

**TRABAJO ESPECIAL DE GRADO**

***CARACTERIZACIÓN Y CUANTIFICACIÓN DE SEDIMENTOS  
EN LA CUENCA DEL RÍO SAN JOSÉ DE GALIPÁN,  
ESTADO VARGAS.***

PRESENTADO ANTE LA ILUSTRE  
UNIVERSIDAD CENTRAL DE  
VENEZUELA PARA OPTAR  
AL TÍTULO DE INGENIERO GEÓLOGO  
POR LOS BACHILLERES KATHERINA BUKOR FARAGÓ y  
MAURICIO TAGLIAFERRO GARZÓN

Caracas, mayo de 2004

# **TRABAJO ESPECIAL DE GRADO**

## ***CARACTERIZACIÓN Y CUANTIFICACIÓN DE SEDIMENTOS EN LA CUENCA DEL RÍO SAN JOSÉ DE GALIPÁN, ESTADO VARGAS.***

TUTORES ACADÉMICOS: PROF. FRANCO URBANI  
PROF. REINALDO GARCÍA, IMF  
TUTOR INDUSTRIAL: LUIS MELO, FUNVISIS

PRESENTADO ANTE LA ILUSTRE  
UNIVERSIDAD CENTRAL DE  
VENEZUELA PARA OPTAR  
AL TÍTULO DE INGENIERO GEÓLOGO  
POR LOS BACHILLERES KATHERINA BUKOR FARAGÓ y  
MAURICIO TAGLIAFERRO GARZÓN

Caracas, mayo de 2004

KATHERINA

A mi madre por su admirable constancia,  
a mi papá, a Jaime, a mis abuelos, mis primos,  
y los pocos verdaderos amigos, a quienes admiro  
y quiero: Mau, Digregorio, Ginna y Yaru.

MAURICIO

A mis padres Laura y Antonio  
A mis abuelos Antonio, Paco y Consuelo  
A Adriana  
A Kathy  
A mis hermanos Gustavo y Francisco

**AGRADECIMIENTOS**

A la Universidad Central de Venezuela por todo.

A los profesores Franco Urbani, Reinaldo García, por habernos ayudado.

A los profesores de la escuela: Ricardo Alezones, Maria Eugenia Sandoval, Lilian Navarro, Omar Rojas(†), André Singer, Paúl Romero, Frank Audemard, por brindarme sus conocimientos y amistad.

Al Instituto de Mecánica de Fluidos, y a todo el personal que hay labora por su amabilidad, compañerismo y cariño. Al profesor José Luis, a Yilda, Maiyelin, Enrique, Marco Tulio, la señora Milagros, Nestor, Elide, Oscar, Zorelis, Irma y a todas aquellas personas que de alguna u otra manera nos ayudaron a la realización de este trabajo.

A Pilar y Humberto por haberme alojado en su casa durante toda mi carrera.

A Maria A, a la señora Morela,.

A Jennifer Pol por haberme enseñado todo lo referente a los movimientos de masa.

A Kathy que siempre estuvo a mi lado y por haberme salvado la vida.

A Adriana Gonzáles (Princesita) que es más que una amiga para mi, es la persona que brindo todo su afecto y cariño incondicionalmente estando en todo momento conmigo, siempre te amare....(Mauricio)

A la enana Rosa Polanco por haberme ayudado a corregir todos los números del índice de figuras. ☺

A los panas de la escuela: Rosa, Malu, Román, Pablo G, Jesús Padilla, Moncho, Diego, Reinaldo, Humberto, Giovanni, Woody, Leo, Ivonne, Silvia y a ti. (Mauricio)

A POWER ADE por haberme prestado a su imagen publicitaria (Kathy) la cual me ayudo mucho, porque solo sirvió para escala visual (mentira) para todas las fotitos de campo, JAJAJAJA... (Mauricio)

Un agradecimiento muy especial a las botas ACADIA que resbalan que j.... y que casi me mato por su culpa. (Mauricio).

Caracas, mayo 2004

Los abajo firmantes, miembros del Jurado designado por el Consejo de Escuela de Ingeniería Geológica, para evaluar el Trabajo Especial de Grado presentado por los bachilleres Katherina Bukor y Mauricio Tagliaferro, titulado:

***” CARACTERIZACIÓN Y CUANTIFICACIÓN DE SEDIMENTOS EN  
LA CUENCA DEL RÍO SAN JOSÉ DE GALIPÁN,  
ESTADO VARGAS.”***

Considerando que el mismo cumple con los requisitos exigidos por el plan de estudios conducente al Título de Ingeniero Geólogo, y sin que ello signifique que se hacen solidarios con las ideas expuestas por los autores, lo declaran APROBADO.

Prof. Franco Urbani  
Jurado

Prof. André Singer  
Jurado

Prof. Ricardo Alezones  
Jurado

Prof. Reinaldo García  
Co tutor



**Bukor F., Katherina.**

**Tagliaferro G., Mauricio E.**

**CARACTERIZACIÓN Y CUANTIFICACIÓN DE SEDIMENTOS EN  
LA CUENCA DEL RÍO SAN JOSÉ DE GALIPÁN,  
ESTADO VARGAS.**

**Tutores Académicos: Prof. Franco Urbani y Prof. Reinaldo García, IMF**

**Tutor Industrial: Luis Melo, FUNVISIS**

**Palabras Claves:** Cordillera de la Costa, Movimientos de masa, Flujo de detritos, Abanico aluvial, Facies sedimentarias.

**Resumen.** En el presente estudio se muestran los resultados obtenidos a través de la caracterización y cuantificación de los sedimentos depositados en el abanico de Macuto como producto de las lluvias torrenciales ocurridos en diciembre de 1.999. Se caracterizaron también los movimientos de masa que aportaron dichos materiales en forma de flujos torrenciales. Como resultado se obtuvo un mapa en donde se muestran los espesores de sedimentación en el abanico y los movimientos de masa asociados a estos a lo largo de toda la cuenca.

Por otra parte, se densificó la información de la geología presente en la subcuenca del Río Escondido en la zona de la cuenca media.

Para el estudio de los sedimentos en la zona del abanico se tomaron 46 muestras en 39 puntos tomando en cuenta la granulometría, estructuras sedimentarias y disposición en la secuencia, definiendo así las facies sedimentarias correspondientes. Además, se midieron los espesores de sedimentación en cada uno de estos puntos para luego obtener una aproximación del volumen de material depositado en la zona del abanico utilizando una herramienta informática conocida como **Arc View® 3.2**.

Para la caracterización de los movimientos de masa la clasificación se basó de acuerdo a la forma adquirida por los mismos, el tamaño, litología asociada,

espesor de suelo removido y pendiente de la ladera en la que se encuentran ubicadas. Utilizando el programa mencionado anteriormente, se calculó el área ocupada por los mismos en toda la cuenca así como el espesor de suelo removido.

Con respecto a la zona de la subcuenca de Río Escondido, se realizó el análisis petrográfico de once muestras representativas con la finalidad de obtener las sub-unidades litológicas correspondientes.

De acuerdo a los resultados obtenidos a través de los análisis, se determinó que en el abanico de Macuto ocurrieron dos momentos de alta energía representados por las facies Gms (depósito de flujo de detritos) y Gm (barras longitudinales o depósitos colados) seguidas por la facies Sh (de flujo planar) que indican las inundaciones posteriores. En algunos escasos puntos, se verificó una cuarta facies F (de arena muy fina, limos y arcillas) que representan los depósitos de inundación retenidos en las edificaciones, las cuales sirvieron como colador para estos materiales.

El área total ocupado por bs movimientos de masa es de  $8,6 \times 10^5 \text{m}^2$ , y el volumen de suelo removido fue de  $1,3 \times 10^6 \text{m}^3$ ; siendo la caída de bloques el movimiento con el mayor porcentaje de área ocupada, mientras que los flujos de detritos ubicados en las zonas media - alta de la cuenca y los flujos de lodo de la cuenca baja, fueron los que aportaron la mayor cantidad de sedimentos a los flujos torrenciales.

El volumen total de sedimentos acumulados en el abanico de Macuto es de aproximadamente  $8,21 \times 10^5 \text{m}^3$ , lo que indica que los  $4,79 \times 10^5 \text{m}^3$  restantes pudo haber quedado en las laderas por acción de la vegetación que funcionó como filtro, en las quebradas y el depositado en el mar.

En la zona media de Río escondido se determinaron cuatro sub-unidades litológicas del Complejo de San Julián: 1) Gneis plagioclásico, 2) Gneis anfibólico micáceo, 3) Esquisto plagioclásico y 4) Cloritocita; ubicados en la facies de los equistos verdes de intermedia y baja P, zona de la clorita y biotita, respectivamente.



**ÍNDICE GENERAL**

	Página
<b>1 INTRODUCCIÓN</b> .....	1
1.1 Objetivo y alcance.....	1
1.2 Objetivos específicos.....	1
1.3 Justificación.....	1
1.4 Área de estudio.....	2
1.5 Metodología.....	4
1.5.1 Etapa de pre-campo.....	4
1.5.2 Etapa de campo.....	6
1.5.3 Etapa de laboratorio.....	7
<b>2 GEOGRAFÍA FÍSICA</b> .....	12
2.1 Relieve.....	12
2.2 Drenaje.....	15
2.3 Vegetación.....	19
2.4 Clima.....	22
2.4.1 Anomalía climática de diciembre de 1999.....	22
<b>3 SUELO</b> .....	24
<b>4 MOVIMIENTOS DE MASA</b> .....	26
4.1 Definición y origen.....	26
4.2 Morfología de los movimientos de masa.....	26
4.3 Clasificación de los movimientos de masa.....	28
4.3.1 Deslizamientos.....	28
4.3.2 Flujos rápidos.....	29
4.3.3 Escurrimientos.....	30
4.3.4 Desprendimientos.....	30
4.3.5 Fallas de talud.....	30
4.3.6 Reptamiento.....	30
4.4 Estado de actividad de un movimiento de masa.....	31
4.5 Morfometría de las laderas.....	33
<b>5 FLUJOS TORRENCIALES</b> .....	35
5.1 Características de los flujos torrenciales.....	37
5.2 Clasificación de los flujos torrenciales.....	39
<b>6 ABANICOS ALUVIALES</b> .....	45
6.1 Definición y origen.....	45
6.2 Forma.....	46

6.3 Modelos de clasificación de los abanicos.....	47
6.4 Tipos de flujos que actúan en los abanicos aluviales.....	48
6.4.1 Flujos formados por el proceso gravitacional- sedimentario.....	49
6.4.2 Flujos formados por el proceso gravitacional- fluido.....	50
6.5 Procesos de formación de un abanico.....	51
6.6 Composición de los depósitos en abanicos aluviales.....	52
6.7 Facies en el abanico.....	53
<b>7 GEOLOGÍA REGIONAL .....</b>	<b>55</b>
<b>8 GEOLOGÍA LOCAL.....</b>	<b>62</b>
8.1 Unidad sedimentaria.....	62
8.1.1 Abanico aluvial de Macuto.....	62
8.1.2 Terrazas fluviales.....	74
8.1.2.1 Terrazas antiguas.....	75
8.1.2.2 Terrazas recientes.....	77
8.1.3 Procesos geodinámicos superficiales.....	80
8.1.4 Acumulaciones de bloques.....	95
8.1.5 Suelos.....	98
8.2 Unidades metamórficas.....	101
8.2.1 Asociación Metamórfica La Costa.....	101
8.2.1.1 Esquisto de Tacagua.....	101
8.2.1.2 Serpentinita.....	103
8.3.1 Asociación Metamórfica Ávila.....	104
8.3.1.1 Complejo de San Julián.....	104
8.3.1.2 Augengneis de Peña de Mora.....	117
8.3.1.3 Metatonalita.....	118
<b>9 GEOLOGÍA ESTRUCTURAL.....</b>	<b>120</b>
9.1 Geología estructural regional.....	120
9.2 Geología estructural local.....	122
9.2.1 Foliación.....	122
9.2.2 Diaclasamiento.....	124
9.2.3 Fallamiento.....	128
9.2.4 Boudinaje.....	135

<b>10 RESULTADOS</b> .....	136
10.1 Evaluación de la geodinámica superficial.....	136
10.2 Estimación de suelo removido durante el evento torrencial de diciembre de 1999.....	137
10.3 Ubicación de muestras.....	138
10.4 Espesores de sedimentación.....	141
10.4.1 Cono de Macuto.....	141
10.4.2 Ápice.....	143
10.5 Volumen sedimentado.....	145
10.5.1 Cono de Macuto.....	145
10.5.2 Ápice del cono.....	145
10.5.3 Cuenca media.....	150
10.6 Parámetros granulométricos.....	150
<b>11 FACIES</b> .....	151
11.1 Facies en el cono de Macuto.....	153
11.1.1 Facies Sh.....	153
11.1.2 Facies Gm.....	160
11.1.3 Facies Gms.....	162
11.1.4 Facies F.....	164
11.2 Distribución de los tamaños de granos según se ubicación en el cono de Macuto.....	165
<b>12 COMPOSICIÓN MINERAL DE LOS SEDIMENTOS</b> .....	168
<b>13 ANÁLISIS DE RESULTADOS</b> .....	170
13.1 Geodinámica superficial.....	170
13.2 Parámetros granulométricos.....	171
13.3 Morfología de los clastos y granos.....	173
13.4 Mineralogía de los sedimentos.....	176
13.5 Niveles de energía.....	177
13.6 Volumen de suelo removido y depositado.....	180
13.7 Litología característica en río Escondido.....	180
13.8 Estructuras.....	182
<b>14 CONCLUSIONES</b> .....	183
<b>15 RECOMENDACIONES</b> .....	186
<b>16 BIBLIOGRAFÍA</b> .....	187
<b>17 ANEXOS</b> .....	199

## ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
<b>Figura 1.</b> Ubicación relativa del área de estudio.....	2
<b>Figura 2.</b> Mapa de ubicación de la zona de estudio.....	3
<b>Figura 3.</b> Carta comparativa para la estimación visual de porcentajes. Tomado ANÓNIMO (1979).....	10
<b>Figura 4.</b> Carta comparativa para la estimación visual del grado de redondez y esfericidad. POWERS 1954.....	11
<b>Figura 5.</b> Formas de ZINGG (1954). Tomado de LA FORTUNE (2002.).....	11
<b>Figura 6.</b> Mapa mostrando la forma ondulada de Fila Maestra (línea amarilla) y se indica en rojo el área de la cuenca de San José de Galipán.....	12
<b>Figura 7.</b> Corte topográfico por el meridiano E 730.250 donde se muestran los cambios de pendiente en el flanco norte del Macizo del Ávila.....	13
<b>Figura 8.</b> Mapa de división de las sub-cuencas de la zona de estudio.....	14
<b>Figura 9.</b> Principales ríos y quebradas de la cuenca de San José de Galipán.....	16
<b>Figura 10.</b> División de las sub-cuencas de la cuenca alta y parte de la media, en donde se delimitan la sub-cuenca del río Escondido (línea verde) y la de quebrada Los Perros (línea amarilla).....	17
<b>Figura 11.</b> Foto mostrando la confluencia entre Río Escondido y Río San José de Galipán. (Rumbo de la foto S-N).....	19
<b>Figura 12.</b> Esquema del tipo de vegetación en el flanco norte del macizo Ávila elaborado por HUBER (1984). Tomado y modificado de MELO y CANO (2001).....	21
<b>Figura 13.</b> Mapa de la estimación de lluvia, utilizando datos de NOAA, mediciones de precipitación en Maiquetía y el Observatorio Cajigal, basados en datos satelitales infrarrojos del GOES-8. Tomado de DEBRIS -FLOW AND FLOODING IN COASTAL VENEZUELA ASSOCIATED WITH THE STORM OF DECEMBER 14-16, 1999. USGS 2002.....	23
<b>Figura 14.</b> Perfil de suelo en zonas tropicales. Tomado y modificado de SUÁREZ.....	24
<b>Figura 15.</b> Forma y componentes de un deslizamiento. Modificado de SUÁREZ (1999).....	27
<b>Figura 16.</b> Mostrando la erosión dejada por flujos concentrados en zonas de material heterogéneo. Modificado de SUÁREZ (1999).....	31
<b>Figura 17.</b> Diferentes estados de actividad en los movimientos de ladera. (DIKAU <i>et al</i> 1996)...	33
<b>Figura 18.</b> Foto donde se muestra el abanico (marcado en amarillo) formado en la zona de Macuto. Fotografía aérea tomada en enero 2000, misión 030601-305.....	35

