, H.U., Cronin, S.J.** (2005). A conceptual model for block-and-ash flow basal avalanche transport and deposition based on deposits architecture of 1998 and 1994 Merapi flows. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 139: 117-134.
- Schmid, R.** (1981). Descriptive nomenclature and classification of pyroclastic deposits and fragments: Recommendations of the IUGS Subcommission on the Systematics of Igneous Rocks. *Geology* 9: 37-40.
- Stevenson, J.A., Varley, N.**, (2008). Fumarole monitoring with a handheld infrared camera: Volcán de Colima, México, 2006-2007. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 177: 911-924.
- Stith, J., Hobbs, P., Radke, L.** (1977). Observations of Nueé Ardente from the St. Augustine Volcano. *Geophysical Research Letters* 4(7): 259-262.
- Smith, A. L., Roobol, M.J.** (1990). Mt. Pelée, Martinique: A study of an Active Island Arc Volcano, *Geological Society of America*.
- Sohn, Y. K., Cough, S.K.** (1989). Depositional processes of the Suwolbong tuff ring, Cheju Island (Korea). *Sedimentology* 36: 837-855.
- Sparks, R. S. J.** (1973). Products of Ignimbrite Eruptions *Geology*: 115-118.
- Sparks, R. S. J., Gardeweg, M.C., Calder, E.S., Matthews, S.J.** (1997). Erosion by pyroclastic flows on Lascar volcano, Chile. *Bulletin of Volcanology* 58: 557-565.
- Stoopes, G. R., Sheridan, M.F.** (1992). Giant debris avalanches from the Colima Volcanic Complex, México- implications for long-runout landslides (<100 km) and hazard assesment. *Geology* 20: 299-302.
- Sulpizio, R., Mele, D., Dellino, P., LaVolpe, L.** (2007). Deposits and physical properties





of pyroclastics density currents during complex Subplinian eruptions: the AD 472 (Pollena) eruption of Somma-Vesuvius, Italy. *Sedimentology* 54: 607-635.

-**Sulpizio, R., De Rosa, R., Donato, P.** (2008). The influence of variable topography on the depositional behaviour of pyroclastic density currents: The example of the Upper Pollara eruption (Salina Island, southern Italy). *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 175: 367-385.

-**Takahashi, T.** (1978). Mechanical characteristics of debris flows. *Journal of Hydraulics Division, American Society of Civil Engineers* 106: 1153-1169

-**Tello, F. A.** (1651). Libro segundo de la Crónica Miscelania en que se trata de la conquista espiritual y temporal de la Santa Provincia de Xalisco en el Nuevo Reino de Galicia y Nueva Vizcaína y Descubrimiento del Nuevo México. Guadalajara, México. *Imprenta de la República Literaria*.

-**Thorpe, R. S., Gibson, I., Vizcaino, J.** (1977). Andesitic pyroclastic flows from Colima Volcano. *Nature* 265: 724-725.

-**Urrutia-Fucugauchi, J., Böhnel, H.** (1987). Tectonic Interpretation of the Transmexican Volcanic Belt. *Tectonophysics* 138: 319-323.

- **VAAC, 2005a.** Volcano Ash Advisory Center. *NOOA Satellite and Information Center*. Washington, EUA. Reporte 2005/098. (12-Feb-05) Satélite: GOES 12. Modelo de Vientos: Observatorio Vulcanológico de la Universidad de Colima

- **VAAC, 2005b.** Volcano Ash Advisory Center. *NOOA Satellite and Information Center*. Washington, EUA. Reporte 2005/126 (10-Mar-05) Satélite: GOES 12. Modelo de Vientos: Observatorio Vulcanológico de la Universidad de Colima.

- **VAAC, 2005c.** Volcano Ash Advisory Center. *NOOA Satellite and Information Center*. Washington, EUA. Reporte 2005/135. (13-Mar-05) Satélite: GOES 12. Modelo de Vientos: Observatorio Vulcanológico de la Universidad de Colima.

- **VAAC, 2005d.** Volcano Ash Advisory Center. *NOOA Satellite and Information Center*. Washington, EUA. Reporte 2005/254. (10-May-05) Satélite: GOES 12. Modelo de Vientos: Observatorio Vulcanológico de la Universidad de Colima.

- **VAAC, 2005e.** Volcano Ash Advisory Center. *NOOA Satellite and Information Center*. Washington, EUA. Reporte 2005/257,258,259. (15-May-05) Satélite: GOES 12. Modelo de Vientos: Observatorio Vulcanológico de la Universidad de Colima.

- **VAAC, 2005f.** Volcano Ash Advisory Center. *NOOA Satellite and Information Center*. Washington, EUA. Reporte 2005/262,263,264. (24-May-05) Satélite: GOES 12. Modelo de Vientos: Observatorio Vulcanológico de la Universidad de Colima.

- **VAAC, 2005g.** Volcano Ash Advisory Center. *NOOA Satellite and Information Center*. Washington, EUA. Reporte 2005/274,275,276. (30-May-05) Satélite: GOES 12. Modelo de Vientos: Observatorio Vulcanológico de la Universidad de Colima.