<b>Figura 20.</b> Esquema de la forma del los FLUJO DE DETRITOS. Tomado de HÜBL y STEINWENDTNER (2001).....	37
<b>Figura 21.</b> Cambio de dirección del flujo de detritos posiblemente por un cambio en le pendiente de la zona o por que hay obstáculos. Tomado de SANCIO (2000).....	38
<b>Figura 22.</b> Clasificación conceptual de los flujos torrenciales. Modificado de COUSSOT (1996).....	40
<b>Figura 23.</b> Inundación de lodo en donde se observa claramente la rapidez y fluidez que presentan este tipo de flujo, este tipo de fluido presenta una sola fase (sedimentos finos + agua + aire). Tomado de JULIEN (2000).....	41
<b>Figura 24.</b> Frente destructivo de flujos de lodo, nótese la poca velocidad del mismo. Tomado de JULIEN (2000).....	42
<b>Figura 25.</b> Flujo de detritos constituido en su mayoría por bloques de gran tamaño transportados por una mezcla de sedimentos finos y agua. Tomado de JULIEN (2000).....	43
<b>Figura 26.</b> Se muestra la parte superior y media del abanico de Macuto. (N-S), suministrada por el I.M.F.....	45
<b>Figura 27.</b> Representación esquemática de una sección longitudinal (A) y una transversal (B) de un abanico aluvial. Tomado y modificado de GRIJALVA (2003).....	46
<b>Figura 28.</b> Corte longitudinal mostrando la distribución de los sedimentos en el abanico, en donde se puede notar que los sedimentos de mayor tamaño se encuentran localizados en las zonas más cercanas al pie de monte, mientras que los sedimentos más finos se encuentran localizados a las zonas más alejadas del frente de montaña. Tomado BOGGS (1987).....	53
<b>Figura 29.</b> Se muestra el abanico formado en la zona de Macuto. Fotografía aérea tomada en enero 2000, misión 030601-305.....	63
<b>Figura 30.</b> Cortes transversales del cono de Macuto en donde se observa claramente la forma cóncava del mismo, la dirección de los cortes de aproximadamente W-E.....	63
<b>Figura 31.</b> Marcas de barro de la inundación en una casa ubicada al lado Oeste de la canalización principal a 10 m al Sur del punto 36. Rumbo de la foto E-W.....	64
<b>Figura 32.</b> Foto tomada desde un helicóptero en donde se ve la distribución de los sedimentos gruesos y finos en la zona media del cono. (Rumbo de la foto N-S). Foto suministrada por el I.M.F.....	65

<b>Figura 33.</b> Se muestra en el tamaño de los bloques acumulados en la zona del ápice de cono, en amarillo se muestra la mayor acumulación de bloques. Fotografía aérea tomada en enero 2000, misión 030601-305. Foto pequeña tomada del trabajo de USGS en abril 2000.....	66
<b>Figura 34.</b> Afloramientos en donde se observa la intercalación de la capa de arena y los fanglomerados; foto A en el punto 4, foto B en el punto 5, foto C en el punto 10, foto D en el punto 25 y foto E en el punto 40. Fotografía aérea tomada en enero 2000, misión 030601-305.....	67
<b>Figura 35.</b> Contacto erosivo entre los fanglomerados y las arenas, se observa la secuencia típica de la zona media distal del abanico. Tomada en el punto U (Rumbo N-S).....	69
<b>Figura 36.</b> Tomada en el punto 18 en donde se observa la secuencia típica de la zona media distal del abanico. Rumbo de la foto E-W.....	69
<b>Figura 37.</b> Laminación paralela característica de las facies A y Ag. (Rumbo W-E).....	71
<b>Figura 38.</b> Imbricación de los clastos elongados, en el punto 25. Rumbo de la foto E-W.....	72
<b>Figura 39.</b> Detalle de la estratificación cruzada observada en el punto 33.....	73
<b>Figura 40.</b> Estratificación gradada, en donde se observa 2 estratificaciones gradadas casi en contacto transicional indicando cambios en los niveles de energía sufridos en el momento de la depositación. Afloramiento en el punto 37 (Rumbo de la foto E-W)...	74
<b>Figura 41.</b> Terrazas antiguas en la zona media de la cuenca, en donde se observan bloques bastante redondeados soportados por una matriz fina. Rumbo de la foto N-S.....	76
<b>Figura 42.</b> Terraza antigua ubicada en el ápice del cono, en donde se ve la forma tabular de los bloques dispuestos en forma caótica y soportados por una matriz de arenas gruesas y finas. Foto tomada de Gerald Wieczorek, USGS-MARN 2000.....	77
<b>Figura 43.</b> Terraza fluvial ubicada entre los puntos 18 y 19 en Río Escondido. Rumbo de la foto N90°W.....	78
<b>Figura 44.</b> Se muestra las terrazas recientes con espesores de hasta 4 m. Rumbo de la foto N-S.....	79
<b>Figura 45.</b> Deslizamiento superficial con remoción de la cobertura vegetal observado en las laderas que conforman el límite de cuenca al Este, pertenecientes a la unidad litológica del Complejo San Julián sin diferenciar y perfil de suelo típico en esta zona (Rumbo de la foto pequeña E-W).....	81
<b>Figura 46.</b> La imagen de la derecha muestra el escarpe principal en forma circular en un deslizamiento con flujo de lodo o <i>mudflow</i> localizado en la cuenca media, zona central (Loma de Caballo).....	82

<b>Figura 47.</b> Foto panorámica del límite Este de la cuenca en donde se observan los deslizamientos planares con flujos de detritos. (Rumbo de la foto W-E).....	83
<b>Figura 48.</b> Movimiento ubicado en el punto G35 formando un ángulo de aproximadamente 40° con la horizontal.....	84
<b>Figura 49.</b> El mismo tipo de movimiento de masa ubicado en el punto G37 (cercano a la zona de la figura anterior), que se caracteriza por presentar también el buzamiento a favor de la pendiente de la ladera (40° al Noroeste).....	85
<b>Figura 50.</b> Deslizamiento planar ubicado en una ladera del límite Este de la cuenca media, vista desde Loma de Caballo con una dirección de E-W, mostrando claramente la superficie limpia producto del deslizamiento del bloque planar.....	86
<b>Figura 51.</b> Movimiento rotacional simple con canal de flujo de detritos en el punto G38.....	87
<b>Figura 52.</b> Deslizamiento rotacional de suelo en el punto SjdG 0 ubicado en la cuenca media en la ladera oeste del río San José de Galipán.....	88
<b>Figura 53.</b> Acumulación de bloques provenientes del Picacho de Galipán en el sector de San José de Galipán), (Rumbo de la fotos S70°W y N30°W).....	89
<b>Figura 54.</b> Acumulaciones de bloques en la zona de la cuenca media, dichas acumulaciones se debe principalmente a las variaciones en el nivel de energía de los flujos torrenciales producto a los cambios de pendiente.....	90
<b>Figura 55.</b> Acumulaciones de bloques de gran tamaño dispuestas en los valles encajados de las laderas del Picacho de Galipán (rumbo W-E) y diques naturales formados por la aglomeración de los bloques provenientes del las laderas del Picacho de Galipán (rumbo S80°E).....	91
<b>Figura 56.</b> Se muestra la forma típica de un flujo de detritos y la acumulación de las partículas más debajo de la corona del deslizamiento (rumbo S80°E).....	92
<b>Figura 57.</b> Litología asociada a los flujos de detritos observados en el límite Este de la cuenca.....	93
<b>Figura 58.</b> Surco formado durante un escurrimiento generado en diciembre de 1999, ubicado en el punto G41. Nótese el perfil del suelo producto de la meteorización de coluviones antiguos típicos de esta zona, caracterizada por poseer la mayor actividad agrícola de toda la cuenca (rumbo N-S).....	94
<b>Figura 59.</b> Se muestra la matriz que quedó atrapada entre los bloques de gneis. Afloramiento 8 en Quebrada los Perros. (Rumbo de la foto N-S).....	95

<b>Figura 60.</b> Se muestra las diversas formas de los bloques presentes en Quebrada Los Perros, afloramiento 9. (Rumbo de la foto S35°E).....	96
<b>Figura 61.</b> Se muestra las alturas (7 m) alcanzadas por las acumulaciones de los bloques presentes en Quebrada Los Perros, afloramiento 10. (Rumbo de la foto N-S).....	97
<b>Figura 62.</b> Distribución de los bloques en la cuenca media correspondiente a la zona de San José y Loma del Caballo. Fotografía aérea tomada en marzo 2002, misión 0304193-671.....	97
<b>Figura 63.</b> Se muestra el tipo de suelo encontrado en la parte oeste de la Fila Maestra (rumbo N-S).....	99
<b>Figura 64.</b> Se muestra el suelo que predomina en parte de la cuenca media, nótese el poco espesor de la cobertura vegetal en los cortes de carretera (rumbo N-S).....	99
<b>Figura 65.</b> Se muestra la diferencia de color en los suelos residuales debido a la meteorización de diferentes litologías (ambas pertenecen al Complejo de San Julián: 1) Gneis cuarzo feldespático micáceo y 2) Esquisto cuarzo micáceo) de la cuenca media correspondiente a las laderas ubicadas en el límite Este (rumbo S35°E).....	100
<b>Figura 66.</b> Afloramiento en el punto QM10 donde se muestra el Esquisto de Tacagua en uno de los tributarios del Oeste (rumbo S-N).....	102
<b>Figura 67.</b> Boudines en el Esquisto de Tacagua localizados en la Quebrada Montesuma, punto QM5 (rumbo S-N).....	102
<b>Figura 68.</b> Se muestra el contacto entre el Esquisto de Tacagua y la Serpentinita (rumbo S-N).....	103
<b>Figura 69.</b> En donde se observa el cuerpo de serpentinita, y se hace acotación el plano de falla presente en el mismo ubicado al Sur del afloramiento (rumbo N-E).....	104
<b>Figura 70.</b> Contacto entre el Esquisto de Tacagua y el Complejo de San Julián, nótese al ángulo de buzamiento que presenta la falla de Macuto (con movimiento dextral) aproximadamente 60° S (líneas rojas).....	105
<b>Figura 71.</b> Bandeamiento característico del Gneis Plagioclásico en el afloramiento 5 de Río Escondido, las bandas tienen una orientación de E-W. (Rumbo de la foto E-W).....	108
<b>Figura 72.</b> Afloramiento de Gneis plagioclásico en los puntos de afloramiento 8 y 9 de Río Escondido, en esta zona se encontraron boudines de dimensiones variadas (15 a 20 cm de ancho y 30 cm largo). (Rumbo de la foto N-S).....	108
<b>Figura 73.</b> Gneis anfíbolítico en el punto 19 aflorando al Este en Río Escondido. La foto muestra el diaclasamiento sobre un plano de falla. (Rumbo de la foto S30°W).....	111



<b>Figura 74.</b> Pliegues característicos de la sub-unidad de Esquisto plagioclásico micáceo. Punto 24. (Rumbo de la foto N10°E).....	113
<b>Figura 75.</b> Contacto entre el Esquisto plagioclásico micáceo (al Este) y el Gneis plagioclásico micáceo (al Oeste). Afloramiento en el punto 38 de Río Escondido. (Rumbo de la foto S80°E).....	114
<b>Figura 76.</b> Cuerpo de cloritocita encontrado entre un gneis plagioclásico cuarzo micáceo y un esquisto plagioclásico micáceo de grano grueso, ubicado en el punto 23 de Río Escondido. (Rumbo de la foto N20°W).....	116
<b>Figura 77.</b> Augengneis aflorando en la zona de confluencia entre el Río Escondido y Río San José de Galipán en el punto 6. (Rumbo de la foto N-S).....	117
<b>Figura 78.</b> Alternancias de gneis bandeado y augengneis, afloramiento 4 de la confluencia entre el Río Escondido y Río San José de Galipán. (Rumbo de la foto E-W).....	118
<b>Figura 79.</b> Afloramiento de metatonalita a 70 m de la capilla de la Virgen La Milagrosa. Se observa el grado de diaclasamiento presente en este cuerpo.(Rumbo de la foto S-N).....	119
<b>Figura 80.</b> Foliaciones correspondientes a las rocas pertenecientes al Complejo de San Julián.....	123
<b>Figura 81.</b> Diagramas de rosa para el diaclasamiento medido en la cuenca baja, con un promedio de 15 mediciones en cada sector señalado en las rosetas. ....	125
<b>Figura 82.</b> Diaclasas medidas en el punto 2 de la confluencia. (rumbo de la foto N30°W).....	125
<b>Figura 83.</b> Diaclasas en el río San José de Galipán mediadas en el punto SJdG 0. (rumbo de la foto E-W).....	126
<b>Figura 84.</b> Diagramas de rosa para el diaclasamiento medido en la cuenca media, con un promedio de 15 mediciones en cada sector señalado en las rosetas. ....	127
<b>Figura 85-1.</b> Diagramas de rosa para el diaclasamiento medido en la cuenca alta, con un promedio de 15 mediciones en cada sector señalado en las rosetas. ....	128
<b>Figura 85-2.</b> Diagramas de rosa para el diaclasamiento medido en la cuenca alta, con un promedio de 15 mediciones en cada sector señalado en las rosetas. ....	129
<b>Figura 86.</b> Sistemas de fallas que dominan la zona de estudio (área roja), definidas por el sistema de fallas de San Sebastián y de Macuto con movimiento dextral con sus fallas oblicuas asociadas. Modificado URBANI (2002-b).....	130
<b>Figura 87.</b> Mapa de las principales fallas de la cuenca del Río San José de Galipán.....	131

<b>Figura 88.</b> Foto aérea de la cuenca del Río San José de Galipán, en donde se muestra las facetas triangulares (marcas rojas) como respuesta geomoforológica al sistema de fallas de San Sebastián. Foto aérea misión 3225-A, escala 50.000.....	132
<b>Figura 89.</b> Ensilladura de falla (línea roja) generada por la traza de falla con dirección E-W. (rumbo de la foto W-E).....	133
<b>Figura 90.</b> Expresión topográfica de la falla de Chacaito señalada con la flecha roja, en el flanco norte. (rumbo de la foto S40°E).....	134
<b>Figura 91.</b> Mapa de ubicación de los afloramientos ubicados en el cono de Macuto.....	140
<b>Figura 92.</b> Mapa de espesores de sedimentos en el abanico de Macuto. ....	142
<b>Figura 93.</b> Represa de retención de sedimentos, ubicada cercana a la salida de la zona Montesuma. (Rumbo de la foto N15°W). ....	143
<b>Figura 94.</b> Distribución de los segmentos en el área del ápice del cono. ....	144
<b>Figura 95.</b> Se muestra la forma de una sección trapezoidal y se hace énfasis en la ubicación de las áreas tomadas para calcular el volumen de los sedimentos. La escala vertical y horizontal están exageradas. ....	146
<b>Figura 96.</b> Mapa del ápice en donde se muestra la ubicación de las nuevas terrazas fluviales que se encuentran en el cauce. ....	147
<b>Figura 97.</b> Diagrama ternario de alta resolución de FOLK 1954, el cual representa 15 clases granulométricas basadas en la relación de sedimentos. ....	152
<b>Figura 98.</b> Facies Sh (arenas) en la zona distal en el punto U, en donde se ve claramente los grandes espesores de arenas de la facies A (delimitada por líneas amarillas), y los canales rellenos pertenecientes a las facies Gms (línea roja). Ver el contacto erosivo que presentan en el tope las facies A con la facies Gm (Rumbo N-S).....	155
<b>Figura 99.</b> Acumulación en el punto 3 del abanico proximal de 2 m de arena media, en donde se observan 2 canales de relleno pertenecientes a la facies Gms (líneas rojas). Nótese las horadaciones (indicadas por las flechas azules) hechas por insectos, posiblemente buscando refugio o comida (rumbo S-N). ....	156
<b>Figura 100.</b> Arenas gravosas en el punto I en donde se nota el lente (en color amarillo) formado por esta facies en el medio de la secuencia, mientras que en el tope se observa la capa delgada con las laminaciones (líneas rojas) características de esta facies (Rumbo de la foto S-N).....	157

<b>Figura 101.</b> Se muestra las arenas gravosas en el afloramiento 24, se hace resaltar el contacto abrupto (línea amarilla) que presenta con las gravas arenosas tanto en el tope como en la base. (Rumbo de la foto S-N) .....	158
<b>Figura 102.</b> Capas de 20 a 30 cm de la facies Ag (entre las líneas amarillas) en el punto 40, véase el contacto abrupto que existe entre la facies Ag y la facies Ga. (Rumbo de la foto S50°E).....	158
<b>Figura 103.</b> Afloramiento en el punto 25 del abanico medio, se muestra que dentro de la misma facies Gm hubo un descenso en el nivel de energía que permitió la depositación de un listón de arena de 30-45 cm de ancho, en la foto pequeña se muestra la ligera imbricación que presentan los clastos en esta facies . (Rumbo de la foto W-E). .....	161
<b>Figura 104.</b> Facies Gal en el punto U. En esta parte del abanico esta facies se encuentra en canales rellenos. (Rumbo de la foto N-S) .....	162
<b>Figura 105.</b> Se muestra la facies de <b>Gal</b> en el punto 2, a la salida de la quebrada Montesuma. Ver los diferentes niveles de energía presentes (Rumbo de la foto W-E) .....	163
<b>Figura 106.</b> Facies F ubicada en el punto 4 dentro de una casa. (Rumbo de la foto E-W).....	164
<b>Figura 107.</b> Representación de 12 muestras según la clasificación textural de Folk (1954) en el cono <b>distal-medio</b> de de Macuto. ....	165
<b>Figura 108.</b> Representación de 12 muestras según la clasificación textural de Folk (1954) en el cono medio-proximal de de Macuto. ....	165
<b>Figura 109.</b> Representación de 16 muestras según la clasificación textural de Folk (1954) en el cono proximal y ápice de Macuto. ....	166
<b>Figura 110.</b> Representación de 9 muestras según la clasificación textural de Folk (1954) en los tributarios mas cercanos al cono de de Macuto. ....	166
<b>Figura 111.</b> Representación de 5 muestras según la clasificación textural de Folk (1954) en el área de la cuenca media. ....	167
<b>Figura 112.</b> Fotografía aérea tomada en enero 2000, misión 030601-305. ....	169

<b>ÍNDICE DE TABLAS</b>	<b>Página</b>
<b>Tabla 1.</b> Aero-fotografías analizadas pertenecientes a la cuenca del Río San José de Galipán.	4
<b>Tabla 2.</b> Tabla utilizada para recolectar los valores obtenidos del tamizad.....	8
<b>Tabla 3.</b> Valores parámetros para el grado de escogimiento.....	8
<b>Tabla 4.</b> Valores parámetros de la asimetría.....	9
<b>Tabla 5.</b> Valores parámetros de la curtosis.....	9
<b>Tabla 6.</b> Sistema de clasificación del perfil de meteorización empleado en Hong Kong (Oficina de control geotécnico, 1979), Tomado de SUÁREZ (1999).....	25
<b>Tabla 7.</b> Clasificación de las laderas de acuerdo al ángulo de buzamiento con respecto a la horizontal.....	34
<b>Tabla 8.</b> Se muestra el comportamiento del flujo torrencial en función de la concentración de sedimentos, Tomado de O'BRIEN (1993).....	44
<b>Tabla 9.</b> Cuadro de la geología estructural de la Cordillera de la Costa (modificado de CASTILLO & SUÁREZ 2001).....	57
<b>Tabla 10.</b> Características de los suelos en la cuenca de San José de Galipán.....	98
<b>Tabla 11.</b> Sub-unidades litológicas del Complejo de San Julián en la zona de Río Escondido.....	107
<b>Tabla 12.</b> Valores mineralógicos expresados en porcentaje (%) para el gneis plagioclásico.....	109
<b>Tabla 13.</b> Valores mineralógicos expresados en porcentaje (%) para el gneis anfibolítico.....	111
<b>Tabla 14.</b> Valores mineralógicos expresados en porcentaje (%) para el Esquisto plagioclásico micáceo.....	114
<b>Tabla 15.</b> Resumen de la geología estructural. Modificado de CANO & MELO (2001)....	120
<b>Tabla 16.</b> Resumen de las familia de diaclasas (obtenidos a partir de los diagramas de rosas) .....	124
<b>Tabla 17.</b> Resumen de las familias de diaclasas de la cuenca media (obtenidos a partir de los diagramas de rosas).....	127
<b>Tabla 18.</b> Resumen de las familia de diaclasas de la cuenca alta (obtenidos a partir de los diagramas de rosas).....	128
<b>Tabla 19.</b> Relación entre los diferentes movimientos de masa, litología y morfometría de las laderas.....	136
<b>Tabla 20.</b> Áreas ocupadas por los diferentes tipos de movimientos de masa ocurridos en la cuenca de San José de Galipán durante diciembre de 1999.....	137
<b>Tabla 21.</b> Volumen de suelo removido en la cuenca de San José de Galipán.....	138

<b>Tabla 22.</b> Ubicación de las muestras de sedimentos tomados en la cuenca de San José de Galipán.....	139
<b>Tabla 23.</b> Espesor de sedimentos en los diferentes segmentos del cauce.....	143
<b>Tabla 24.</b> Áreas determinadas para cada terraza nueva (veáse la figura 88) del ápice del cono de Macuto.....	147
<b>Tabla 25.</b> Área y volumen determinado para el ápice del cono de Macuto con un espesor constante a lo largo de todo el tramo del río, para una sección transversal en forma de trapecio.....	148
<b>Tabla 26.</b> Área y volumen determinado para el ápice del cono de Macuto con un espesor constante a lo largo de todo el tramo del río, para una sección transversal en forma de rectángulo.....	148
<b>Tabla 27.</b> Áreas determinadas para cada segmento (veáse la figura 86) y el espesor de sedimento que corresponde para cada segmento del ápice del cono de Macuto.....	149
<b>Tabla 28.</b> Valor de volumen obtenido por la suma del volumen de sedimento para cada segmento y de cada terraza en el tramo en el ápice del cono de Macuto.....	149
<b>Tabla 29.</b> Áreas determinadas para cada segmento (veáse la figura 87) y el espesor de sedimento que corresponde para cada segmento del ápice del cono de Macuto.....	149
<b>Tabla 30.</b> Valor del volumen obtenidos por la suma del volumen de sedimento para cada segmento y de cada terraza en el ápice del cono de Macuto.....	150
<b>Tabla 31.</b> Casificación de facies modificado de MIALL (1977) para los sedimentos aluviales.....	151

## **1 INTRODUCCIÓN**

### **1.1 Objetivo y alcance**

Caracterizar y cuantificar los sedimentos en la cuenca del río San José de Galipán, estado Vargas, y establecer la importancia en la amenaza relacionada a movimientos de masa que puedan originar flujos torrenciales durante eventos de lluvias excepcionales.

### **1.2 Objetivos específicos**

- 1) Densificar datos estructurales: fallas, fracturas, diaclasas y foliaciones en la Cuenca del Río San José de Galipán.
- 2) Identificar y cartografiar a escala 1:5.000 terrazas antiguas y zonas de represamiento natural en la Cuenca del Río San José de Galipán.
- 3) Determinar y cartografiar los diferentes tipos de movimientos de masa ocurridos en la cuenca del Río San José de Galipán.
- 4) Estimar el volumen de material removido en las zonas de movimientos de masa durante las lluvias de diciembre de 1999.
- 5) Estimar el volumen de sedimentos depositados en el abanico de Macuto durante las lluvias de diciembre de 1999.

### **1.3 Justificación**

En vista de las lluvias que, durante el mes de diciembre de 1999, afectaron las franjas norte y sur de la Cordillera de la Costa, se han realizado una serie de trabajos de pre-grado, postgrado y doctorados, entre otros, tratando de complementar las explicaciones a los mecanismos geológicos e hidrometeorológicos que afectaron esta zona, especialmente en su parte norte a lo largo del litoral central que se caracterizó por un gran número de pérdidas humanas y materiales.

El Instituto de Mecánica de Fluidos (IMF) con sede en la Universidad Central de Venezuela, ejecuta un proyecto denominado **PROCEDA** (**P**royecto **C**uenca **E**xperimental **D**el **Á**vila) cuya finalidad es lograr un modelo matemático de los flujos torrenciales y además caracterizar y cuantificar los materiales removidos que afectaron todo el Macizo del Ávila.

Dentro de las cuencas afectadas se produjo un desplazamiento considerable de materiales provenientes de la meteorización de las rocas existentes en estas zonas como producto de las aguas de escorrentía, razón por la cual ha motivado esta investigación, que servirá como material de referencia y apoyo para posteriores investigaciones, tanto en la cuenca del Río San José de Galipán, como en las demás cuencas del flanco norte del Macizo del Ávila, que han sido afectadas por los procesos de flujos torrenciales. La importancia de estas investigaciones radica en la determinación de las posibles amenazas que estos eventos puedan originar, especialmente el riesgo de pérdidas humanas y materiales en las poblaciones cercanas a dichas cuencas.

#### 1.4 Área de estudio

La cuenca hidrológica del Río San José de Galipán, con un área de 15 km<sup>2</sup>, se encuentra ubicada en el flanco norte del Macizo del Ávila, entre las coordenadas geográficas 10°32' - 10°35'30'' y 66°52' - 66°54'30'' (figuras 1 y 2).

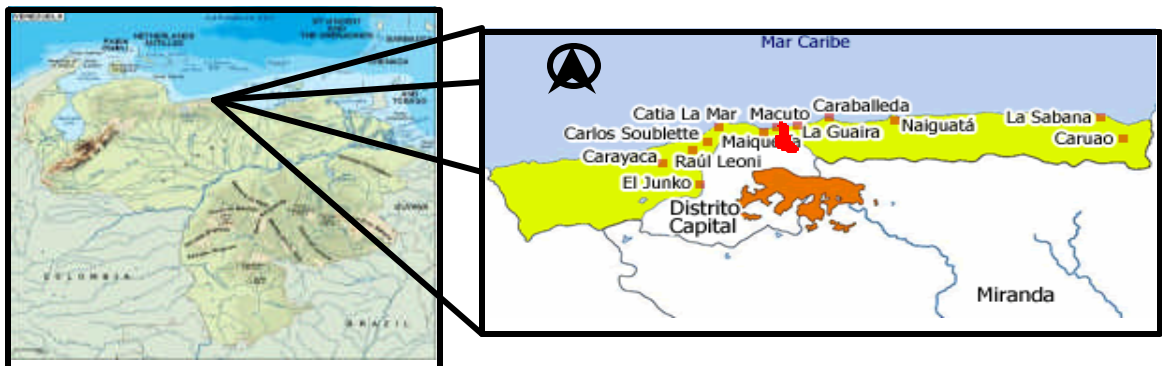


Figura 1. Ubicación relativa del área de estudio (en

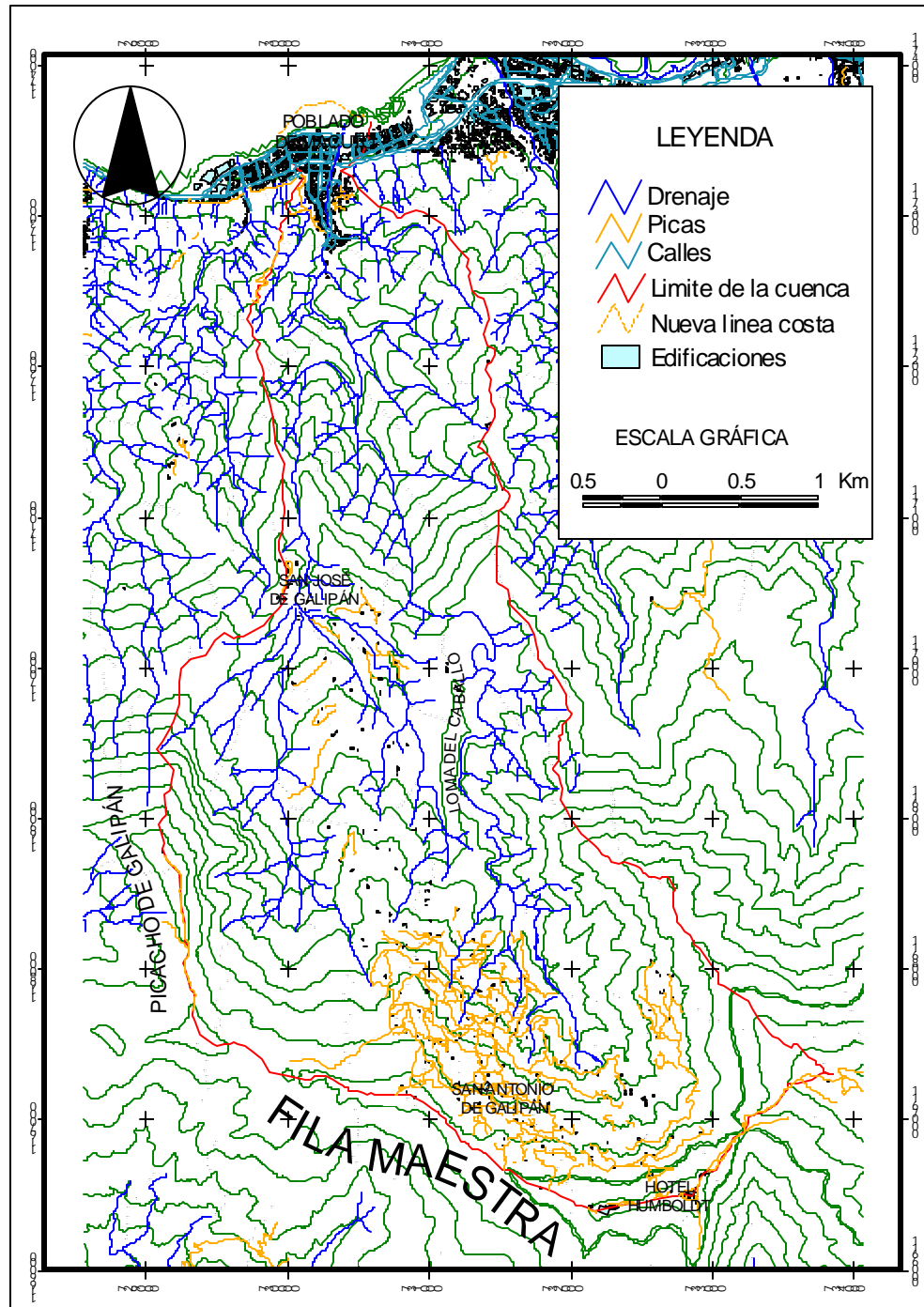


Figura 2. Mapa de ubicación de la zona de estudio



## 1.5 Metodología

### 1.51 Etapa de pre-campo

- Recopilación de trabajos previos (tesis de grado, publicaciones, libros)
- Interpretación de mapas topográficos a escala 1:5.000 de: Abril de 1984 (hojas: 6847-IV-NO / 6847-IV-SO) y 1951
- Interpretación aero-fotográfica, destacando los siguientes rasgos:
  - Lineaciones, fallas, facetas triangulares, etc.
  - Movimientos de masa como: desprendimientos de roca, acumulación de rocas y bloques, movimientos de suelo reciente, diques naturales, acumulación de sedimentos, cárcavas de erosión, terrazas recientes, terrazas antiguas.

Tabla 1. Aero-fotografías analizadas pertenecientes a la cuenca del Río San José de Galipán

MISIÓN	AÑO	ESCALA	FOTOS	LOCALIDAD
030602	1998	1 : 5.000	115 a 118	Abanico de Macuto
030602	1998	1 : 5.000	133 a 138	Abanico de Macuto
030602	1998	1 : 5.000	787 a 791	Abanico de Macuto
030601	1999	1 : 5.000	304 a 307	Abanico de Macuto
030602	2000	1 : 5.300	1181 a 1184	Abanico de Macuto

030602	2000	1 : 5.000	2369 a 2375	Confluencia Río Escondido y Río San José de Galipán
030602	2000	1 : 5.000	3232 a 3237	Confluencia Río Escondido y Río San José de Galipán.
0304193	2002	1 : 27000	670 a 673	Macuto – San José de Galipán
030602	2002	1 : 5.000	2277 a 2284	Cuenca media: Picacho de Galipán
030602	2002	1 : 5.000	2241 a 2248	Cuenca alta
030602	2002	1 : 5.000	2197 a 2205	Cuenca alta
0304193	2002	1 : 27000	688 a 692	Caracas – Cuenca alta
AMS 4 Feb. 61 172	1961	1 : 5.0000	3224 a 3226	Cuenca completa

### **1.5.2 Etapa de campo**

#### **Recolección de las muestras de sedimentos en el cono de Macuto:**

Como se observa en la figura 3, se tomaron 54 muestras de 30 estaciones distribuidas en la cuenca: 5 en la zona media, 3 en la confluencia entre el Río San José de Galipán y Río Escondido y 46 a lo largo y ancho del cono de Macuto. La recolección de las muestras fue realizada en todas las secuencias sedimentarias aun presentes en el abanico.

#### **Sedimentos en las quebradas de la cuenca:**

Se tomaron muestras en sitios específicos en las quebradas, como zonas de represamiento naturales donde se formaron terrazas fluviales nuevas y en la confluencia de drenajes importantes.

#### **En toda la cuenca:**

- Levantamiento geológico en los ríos y quebradas principales de la cuenca en las zonas de fácil acceso, ya que algunos sectores como la confluencia entre el Río Escondido y el Río San José de Galipán en sentido aguas arriba, presentan fuertes pendientes, haciendo en algunos casos imposible la continuación del itinerario de trabajo sin los equipos de escalada apropiados. Por lo tanto, se utilizó la información recopilada en trabajos anteriores.
- Levantamiento geológico en caminos y carreteras.
- Encuestas orales a las personas de la zona, sobre el estado actual del área comparado con el estado antes del evento del '99 (nivel del flujo, posición de las rocas y bloques, movimientos de masa, zonas de diques naturales y otros rasgos fisiográficos).