- **VAAC, 2005h.** Volcano Ash Advisory Center. *NOOA Satellite and Information Center.* Washington, EUA. Reporte 2005/284,285. (05-Jun-05) Satélite: GOES 12. Modelo de Vientos: Observatorio Vulcanológico de la Universidad de Colima.
- **VAAC, 2005i.** Volcano Ash Advisory Center. *NOOA Satellite and Information Center.* Washington, EUA. Reporte 2005/294,295. (09-Jun-05) Satélite: GOES 12. Modelo de Vientos: Observatorio Vulcanológico de la Universidad de Colima.
- **VAAC, 2005j.** Volcano Ash Advisory Center. *NOOA Satellite and Information Center.* Washington, EUA. Reporte 2005/336,337. (05-Jul-05) Satélite: GOES 12. Modelo de Vientos: Observatorio Vulcanológico de la Universidad de Colima.
- **VAAC, 2005k.** Volcano Ash Advisory Center. *NOOA Satellite and Information Center.* Washington, EUA. Reporte 2005/344,345. (27-Jul-05) Satélite: GOES 12. Modelo de Vientos: Observatorio Vulcanológico de la Universidad de Colima.
- **VAAC, 2005l.** Volcano Ash Advisory Center. *NOOA Satellite and Information Center.* Washington, EUA. Reporte 2005/368,369. (16-Sep-05) Satélite: GOES 12. Modelo de Vientos: Observatorio Vulcanológico de la Universidad de Colima.
- **VAAC, 2005m.** Volcano Ash Advisory Center. *NOOA Satellite and Information Center.* Washington, EUA. Reporte 2005/372,373. (27-Sep-05) Satélite: GOES 12. Modelo de Vientos: Observatorio Vulcanológico de la Universidad de Colima.
- Varley, N. R., Arámbula-Mendoza, R., Reyes-Dávila, G., Stevenson, J., Harwood, R.** (2010). Long-period seismicity during magma movement at Volcán de Colima" *en prensa.*
- Verma, S.** (1999). Geochemistry of evolved magmas and their relationship to subduction-unrelated mafic volcanism at the volcanic front of the central Mexican Volcanic Belt *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 93: 151-171.
- **Vidal, R., Campa, M.F., Buitrón, B.E., Alencaster, G.** (1980). El conjunto petrotectónico de Zihuatanejo, Guerrero, Coalcomán, Michoacán. *Sociedad Geológica Mexicana Resúmenes:* 111-112.
- Voight, B., Davis, M.J.** (2000). Emplacement temperatures of the November 22, 1994 nuées ardentes deposits, Merapi Volcano, Java. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 100: 371-377.
- Waitz, P.** (1906). Le volcan de Colima. *10th Int. Geol. Congr.* 13: 27.
- Waitz, P.,** (1915). El estado actual de los volcanes de México y la última erupción del Volcán de Colima. *Revista Vulcanológica:* 259-268.
- Waitz, P.,** (1932). Datos históricos y bibliográficos acerca del Volcán de Colima. *Memorias de la Sociedad Antonio Alzate,* 53: 349-383.
- Walker, G. P. L.** (1971). Grain size characteristics of pyroclastic deposits. *Journal of Geology* 79(6): 696-714.



- Wilson, C., Walker, G.P.** (1982). "Ignimbrite depositional facies: the anatomy of pyroclastic flow." *Journal of the Geological Society of London* **139**: 581-592.
- Wilson, C., Houghton, B.** (2000). Pyroclastic Transport and Deposition. *Encyclopedia of Volcanoes*. H. Sigurdsson. San Diego, California, Academic Press: 1417.
- Yamamoto, T., Takarada, S., Suto, S.** (1993). Pyroclastic flows from the 1991 eruption of Unzen volcano, Japan. *Bulletin of Volcanology* **55**: 166-175.
- Yamasato, H.** (1997). Quantitative analysis of pyroclastic flows using infrasonic and seismic data at Unzen Volcano, Japan. *Journal of Physic Earth* **45**: 397-416.
- Zobin, V.M., González-Amezcuca, M., Reyes-Dávila, G.A.,** (2002). Seismotectonic deformation of the volcanic edifice prior to the 1998 lava eruption of Volcán de Colima, México. *Bulletin Volcanology*, **64**: 349-355.
- Zobin, V.M., Luhr, J.F., Taran, Y.C., Bretón, M., Cortés, A., De la Cruz-Reyna, S., Domínguez, T., Galindo, I., Gavilanes, J.C., Muñiz, J.J., Navarro, C., Ramírez, J.J., Reyes, G.A., Ursúa, M., Velasco, J., Alatorre, E., Santiago, H.,** (2002). Overview of the 1997-2000 activity of Volcán de Colima, México. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, **117**: 1-19.
- Zobin, V.M.,** (2007). Quantification of volcanic explosions from tilt records: Volcán de Colima, México. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, Accepted Manuscript.
- Zobin, V.M., Plasencia, I., Reyes, G., Navarro, C.,** (2008). The characteristics of seismic signals produced by lahars and pyroclastics flows: Volcán de Colima, México. 2008, *xxx-In press: in press.*