### **1.5.3 Etapa de Laboratorio**

#### **1.5.3.1 Objetivos específicos:**

- Determinar la granulometría de los sedimentos sueltos.
- Clasificar los sedimentos seleccionados de acuerdo al tamaño de grano.
- Interpretar los datos granulométricos obtenidos de los sedimentos estudiados a través del cálculo y análisis de los parámetros estadísticos de cada muestra.

#### **1.5.3.2 Equipos :**

- Tambor vibratorio con los tamices # C, A, 5, 7, 10, 14, 18, 25, 35, 45, 60, 80, 120, 170, 230 y bandeja.
- Balanza digital.
- Tablas para el asentamiento de los resultados obtenidos en el tamizado (Tabla 2).
- Lupas estereoscópicas.
- Cartas de apreciación visual para determinar esfericidad y redondez.

#### **1.5.3.3 Procedimiento para el tamizado de las muestras:**

- Selección de las muestras y secado de aquellas que estuviesen húmedas.
- Proceso de cuarteo para la selección homogénea de 300 grs. de muestra.
- Tamizado: se realizó en dos partes. Primero se tamizó la fracción más gruesa utilizando los tamices #C hasta #25, y luego la fracción fina con los tamices sobrantes. Cada uno de estos procesos tuvo una duración de 15 minutos.
- Pesado de la fracción de sedimentos retenidos en cada tamiz.
- Llenado de la tabla con los datos granulométricos obtenidos (Tabla 2).
- Elaboración de los respectivos histogramas de frecuencia, curvas de tendencia y curva de frecuencias acumuladas utilizando las propiedades que brinda el programa de hojas de calculo Excel de *Microsoft Office*.

Tabla 2. Tabla utilizada para asentar los valores obtenidos del tamizado.

TAMIZ	ABERTURA ?	Peso retenido	Peso corregido	%Peso corregido	%Peso acumulado	INTERVALO DE CLASES	%Peso corregido (clase)
C	-3.0						
A	-2.5						
5	-2.0						
7	-1.5						
10	-1.0						
14	-0.5						
18	0						
25	0.5						
35	1.0						
45	1.5						
60	2.0						
80	2.5						
120	3.0						
170	3.5						
230	4.0						
Bandeja	4.5						
Pt							

**1.5.3.4 Cálculo de los parámetros granulométricos:**

a. Mediana:  $Md = f 50$

b. Coeficiente de escogimiento (según FOLK 1953):

$$s1 = (f 84 - f 16) / 4 + (f 95 - f 5) / 6.6$$

Tabla 3. Valores parámetros para el grado de escogimiento.

s1	GRADO DE ESCOGIMIENTO
< 0.35	Muy bien escogido
0.35 – 0.50	Bien escogido
0.50 – 0.71	Moderadamente bien escogido
0.71 – 1.00	Moderadamente escogido
1.00 – 2.00	Mal escogido
2.00 – 4.00	Muy mal escogido
> 4.00	Extremadamente mal escogido

c. Coeficiente de asimetría gráfica incluyente (SK)

$$SK1 = f 84 + f 16 - 2f 50 / 2(f 84 - f 16) + f 95 + f 5 - 2f 50 / 2(f 95 - f 5)$$

Tabla 4. Valores parámetros de la asimetría.

SK1	ASIMETRIA
1.0 a 0.3	Muy asimétrica hacia tamaños finos
0.3 a 0.1	Asimétrica hacia tamaños finos
0.1 a -0.1	Casi asimétrica
-0.1 a -0.3	Asimétrica hacia tamaños gruesos
-0.3 a -1.0	Muy asimétrica hacia tamaños gruesos

**d. Curtosis o angulosidad gráfica (KG)**

$$KG = f_{95} - f_5 / 2,44(f_{75} - f_{25})$$

Tabla 5. Valores parámetros de la curtosis.

KG	CURTOSIS
< 0.67	Muy platicúrtica
0.67 – 0.90	Platicúrtica
0.90 – 1.11	Mesocúrtica
1.11 – 1.50	Leptocúrtica
1.50 – 3.00	Muy Leptocúrtica
> 3.00	Extremadamente leptocúrtica

### 1.5.3.5 Procedimiento para la caracterización de los sedimentos

#### suelos:

1. De acuerdo a la forma adquirida por los histogramas de frecuencia, se tomaron las clases modales de cada muestra. En caso de ser polimodales, se observaron individualmente los tamaños de grano correspondientes.
2. Para cada grupo de sedimentos a observar, se realizó el cuarteo para tomar una fracción aleatoria y homogénea
3. Lavado y secado de cada fracción para eliminar cualquier partícula que impidiese hacer el estudio morfológico y mineralógico pertinente.
4. Observación de la morfología general y textura superficial de la fracción, utilizando la lupa estereoscópica para los granos cuyos tamaños

correspondiesen a los tamices C hasta 80. Este proceso se realizó de la siguiente manera:

- Se tomó una cantidad de 5 gr aproximadamente del sedimento y se colocó sobre una base de color negro para la apreciación más eficaz del color de los granos.
- Utilizando la carta comparativa para la estimación visual de porcentajes (figura 3), se anotó el porcentaje que representaba dentro del total cada categoría composicional de grano, es decir, fragmentos de roca (aquellos que tuviesen más de dos componentes minerales) cuarzo, micas, u otros minerales identificables. Cabe destacar que para los fragmentos de roca se realizaron sub-categorías, de acuerdo a las características composicionales más abundantes.

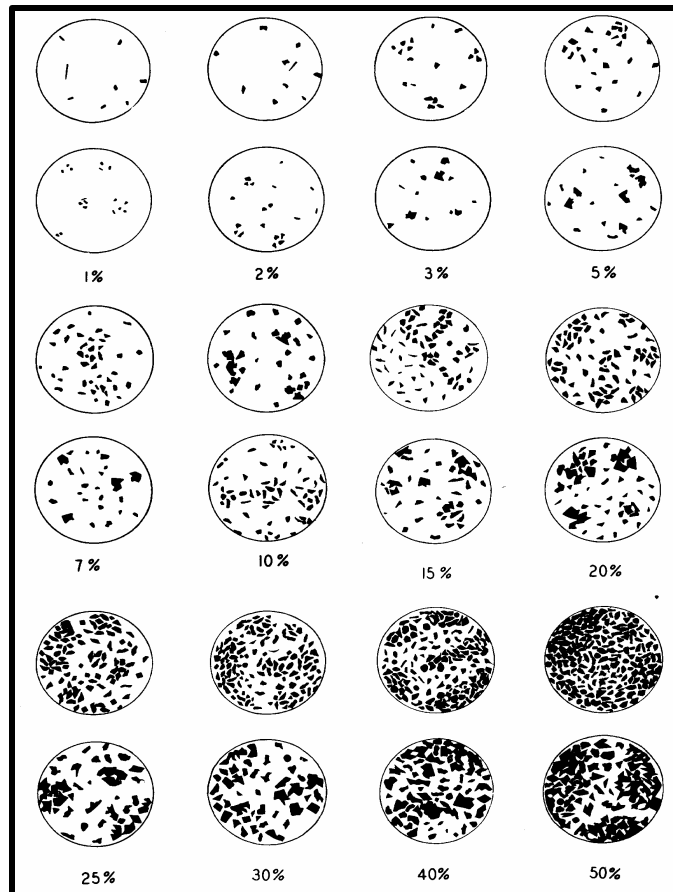


Figura 3. Carta comparativa para la estimación visual de porcentajes. Tomado de ANÓNIMO (1979).

- Se estimó el grado de redondez general de cada categoría composicional utilizando la carta comparativa para la estimación visual del grado de redondez (figura 4).

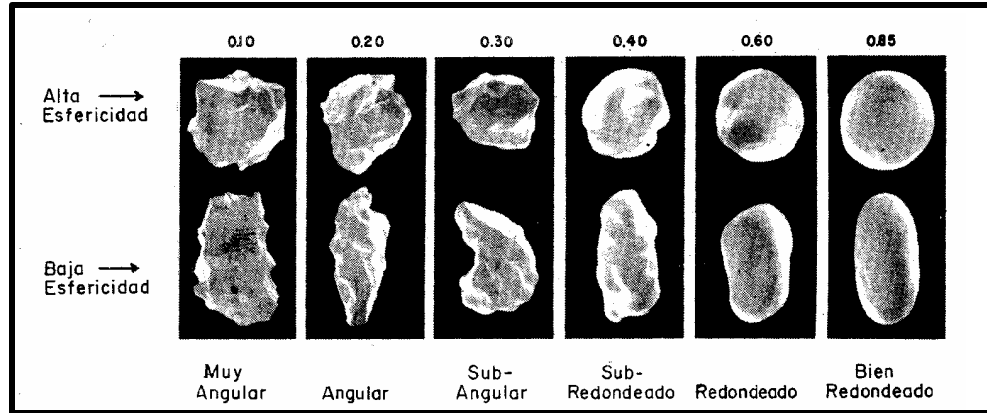


Figura 4. Carta comparativa para la estimación visual del grado de redondez y esfericidad. Tomado de POWERS (1954)

- Por último, de acuerdo a las relaciones entre los radios axiales de los granos, se estimó visualmente la forma según ZINGG (1954) y la relación de esfericidad según POWERS (1954) (figuras 4 y 5 respectivamente)

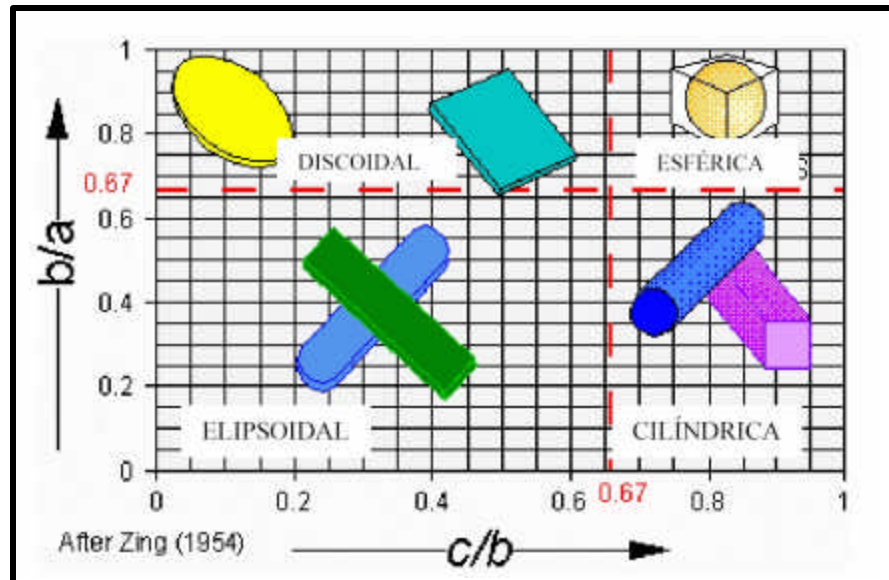


Figura 5. Formas de ZINGG (1954). Tomado de LA FORTUNE (2002.)



## 2 GEOGRAFÍA FÍSICA

### 2.1 Relieve

El Macizo del Ávila se limita al norte en el Mar Caribe y al sur con el valle tectónico de Caracas (semi-graben) a 880 m s.n.m. (CASTILLO & SUÁREZ 2000). Presenta un paisaje montañoso, definido por una fila principal (Fila Maestra) de aproximadamente 100 km de longitud con dirección E-W, el cual presenta una cresta con forma ondulada producto de los patrones de fallamientos y plegamientos (CANO & MELO 2000, Figura 6)

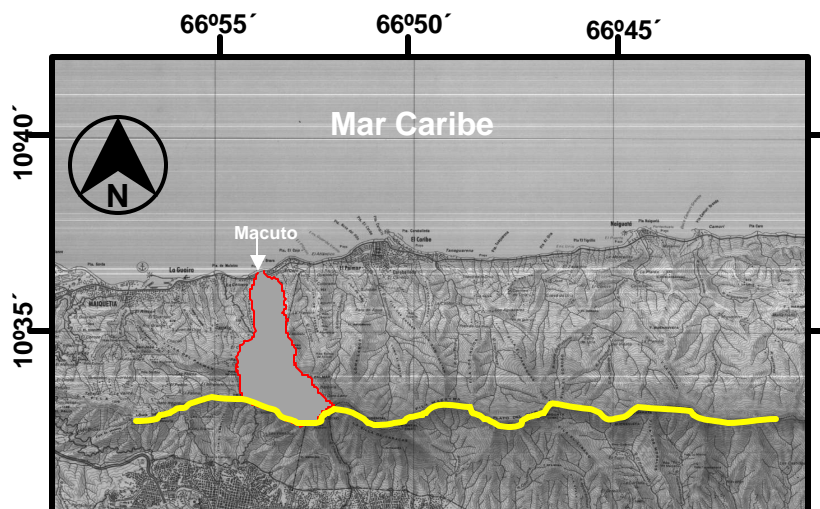


Figura 6. Mapa mostrando la forma ondulada de Fila Maestra (línea amarilla) y se indica en rojo el área de la cuenca de San José de Galipán.

Al realizar un corte longitudinal al Macizo del Ávila (tomando como referencia el punto más alto del macizo que es el pico Naiquatá con 2.765 m s.n.m), se nota que sus laderas son asimétricas con una ligera concavidad, siendo en los flancos al norte mucho más ancha con aproximadamente 9 km en distancia horizontal comparada con las laderas del flanco sur, el cual solo tiene 4 km aproximadamente.

De la fila principal parten estribos subparalelos con dirección N10°-30°W en su flanco norte y N20°-40°W en su flanco sur, ambos flancos presentan valles encajados en forma de "V".

La zona de estudio, ubicada en la cuenca de San José de Galipán (ver figura 2) tiene 15 km<sup>2</sup> aproximadamente, limita al Norte con el Mar Caribe y al Sur con el valle tectónico de Caracas (semi-graben) a 880 m s.n.m (CASTILLO & SUÁREZ 2000). Está conformada por un relieve montañoso de valles estrechos con pendientes abruptas; con cotas que van desde 2.275 m s.n.m en Lagunazos hasta 0 m s.n.m en la zona costera del poblado de Macuto.

La línea de cresta de la Fila Maestra tiene un rumbo preferencial E-W pero presenta ciertos cambios de dirección; desde Topo Infiernito (límite Oeste de la cuenca) hasta la estación del teleférico El Ávila tiene un rumbo de N30°W en donde toma una nueva dirección de N10°E conservándola hasta el Pico El Ávila en donde cambia a N50°E por 1,3 km hasta llegar al final de la cuenca al Este (Lagunazos).

Estos cambios de dirección en el rumbo son producto del patrón de fallamiento y plegamientos NW-SE los cuales producen la formación de estructuras en forma de “eses” a lo largo de la cresta del Macizo del Ávila.

En la topografía observada desde la Fila Maestra hasta el poblado de Macuto en la costa, se observan escalones diferenciados por los cambios de pendientes que van descendiendo hacia el norte como se muestra en la figura 7, estos cambios de pendientes se deben a los cambios de litología y al patrón de cizallamiento.

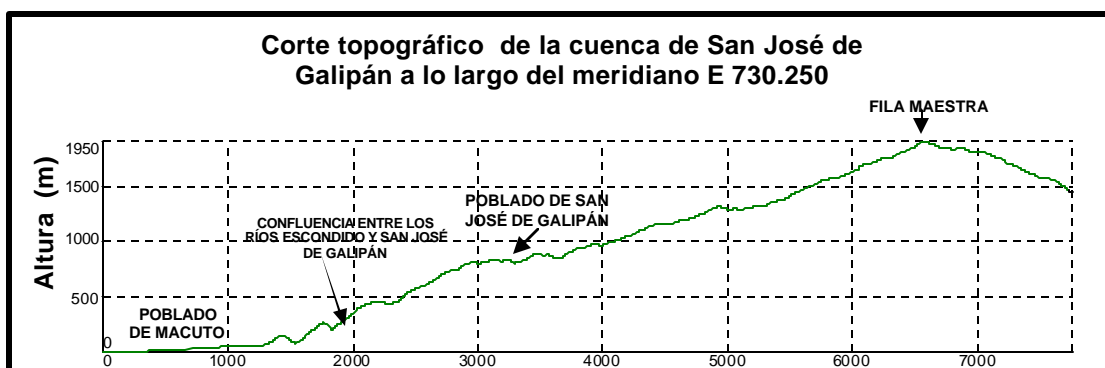


Figura 7. Corte topográfico por el meridiano E 730.250 donde se muestran los cambios de pendiente en el flanco norte del Macizo del Ávila.

Debido a estos cambios de pendiente se dividió la cuenca de estudio en 3 zonas, tal y como se muestra en la figura 8:

**Cuenca alta:** este primer nivel se encuentra desde los 2.200-1.900 m s.n.m hasta los 1.400 m s.n.m aproximadamente, siendo esta la parte más ancha de la cuenca con 5 km en extensión lateral y con una distancia horizontal de 2 km, presentando una pendiente entre los 35°-40°. Los valles presentes en esta zona son encajados y muy angostos en forma de "V" con sus laderas laterales muy agudas y pendientes comprendidas entre 70° a 90°. Las laderas al Este y Oeste son muy empinadas de aproximadamente 80° hasta casi los 90°.

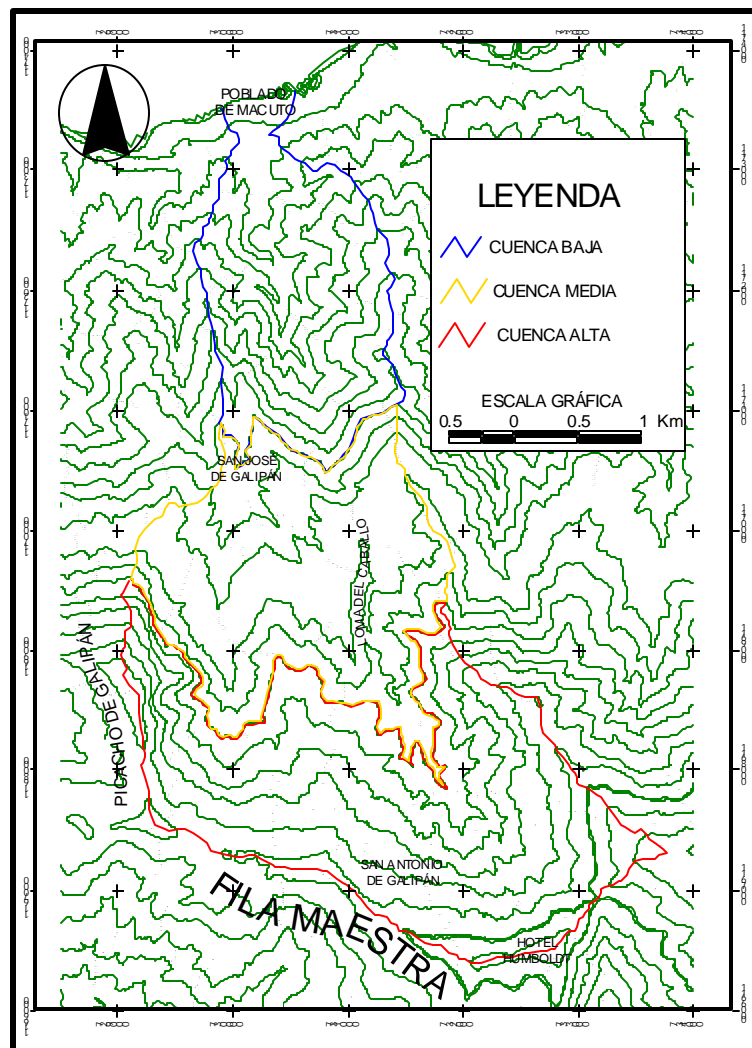


Figura 8. Mapa de división de las sub-cuencas de la zona de estudio.

**Cuenca media:** corresponde a las cotas comprendidas entre los 1.400 m hasta los 600 m s.n.m, observándose cambios en la pendiente, con un primer nivel que se encuentra entre las cotas 1.400 m s.n.m y 1.000 m s.n.m, en donde la cuenca se hace más angosta con una extensión lateral de aproximadamente 3 km y una distancia horizontal de 0,5 km. Las pendientes son entre moderadamente abruptas a suaves de 20° a 25° de inclinación, que aumentan ligeramente de 35° a 45° entre las cotas 1.250 m s.n.m. y 800 m s.n.m . Los valles en esta zona se caracterizan por ser muy encajados y angostos.

El segundo nivel se localiza desde la cota 800 m hasta aproximadamente 600 m s.n.m., con una distancia horizontal de 1 km y una extensión lateral de casi 1,5 km. La pendiente es suave y los valles son encajados y con una forma de “V” aguda con laderas muy abruptas, son angostos y presentan una serie de saltos en forma de cascadas de 20-40 m de altura a lo largo de los valles.

**Cuenca baja:** se encuentra entre las cotas 600 hasta los 0 m n.s.m., presenta una pendiente suave de aproximadamente 5°-10° con valles en forma de “v” muy angostos los cuales se van ensanchando a medida que desciende en cota hasta llegar al poblado de Macuto.

## 2.2 Drenaje

La cuenca de San José de Galipán cuenta con una extensión de 15 km<sup>2</sup> aproximadamente, cuyo sistema de drenajes presenta un patrón dendrítico en la parte alta de la cuenca, mientras que en la zona baja, presenta un patrón sub-paralelo oblicuo. Como se muestra en la figura 9, los drenajes principales se conocen con los nombres de Quebrada San José de Galipán, Quebrada Los Perros, Río Escondido y Río Macuto.

A continuación se describe el patrón de los drenajes de la cuenca, dividiendo cada una en sub-cuencas:

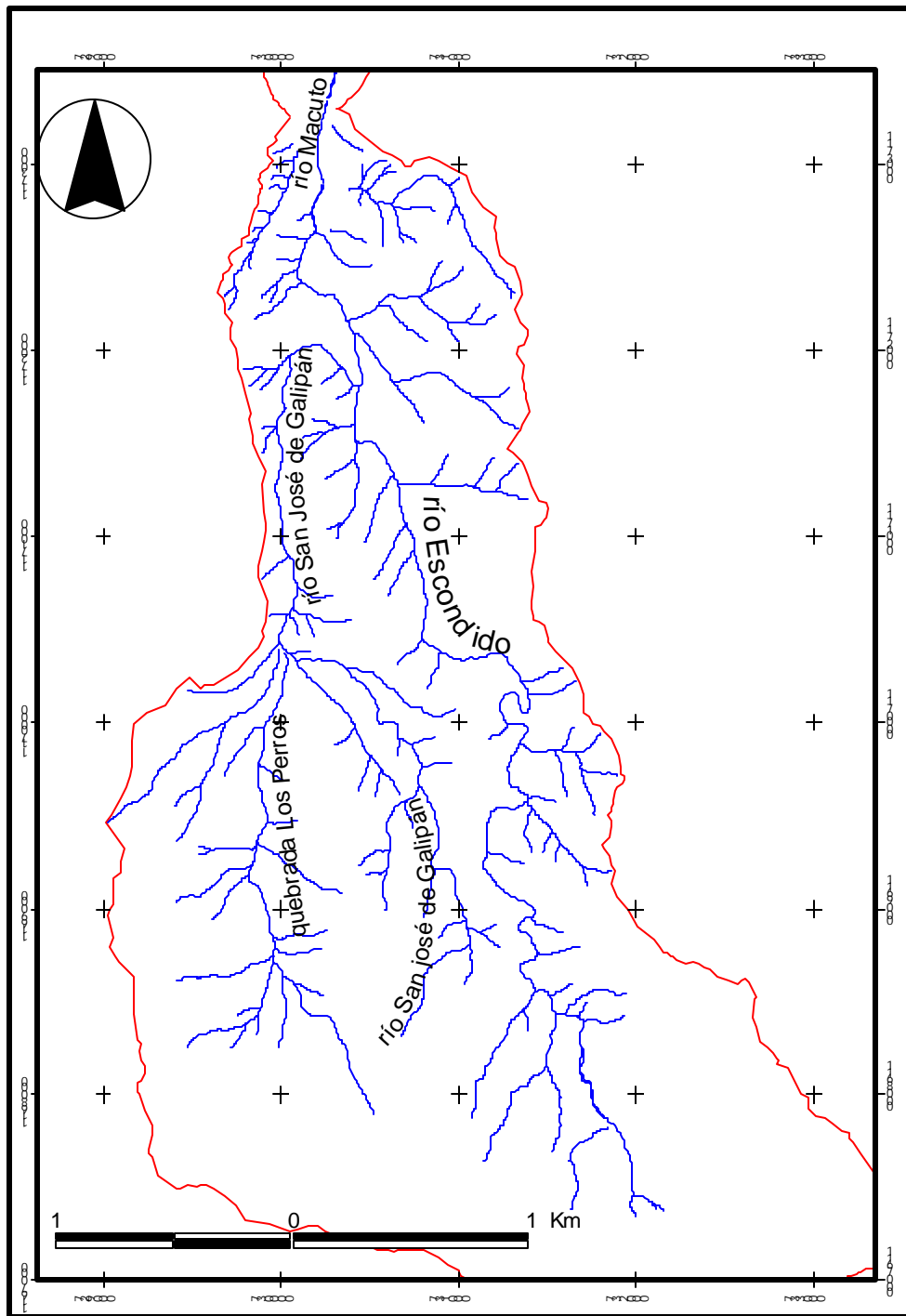


Figura 9. Principales ríos y quebradas de la cuenca de San José de Galipán.

La parte alta de la cuenca se divide en dos subcuencas, una está definida por el Río Escondido (al Este) y la otra correspondiente a la Quebrada Los Perros y al Río San José de Galipán (al Oeste) (Figura 10).

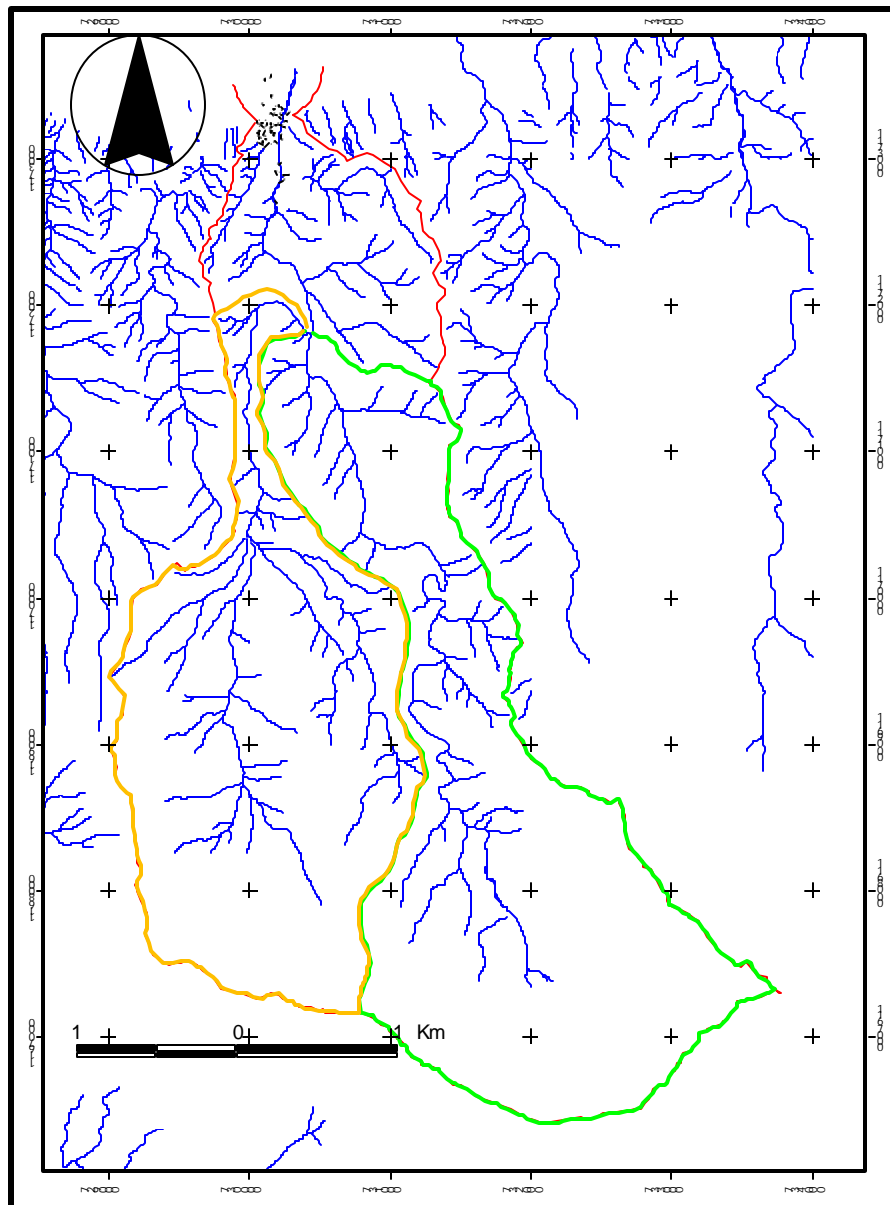


Figura 10. División de las sub-cuencas de la cuenca alta y parte de la media, en donde se delimitan la sub-cuenca del río Escondido (línea verde) y la de quebrada Los Perros (línea amarilla).

La sub-cuenca de Río Escondido presenta en su recorrido quiebres muy pronunciados, producto de un conjunto de fallas (foto interpretadas) asociadas a la falla principal de Chacaito. En este transecto, el cauce presenta un patrón bastante angosto y encajonado con saltos de agua de hasta 20 m de altura. Los drenajes tributarios correspondientes al lado Este presentan un patrón casi sub-paralelo, mientras que los correspondientes al lado Oeste tienden a ser dendríticos, siendo en ambos casos el drenaje angosto y bien entallado.

La sub-cuenca de la Quebrada Los Perros presenta un patrón de drenaje mucho más rectilíneo que el del Río Escondido con una dirección preferencial N-S. Los saltos de agua son marcadamente menos abundantes pero más pronunciados, debido a la acumulación de grandes bloques gneísicos de 5 a 6 m de diámetro en las zonas de encajonamiento. El cauce tiene una anchura promedio de 5 a 8 m, y el patrón de los drenajes tributarios tiende a ser dendrítico y menos encajonado que en la sub-cuenca del Río Escondido.

La parte media de la cuenca se caracteriza por un ensanchamiento considerable en el cauce y una disminución en la pendiente de la Quebrada Los Perros, siendo aquí el punto en el cual la quebrada cambia de nombre a Río San José de Galipán. También ocurre la confluencia de abundantes tributarios con este drenaje, los cuales presentan un patrón dendrítico con trayectorias rectilíneas a la altura del poblado de San José de Galipán. Por otro lado, el Río Escondido presenta en su trayectoria una serie de bayonetas y caídas de agua de 10 m de altura aproximadamente.

La cuenca en su parte baja se caracteriza por la unión de los dos ríos San José de Galipán y Escondido entre las cotas 175 y 150 m s.n.m, en donde se unen formando una gran curva (figura 11). A partir de este punto el patrón de drenaje cambia a sub-paralelo oblicuo, y el drenaje principal (Río Macuto) sigue encajado hasta la cota 400 m s.n.m. Luego, el cauce se ensancha notablemente hasta su desembocadura en el mar formando el

cono de Macuto. Por otro lado, los drenajes tributarios son muy escasos, encajonados y con cauces muy angostos.



Figura 11. Foto mostrando la confluencia entre Río Escondido y Río San José de Galipán. (Rumbo de la foto S-N).

### 2.3 Vegetación

La cordillera de la Costa se caracteriza por presentar alturas que varían desde el nivel del mar hasta 2.765 m (Pico Naiguatá), esta variedad de alturas conlleva a la formación de diferentes tipos de vegetación. Observando la montaña desde el valle de Caracas es fácil distinguir los diferentes tipos de vegetación dispuestos en franjas horizontales: en las laderas inferiores se tiene el tipo sabanero o arbustivo única de la vertiente sur del Macizo Del Ávila, seguida hacia las cotas superiores de bosques que se van haciendo más densos hasta los 2.000 m, a partir de allí aparece de la vegetación baja, esta vez en forma de sub-páramo. La clasificación más común para la vegetación del parque propuesta por HUBER (1984) se muestra a continuación en la figura 12.



**Vegetación xerófila:** este bosque se encuentra sólo en la vertiente norte, entre el nivel del mar y los 500 m s.n.m de altitud, caracterizado por árboles no muy altos, resistentes a altas temperaturas y algunas especies de cactus. Las especies más típicas son el cují negro, el carmacate, el tiamo, el dividivi, el olivito, el indio desnudo, el roble, el cardón, la tuna, el guamacho y el cariaquito.

**Bosque Tropófilo o veranero:** esta conformado en su mayoría por árboles decíduos, es decir, árboles que pierden su follaje durante la sequía; esto le da un aspecto de extrema aridez y una coloración grisácea en las copas durante la época de verano. Este bosque se encuentra en las partes bajas de la montaña en la franja entre los 500 y 1.200 m s.n.m y las principales especies que lo conforman son el copey, el jabillo, el araguaney, el bucare, el pardillo y el indio desnudo.

**Bosque de transición:** intervenido por el hombre, que durante muchos años lo usó para los cafetales, además se han introducido varias especies no autóctonas para dar sombra y frutas, es común el platanillo. Este tipo de vegetación se encuentra en una pequeña franja que oscila entre los 900 a 1.100 m s.n.m.

**Bosque nublado:** se presenta en la vertiente norte en algunos sectores a partir de los 900 m s.n.m y en la vertiente sur a partir de los 1.600 m s.n.m hasta los 2.000 m s.n.m. Tiene su origen en la frecuente y constante capa de niebla que se forma a esta altura. En esta selva los árboles son de porte elevado y están siempre verdes, tienen en sus troncos una gran variedad de especies de la familia de las orquídeas, helechos, Bromeliáceas, Aráceas, Peperonias, Cesneriáceas, Rubiáceas y Mirtáceas. Son abundantes también los helechos arborescentes y una gran variedad de Palmeras. Los árboles más representativos son el guayabo de hierro, varias especies de matapalo, el almendro, la santa maría, el quesillo y el copey.

**El sub páramo o matorral andino:** esta vegetación se desarrolla en las regiones con alturas superiores a los 2.200 m s.n.m La mayor concentración de este tipo de vegetación ocurre en la zona del pico Naiguatá, pico Oriental, Occidental, La Silla, y la Fila Maestra. Entre las especies más representativas encontramos el incienso, la rosa del Ávila, el bambucillo, la hierba de páramo, el lirio de monte y orquídeas.

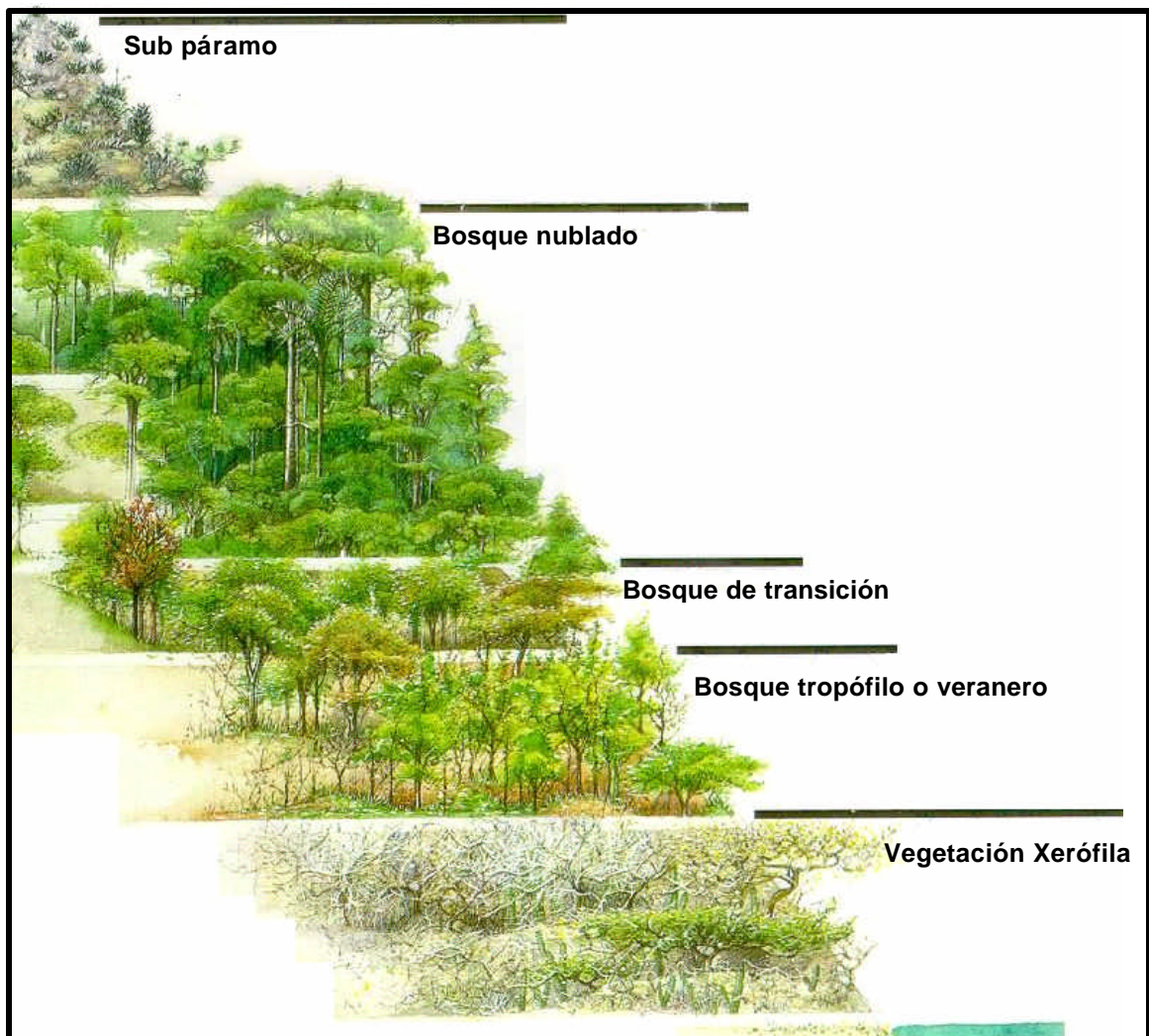


Figura 12. Esquema del tipo de vegetación en el flanco norte del macizo Ávila elaborado por HUBER (1984). Tomado de MELO & CANO (2001)

## 2.4 Clima

El Macizo del Ávila, presenta varios pisos climáticos dependiendo de la altura, viéndose reflejado estos cambios climáticos en el tipo de vegetación preponderante. En las zonas cercanas a la costa y hasta aproximadamente 500 m s.n.m. se tienen temperaturas que varían anualmente entre 26 y 38 °C. A medida que se va ascendiendo las temperaturas van disminuyendo hasta llegar a los 14 y 4 °C (LA FORTUNE 2002).

El gradiente térmico calculado para Venezuela es de 0,61 °C por cada 100 m que se sube según ROHL (1950). En las regiones elevadas de la Cordillera de la Costa son frecuentes las formaciones nubosas y nieblas las cuales mantienen condiciones de elevada humedad entre un 80-85% durante la mayor parte del día.

Estas condiciones son las que permiten la formación de bosques de gran tamaño, y también son las que provocan una meteorización rápida de las rocas allí presentes.

El clima tropical está caracterizado por períodos de lluvias durante 8 ó 9 meses entre los meses de mayo a enero y por períodos de sequía que tienen duración de 3 a 4 meses (NIETO 2003).

La precipitación media anual es de 870 mm, con un máximo total de 1.100 mm y un mínimo total de 660 mm., la evaporación total varía sobre los 900 mm anuales (NIETO 2003).

### **Anomalía climática de diciembre de 1999**

Durante el mes de diciembre de 1999 se registraron precipitaciones anómalas debido a que a mediados de noviembre de dicho año se generó un anticiclón en el Océano Atlántico Sur. Esta corriente de aire se unió al ciclón Lenny al sur de la Florida para ser luego desviada al sudeste por un frente frío que venía del norte continental. Debido a la circulación inversa del ciclón, los vientos incidían sobre la costa venezolana hacia el este – noreste, al

contrario de los alisios, vientos del este más del 90% de los días (ANÓNIMO 2003).

De esta manera, una gran masa de aire saturada de vapor de agua a baja temperatura, correspondiente a su elevación de hasta 7.000 m, entró en el continente atraída por la relativamente baja presión causada por temperaturas menos frías. Esto causó un estado de sobresaturación, con la consecuente precipitación a partir de la ladera Norte de la Serranía del Litoral, hasta más allá del Sur de Caracas.

De acuerdo a los datos proporcionados por las imágenes satelitales infrarrojos del GOES-8, en la cuenca de San José de Galipán se registraron niveles de precipitación entre 400 y 375 mm en 3 días (Figura 13).

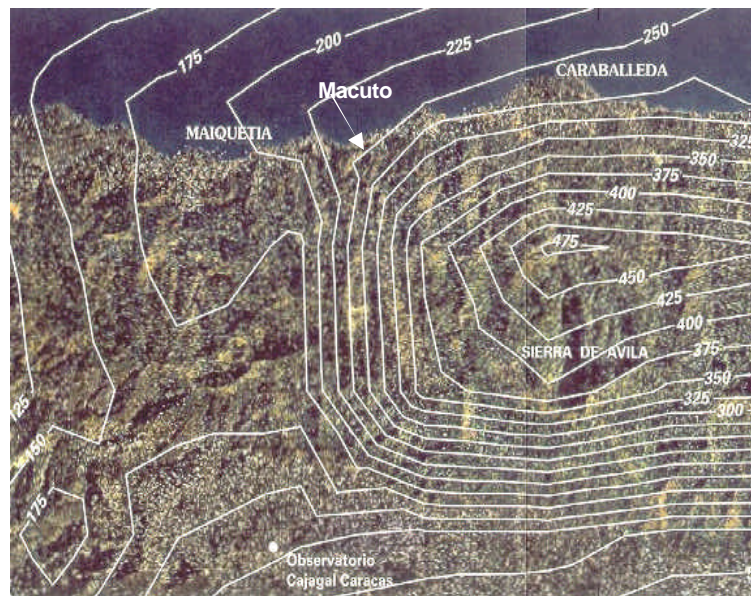


Figura 13. Mapa de la estimación de lluvia, utilizando datos de NOAA, mediciones de precipitación en Maiquetía y el Observatorio Cajagal, basados en datos satelitales infrarrojos del GOES-8. Tomado de USGS (2002).

### 3. SUELOS

La definición de “suelo residual” varía de un país a otro, pero una definición podría ser la de un suelo derivado por la meteorización y descomposición de la roca *in situ* (BLIGHT 1997 en SUÁREZ 1999).

Las propiedades de los suelos residuales son generalmente, controladas por la fábrica micro o macro, las juntas y demás detalles estructurales, los cuales eran parte de la roca original y son heredados por el suelo.

Los suelos residuales se encuentran en las zonas tropicales, donde aparecen en grandes espesores y con frecuencia se les denomina como “suelos tropicales” y son escasos en las regiones no tropicales. La zona de suelos residuales se concentra en el sector norte de América del sur, Centroamérica, África, Australia, Oceanía y el sur de Asia (SUÁREZ 1999).

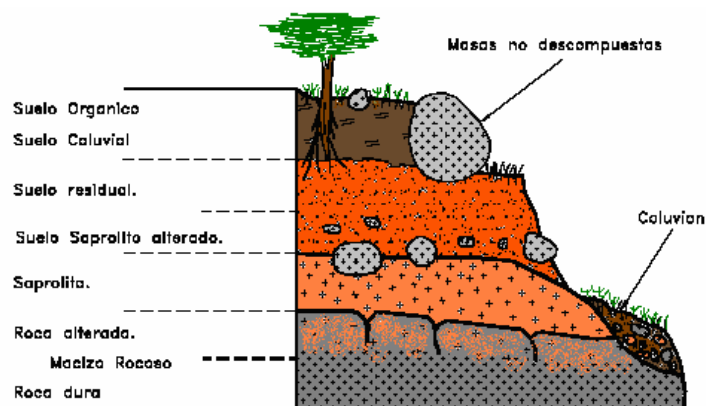


Figura 14. Perfil de suelo en zonas tropicales. Tomado y modificado de SUÁREZ (1999)

Debido a la alta concentración de hierro, los suelos resultantes son de tendencia a coloración roja en el proceso más completo de meteorización y por esta razón algunos autores los denominan como “suelos rojos tropicales” (SUÁREZ 1999).

Los suelos residuales son el producto de la meteorización en el sitio de las formaciones rocosas. También en algunas formaciones de suelos aluviales, estos han sido meteorizados en tal forma que pueden asimilarse

en su comportamiento a los suelos residuales. Adicionalmente, a los suelos residuales comúnmente se les encuentra acompañados por coluviones y un gran porcentaje de los movimientos de las laderas de suelos residuales están relacionados con la inestabilidad de los coluviones.

Como se muestra en la figura 14, el resultado es un perfil compuesto por materiales muy heterogéneos, que van desde la roca sana pasando por rocas meteorizadas o "saprolitos" hasta el "suelo" o material completamente meteorizado y coluviones (BRAND & PHILLIPSON 1.985 en SUÁREZ 1999).

Como características de los suelos residuales pueden mencionarse las siguientes:

1. No pueden considerarse aislados del perfil de meteorización, del cual son solamente una parte componente. Para definir su comportamiento y la posibilidad de ocurrencia de deslizamientos, pueden ser más importantes las características del perfil que las propiedades del material en sí.
2. Son generalmente muy heterogéneos y difíciles de muestrear y ensayar.
3. Comúnmente, se encuentran en estado húmedo no saturado, lo cual representa una dificultad para evaluar su resistencia al corte.
4. Generalmente, poseen zonas de alta permeabilidad, lo que los hace muy susceptibles a cambios rápidos de humedad y saturación.

Tabla 6. Sistema de clasificación del perfil de meteorización empleado en Hong Kong

Tomado de SUÁREZ (1999).

Grado	Descomposición	Detalles de diagnóstico en las muestras
VI	Suelo	No aparece textura reconocible de roca. Las capas superficiales pueden contener materia orgánica y raíces.
V	Completamente descompuesta	Roca completamente descompuesta pero aún aparece textura de roca ligeramente reconocible.
IV	Muy descompuesta	Pedazos grandes que pueden ser destruidos con las manos.
III	Moderadamente descompuesta	Pedazos grandes que no pueden ser descompuestos por las manos (muestras tomadas con broca a rotación).
II	Algo descompuesta	Aparece como roca sana pero tiene manchas
I	Roca sana	

## **4 MOVIMIENTO DE MASAS**

### **4.1 Definición y Origen**

Según SUÁREZ (1999) los movimientos de masa, consisten en el desplazamiento de corte a lo largo de una o varias superficies, que pueden detectarse fácilmente dentro de una zona relativamente delgada. El movimiento puede ser progresivo, es decir, que no se inicia simultáneamente a lo largo de la superficie de falla. Pueden estar compuestas por una sola masa que se mueve, o puede comprender varias unidades o masas semi-independientes. Los deslizamientos pueden obedecer a procesos naturales o a desestabilización de masas de tierra por el efecto de cortes, rellenos, deforestación, etc.

Los movimientos de roca y suelo se pueden considerar como destructivos cuando son producidos durante o inmediatamente después de lluvias de más de 50 mm o 100 mm/día, con un umbral crítico de 70 mm/día, dependiendo de la zona. La razón se debe a que los suelos se encuentran saturados y las lluvias hacia finales del período lluvioso, que tengan suficiente intensidad, sirven como detonantes. Las zonas montañosas tropicales son muy susceptibles a sufrir problemas de deslizamientos de tierra debido a que generalmente, se reúnen cuatro de los elementos más importantes para su ocurrencia: topografía, sismicidad, meteorización y lluvias intensas (SUÁREZ 1999).

### **4.2 Morfología de los movimientos de masas**

#### **4.2.1 Nomenclatura de un deslizamiento (Tomado de SUÁREZ 1999)**

Como se muestra en la figura 15, los deslizamientos se componen de los siguientes elementos:

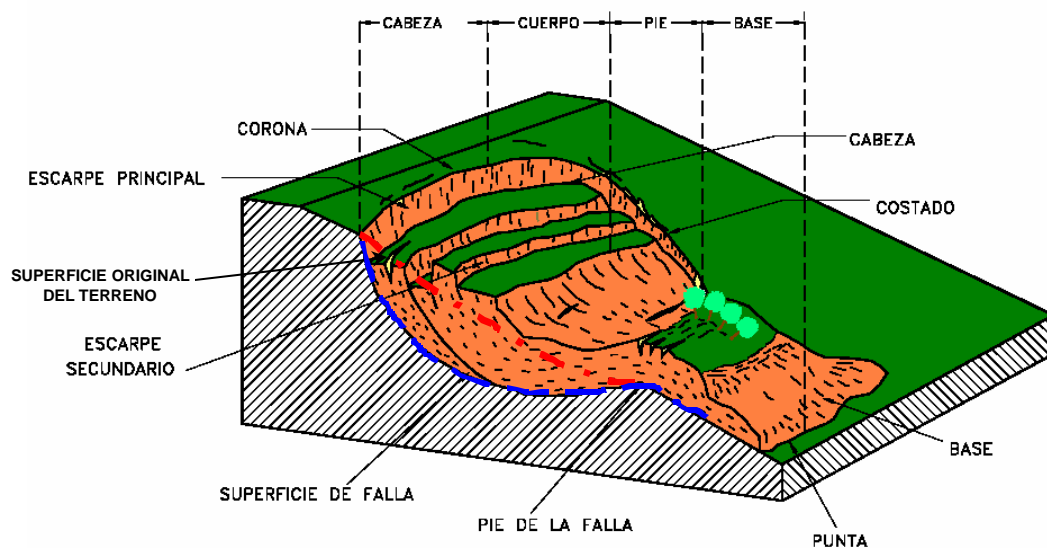


Figura 15. Forma y componentes de un deslizamiento. Tomado de SUÁREZ (1999)

**1) Escarpe principal:** corresponde a una superficie muy inclinada a lo largo de la periferia del área en movimiento, causado por el desplazamiento del material fuera del terreno original. La continuación de la superficie del escarpe dentro del material forma la superficie de falla.

**2) Escarpe secundario:** corresponde a una superficie muy inclinada producida por desplazamientos diferenciales de la masa que se mueve.

**3) Cabeza:** son las partes superiores del material que se mueve a lo largo del contacto entre el material perturbado y el escarpe principal.

**4) Cima:** el punto más alto entre el material perturbado y el escarpe principal.

**5) Corona:** el material que se encuentra en el sitio, prácticamente inalterado y adyacente a la parte más alta del escarpe principal.

**6) Superficie de falla:** corresponde al área debajo del movimiento que delimita el volumen de material desplazado. El volumen de suelo por debajo de la superficie de falla no se mueve (línea azul punteada).

**7) Pie de la superficie de falla:** es la línea de intersección (algunas veces cubierta) entre la parte inferior de la superficie de rotura y la superficie



original del terreno.

**8) Base:** el área cubierta por el material perturbado abajo del pie de la superficie de falla.

**9) Punta o uña:** el punto de la base que se encuentra más distante de la cima.

**10) Costado o flanco:** perfil lateral del movimiento.

**11) Superficie original del terreno:** la superficie que existía antes de que se presentara el movimiento (línea roja).

### 4.3 Clasificación de los movimientos de masas

Los movimientos de masas inicialmente, se clasifican en términos de los fenómenos de transporte de masas (avalanchas, flujos, fenómenos de escurrimiento y deyección de materiales), y los desplazamientos de masas (reptamiento, desprendimientos, deslizamientos, subsidencias y propagación lateral de materiales). En segundo lugar se clasifican por la rapidez de los movimientos, considerando como movimientos rápidos a los deslizamientos de tierra, flujos de lodo, y flujos de tierra. Como movimientos lentos se consideran la solifluxión (SUÁREZ 1999).

Varios autores han propuesto diferentes tipos de clasificación para los movimientos de masas, basándose para esto en las características físicas, morfológicas, tipo de material y rata de movimiento. Entre estos autores se encuentran HUTCHINSON (1988), DIKAU (1996) y SUÁREZ (1999), entre otros.

#### 4.3.1 Deslizamientos

Pueden ser profundos (sin control estructural), caídas de detritos (con control estructural) y deslizamientos de rocas (con control estructural). Los deslizamientos pueden ser rotacionales (superficie de falla curva y suelo cohesivo) o traslacionales (superficie de falla plana y suelo friccionante).

**Deslizamiento de roca:** son de carácter rápido y repentino. Estos

movimientos, los más catastróficos de todos, se dan a lo largo de planos de debilidad de las unidades de roca (SUÁREZ 1999).

**Deslizamiento rotacional:** donde la superficie de falla es formada por una curva cuyo centro de giro se encuentra por encima del centro de gravedad del cuerpo en movimiento. En muchos casos se forma una superficie cóncava en forma de “cuchara”, con el escarpe debajo de la corona tendiendo a ser semi-vertical, lo cual facilita la ocurrencia de movimientos retrogresivos. Por lo general, los deslizamientos rotacionales de suelo ocurren en suelos homogéneos, naturales o artificiales (SKEMPTON & HUTCHINSON 1969).

**Deslizamientos de traslación:** cuando el movimiento de la masa se desplaza hacia fuera o hacia abajo, a lo largo de una superficie más o menos plana o ligeramente ondulada, con muy poco o ningún movimiento de rotación. Pueden progresar indefinidamente a lo largo de la ladera hacia abajo. Estos movimientos son comúnmente controlados por las superficies de debilidad, y en muchos casos se deforma y/o rompe convirtiéndose en un flujo. Se dividen en tres tipos:

- a) En bloque:** deslizamiento sobre discontinuidades sencillas en roca.
- b) De cuña:** cuando ocurren a lo largo de discontinuidades.
- c) En escalera:** cuando se presenta sobre varios niveles de una familia de discontinuidades.

#### 4.3.2 Flujos Rápidos

Se clasifican en 3 categorías (SUÁREZ 1999):

**a) Flujos de baja velocidad:** flujos de tierra, que pueden transformarse en un flujo de lodo si hay aporte de agua. Presentan movimiento plástico de depósitos de tierra no consolidados. Se caracterizan por un movimiento muy lento pero perceptible. Los bloques conservados en la parte alta emulan a los desplomes, mientras las partes más bajas fluyen manteniendo su carácter

plástico.

**b) Flujos de velocidad moderada:** flujos de lodo que no aportan volúmenes significativos de roca y los sólidos están dominados por material fino. Masas mezcladas de tierra, roca y agua en avalancha, que fluye con la consistencia del concreto. Se producen por los procesos de deshielo o por lluvia repentina, inundando finalmente los valles de salida de los ríos.

**c) Flujos de alta velocidad:** avalanchas de detritos. Son enormes y permiten diferenciar bien un canal o un cuello que conecta una zona de alimentación y otra de descarga. Los flujos de detritos también se consideran como movimientos rápidos debido a las altas pendientes, pero no compiten con las avalanchas.

#### **4.3.3 Carcavas de erosión torrencial concentradas**

Son excavaciones lineales provocadas por una erosión de manera concentrada (figura 16).

#### **4.3.4 Desprendimientos**

Son volcamientos, caídas, saltamientos y rodamientos de roca.

#### **4.3.5 Fallas de taludes**

Son desprendimientos de fragmentos de roca provenientes de acantilados que caen en una serie de saltos libre, rebotes y deslizamientos. La pendiente del talúd varía con la forma de los fragmentos de roca, pero rara vez supera los 40° de inclinación con el horizonte.

#### **4.3.6 Repteo**

Se da en pendientes suaves y en climas templados y tropicales, cuando el material no consolidado, en estado húmedo, fluye sin dejar marcas superficiales sobre la cubierta vegetal, como fisuras o quiebres en la cubierta. Algunas evidencias físicas son el flujo de árboles, postes y

pavimento inclinados, conducciones y estructuras que se agrietan y dislocan.

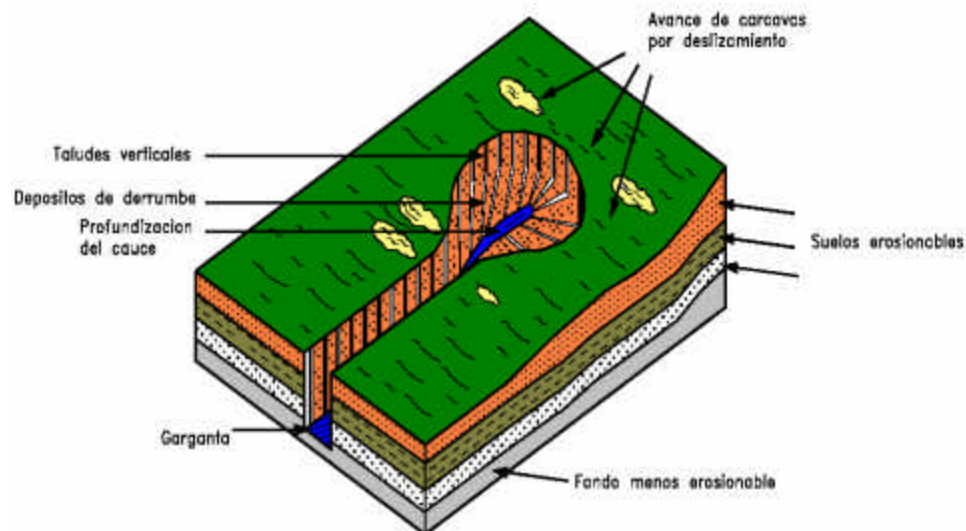


Figura 16. Se muestra la erosión dejada por flujos concentrados en zonas de material heterogéneo. Tomado de SUÁREZ (1999)

#### 4.4 Estado de actividad de un movimiento de masa

Según DIKAU (1996) el estado de actividad de un movimiento de masa se traduce como las formas topográficas o morfologías particulares cartografiables *in situ*. De acuerdo a los desplazamientos según el tiempo, estos se pueden dividir en 8 diferentes estados de actividad (figura 17):

**Activo:** movimiento de ladera en proceso de desencadenamiento actual. La figura A muestra la erosión en el pie de ladera como la causa del movimiento. En este caso la zona de cambio presenta formas frescas y bien definidas.

**En suspenso:** cuando un desplazamiento se produjo en los 12 meses anteriores pero sin actividad actual. La figura 17-B muestra la existencia de una grieta de tracción visible sobre la corona en la zona de cambio. Las formas son aún bastante frescas y bien definidas.

**Reactivado:** movimiento activo que estuvo inactivo. La figura 17-C pone de

manifiesto que un segundo basculamiento se produjo perturbando los materiales anteriormente desplazados. Las formas son frescas y bien definidas en la zona activada, mientras que en la zona del desplazamiento antiguo se pueden observar algunas evidencias geomorfológicas, tal como el crecimiento de los troncos en una nueva dirección.

**Inactivo:** fenómeno que no ha presentado desplazamiento durante los 12 últimos meses y que puede dividirse en los siguientes estados:

- **Latente:** un movimiento de terreno latente es un movimiento inactivo, pero que puede ser reactivada fácilmente si se somete a las mismas causas de desencadenamiento iniciales o a otras causas de inestabilidad. La figura 17-D pone de manifiesto que la masa desplazada comienza su cobertura de árboles (colonización progresiva), y los escarpes son ablandados por los procesos de meteorización, resplandor, etc.

- **Naturalmente estabilizado:** se trata de un movimiento inactivo que ya no es afectado por las causas de desencadenamiento iniciales. La figura 17-E pone de manifiesto que los depósitos fluviales protegen la base de la ladera y que el escarpe comienza a ser cubierto por una vegetación arbustiva.

- **Artificialmente estabilizado:** se trata de un movimiento inactivo que fue objeto de medidas de control para reducir o cancelar la acción de las causas iniciales de desencadenamiento. En la figura 17-F se construyó una pared de protección para cancelar los efectos vinculados a la supresión de impulso creada por erosión del pie de ladera.

- **Antiguo:** un movimiento de terreno antiguo o fósil es un movimiento inactivo que se había desarrollado bajo condiciones climáticas y geomorfológicas muy diferentes de las condiciones actuales. La figura 17-G pone de manifiesto que las formas del relieve original desaparecieron y se restableció una cobertura forestal uniforme. El término "apagado" (extinto) es a veces utilizado.

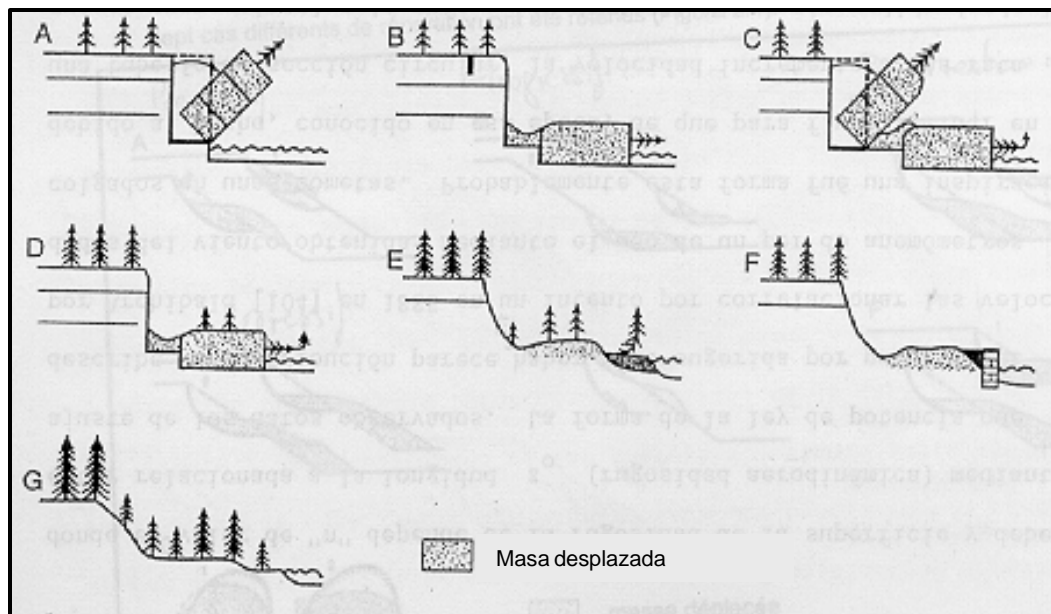


Figura 17. Diferentes estados de actividad en los movimientos de ladera (DIKAU *et al.* 1996). Ver la tabla 18 de los resultados.

#### 4.5 MORFOMETRÍA DE LAS LADERAS

De acuerdo a ANBALAGAN & SING (2001), existe una relación directa entre la frecuencia de ocurrencia para diferentes ángulos de buzamiento de las laderas en cualquier área y su historia geomorfológica, ya que este ángulo en cualquier unidad, refleja una serie de procesos micro-morfológicos y controles impuestos en ese plano. Para el estudio de las mismas se han asignado cinco diferentes categorías de LHEF o “Landslide Hazard Evaluation Factor” (Factor de Evaluación de Amenaza por Deslizamiento) que se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 7. Clasificación de las laderas de acuerdo al ángulo de buzamiento con respecto a la horizontal.

PENDIENTE DE LA LADERA	> 45°	45° - 35°	35° - 25°	25° - 15°	< 15°
CLASIFICACIÓN	escarpe acantilado	pronunciado abrupto	moderadamente abrupto	suave	muy suave

La determinación de este ángulo se realiza directamente con la observación en el campo a través del uso de la brújula geológica, o con la utilización del programa **ArcView**® **GIS 3.2** que permite el cálculo de las pendientes de manera automática. Esto se realiza generando un mapa tridimensional de la zona en donde se ajusta la máquina para colocar las pendientes respectivas en las laderas.

## 5 FLUJOS TORRENCIALES

Los flujos torrenciales son fenómenos que se han observado desde tiempos antiguos en regiones montañosas, y están asociados siempre a períodos de intensas y continuas lluvias en un solo lugar. Estos flujos son corrientes compuestas por agua, sedimentos detríticos granulométricamente heterogéneos, troncos de árboles, etc.; que recorren el torrente montañoso formando un fluido viscoso de gran velocidad y muy destructivo (COUSSOT 1996, en BARBOZA & RODRIGUEZ 2000).

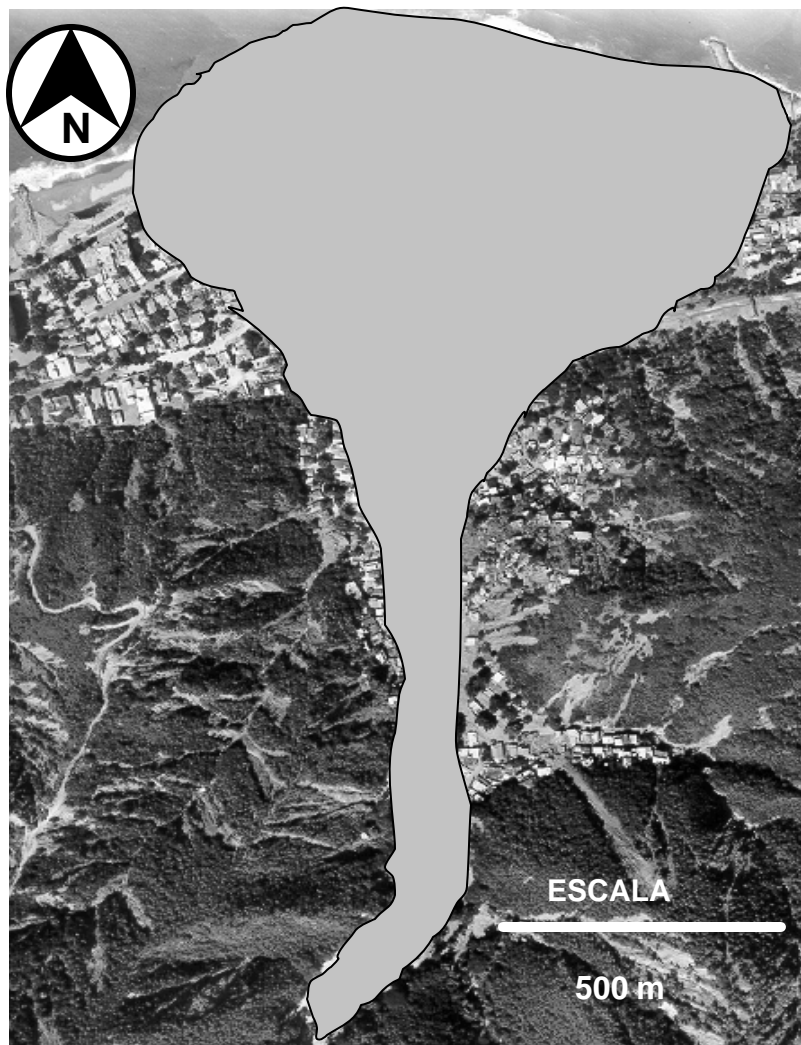


Figura 18. Foto donde se muestra el abánico (marcado en amarillo) formado en la zona de Macuto. Fotografía aérea tomada en enero 2000, misión 030601-305.



Cuando ocurre un evento de este tipo, el volumen de agua y sedimentos es tan grande que después de haber recorrido varios kilómetros por el torrente, toda la mezcla al llegar al pie de monte o a una zona de baja pendiente, forma abanicos o conos de deyección debido a la disipación de la energía presente en ellos. Veáse en la figura 19 el cono de deyección formado en el poblado de Macuto producto del transporte de materiales durante las lluvias torrenciales de diciembre de 1999.

La generación del flujo se origina de uno o varios deslizamientos laterales de una ladera (figura 19), que en el transcurso del movimiento y por adición de agua, termina por formar un fluido viscoso que avanza por el drenaje principal o secundario (BARBOZA & RODRÍGUEZ 2000).



Figura 19. Ejemplo de como los deslizamientos laterales en las laderas cercanas al drenaje incorporan nuevo material en los flujos torrenciales. Quebrada Alcantarilla ubicada al Oeste del poblado de Macuto. WIECZOREK (2000). (Rumbo aproximado de la foto N-S).

**5.1 Características de los flujos torrenciales**

Este fenómeno generalmente puede producirse por pulsos, debido al represamiento de manera natural de los detritos provocando intervalos en los flujos, pudiéndose tratar de olas de fango de varios metros de altura, con una densidad hasta dos veces mayor que la del agua. Los frentes de ola pueden llegar a tener varios centenares de metros dependiendo del cauce por el cual se desplacen, si no hay restricciones laterales, el ancho dependerá del gasto (volumen / tiempo) (COUSSOT 1996, en BARBOZA & RODRÍGUEZ 2000).

El límite del tamaño de los peñones es el ancho mínimo del cauce por el que puedan seguir fluyendo (en la literatura se mencionan casos de flujo de un peñón de más de 10 m<sup>3</sup>). En Vargas los depósitos dominantes eran arena, peñas (diámetro entre 64 y 256 mm) y peñones, además de los árboles despojados de ramas y follaje. La velocidad de flujo de toda la masa es variable.

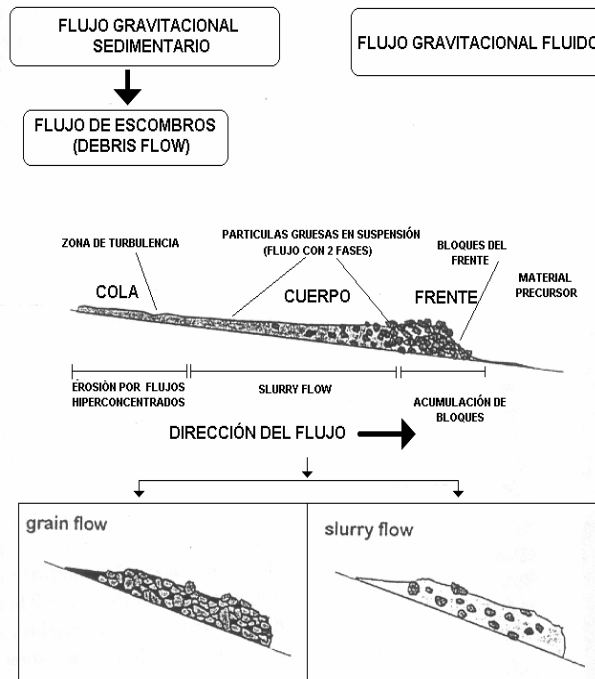


Figura 20. Esquema de la forma de los FLUJOS DE DETRITOS. Tomado de HÜBL & STEINWENDTNER (2001).

En algunas de las cuencas, la segunda oleada fue la mas destructiva, con un intervalo de unos 10 minutos de la primera (SANCIO 2000). Algunas cuencas tenían flujos con el ancho de un peñón, mientras que en otras avanzaban con un frente de más de 100 m de ancho. Los detritos más grandes van adelante de otros más pequeños, imbricados pero no en contacto directo entre si dándole cierta movilidad a los clastos, según lo exijan el terreno y los obstáculos.

El flujo de detritos es tan sensible a los cambios de pendiente que, cuando atraviesan una ciudad lo hacen preferentemente por las calles, doblando la esquina cuando la avenida transversal tiene una pendiente mayor (Figura 21).

En el estado Vargas muchos de los flujos torrenciales cambiaban de dirección bruscamente ya sea por un cambio en la pendiente de las calles o por obstáculos tales como casas, edificios, árboles, etc. Sorprendentemente, la masa se detiene o rodea ciertos obstáculos que son menos resistentes que otros que han sido destruidos anteriormente. Donde había centenares de casas, a veces una queda intacta en el medio de una extensión de centenares de metros cuadrados de superficie arrasada (SANCIO 2000).

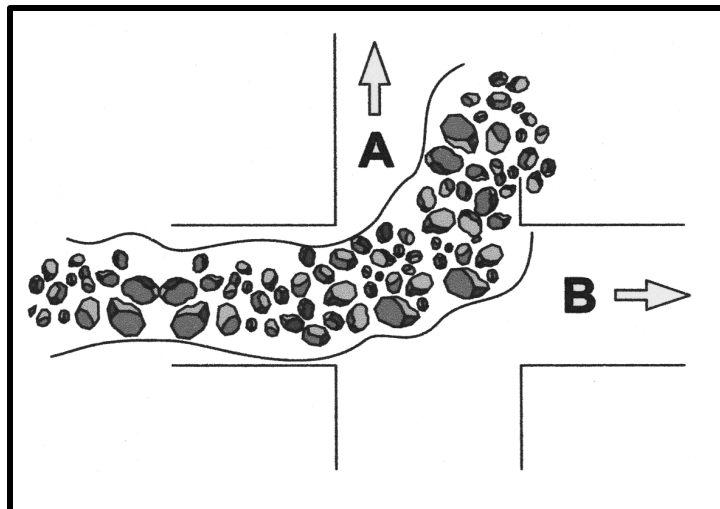


Figura 21. Cambio de dirección del flujo de detritos posiblemente por un cambio en la pendiente de la zona o por la presencia de obstáculos. Tomado de SANCIO (2000)

Las velocidades en los flujos torrenciales son controladas tanto por la viscosidad, por la fricción en el fondo y por el contenido de grandes bloques en el frente de la masa en movimiento. Los peñones de gran tamaño que se han incorporado a cierta distancia del frente se mueven más velozmente que los fragmentos más adelantados, de manera tal que a veces cabalgan algunos sobre otros, dejando atrás los más pequeños.

La altura del frente de onda puede estar comprendida entre pocas decenas de centímetros y varios metros dependiendo siempre del grado de viscosidad del fluido, mientras más viscoso sea el fluido la altura será mucho mayor pero con una velocidad menor mientras que un fluido sea menos viscoso tendrá una altura menor pero tendrá mucha más rapidez (COUSSOT *op cit*). En el estado Vargas las alturas estuvieron comprendidas entre 2 y 4 m (SANCIO 2000).

Una de las características más sorprendentes es que los bloques de gran tamaño no ruedan cuesta abajo, sino que se desplazan flotando en un fluido viscoso, esto se debe a la mezcla tan grande de materiales presentes en el fluido, lo cual provoca que la densidad aumente, dándole así la facilidad de flotar.

Según HAEBERLI (1992) las velocidades del frente del derrame pueden ser mayores a 15 m/s pero, COUSSOT (1996) menciona que las velocidades del frente del derrame pueden variar entre 0.5 a 10 m/s SANCIO (2000), por su parte, señala que en el estado Vargas las velocidades alcanzadas por los frentes de derrame fueron entre 1 a 3 m/s en las zonas bajas, mientras que en las laderas superiores las velocidades variaban entre 14 a 17 m/s, habiendo sido comprobadas estas velocidades mediante videos.

## 5.2 Clasificación de los flujos torrenciales

Los flujos torrenciales son una mezcla de agua, sedimentos y aire, que se desplaza por el torrente de una montaña, esta masa fluida puede tener

diferentes concentraciones debido a la adición de material, ubicado en el lecho del canal o por numerosos deslizamientos en las laderas.

COUSSOT (1996) menciona que los flujos torrenciales se pueden dividir en dos tipos principalmente, los flujos torrenciales fangosos y los granulares, los cuales se verán afectados por la relación porcentual que exista entre las partículas que conforman la mezcla, provocando que su comportamiento mecánico y reológico varíe (figura 22).

Dependiendo de la relación material sólido y agua presente en el fluido sus características reológicas cambiarán, aumentando o disminuyendo la velocidad y viscosidad en el fluido (COUSSOT 1996).

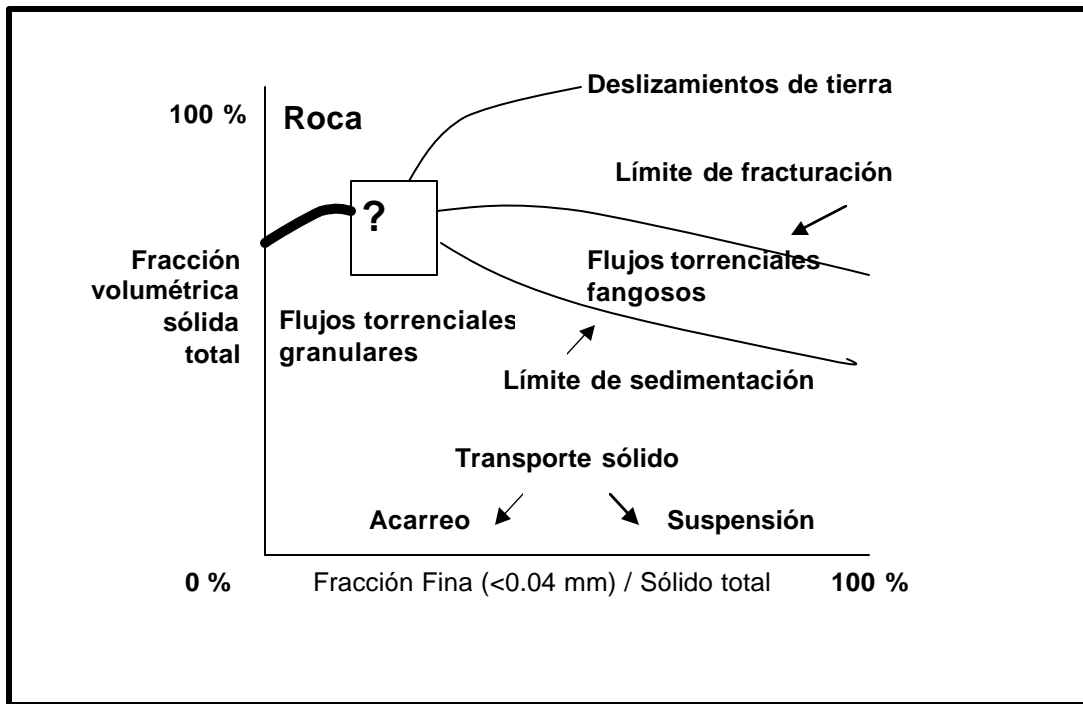


Figura 22. Clasificación conceptual de los flujos torrenciales. Modificado de COUSSOT (1996).

Según JULIEN & LEÓN (2000), los flujos de sedimentos hiperconcentrados deben ser clasificados como: inundaciones de lodo (**mud floods**), flujos de lodo (**mud flows**) y flujos de detritos (**debris flows**), dicha clasificación esta basada en la relación reológica entre la mezcla de sedimentos-agua.

Dicho autor menciona que los periodos de retorno para cada uno de los flujos es diferente, para los “mud floods” el periodo de retorno de la tormenta es de 100 años, para los “mud flows” el periodo será de 10-25 años, sin hacer acotación al periodo de retorno para los flujos de detritos.

### **Inundaciones de lodo o torrente de lodo**

Son flujos hiperconcentrados muy fluidos y de velocidades muy altas, presentes en canales encajados en montañas. En estos flujos la viscosidad de sedimentos esta en el mismo orden de magnitud que el agua.



Figura 23. Inundación de lodo en donde se observa claramente la rapidez y fluidez que presentan este tipo de flujo, este tipo de fluido presenta una sola fase (sedimentos finos + agua + aire). Tomado de JULIEN & LEÓN (2000).

### **Flujos de lodo o coladas de barro**

Los flujos de lodo tienen una viscosidad del fluido en orden de magnitud mucho mayor que el agua, es por esto que la velocidad es mucho menor comparada con las inundaciones de lodo.

De hecho el fluido se puede comportar como un “slurry” homogéneo con una onda frontal y una serie de pulsaciones, según WAN & CHIEN (1989), para que estos flujos se conviertan en “slurry” (figura 23) debe haber una concentración de partículas finas de  $90 \text{ kg/m}^3$  (SUÁREZ 1999).

Como se muestra en la figura 24, el frente del flujo consiste principalmente de bloques de rocas y se presenta en forma intermitente.



Figura 24. Frente destructivo de flujos de lodo, nótese la poca velocidad del mismo. Tomado de JULIEN (2000).

### **Flujo de detritos o colada de detritos**

Esta caracterizado por el movimiento de grandes bloques y escombros que controlan totalmente el flujo haciendo que el agua tenga menor importancia, produciéndose el movimiento por una transferencia del momentum al colisionar las partículas y bloques (SUÁREZ 1999).

El flujo de detritos generalmente ocurre en zonas de pendientes altas e involucran altas concentraciones de material sólido, principalmente de partículas gruesas y bloques. Debido a las altas pendientes, el flujo de detritos puede transportar fácilmente bloques de gran tamaño (como peñones) a altas velocidades, provocando que estos flujos presenten un alto poder destructivo (SUÁREZ 1999).

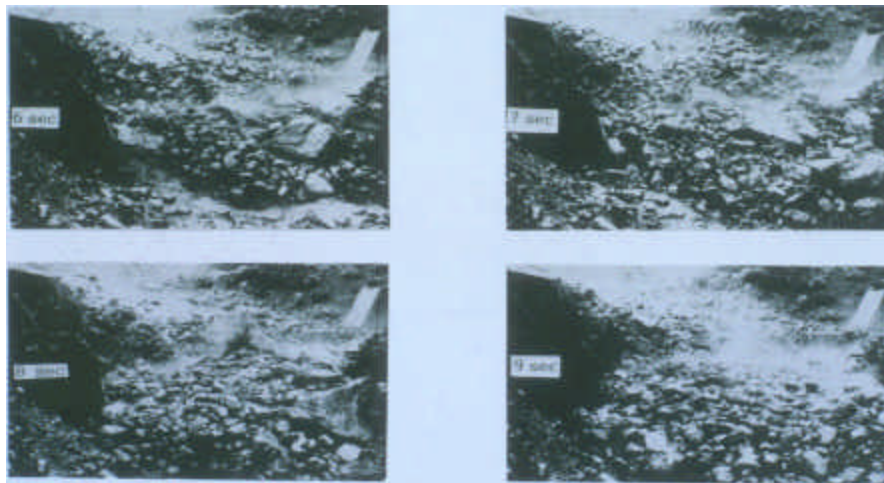


Figura 25. Flujo de detritos constituido en su mayoría por bloques de gran tamaño transportados por una mezcla de sedimentos finos y agua. Tomado de JULIEN (2000).

La relación que existe entre las inundaciones de lodo y los flujos de barro es muy estrecha, debido a que estos son susceptibles a cambios. Para un evento de inundación donde la cantidad de material sea tal que permita la recarga de sedimentos, la inundación se puede degenerar a un flujo de barro, solo por el hecho de aumentar la concentración de sedimento.

A continuación se presenta una tabla con las concentraciones de sedimentos presentes en cada uno de los diferentes tipos de flujos.



Tabla 8. Se muestra el comportamiento del flujo torrencial en función de la concentración de sedimentos, Tomado de O'BRIEN *et al* (1993).

Los términos "Mud flor" y "Mud Flood" corresponde respectivamente a flujos de lodos e inundaciones de lodo.

	Concentración de sedimentos (%)		Características del flujo
	Por volumen	Por peso	
Deslizamineto	0,65 - 0,80	0,83 - 0,91	No se comporta como fluido; fracturamiento ó fallamiento con deslizamiento de roca
	0,55 - 0,65	0,76 - 0,83	Caída de bloque deslizante con deformación interna durante el movimiento; deslizamiento lento antes de quiebre
Mudflow	0,48 - 0,55	0,72 - 0,76	Flujo evidente; deslizamiento lento sostenido por un flujo de lodo; deformación plástica por debajo de su propio peso; sin desplazamiento sobre la superficie
	0,45 - 0,48	0,69 - 0,72	Despegue del flujo sobre la superficie; flujo cohesivo; algo de mezcla
Mud Flood	0,40 - 0,45	0,65 - 0,69	Mezclas de flujos; Deformación en las propiedades de los fluidos; transporte de grandes bloques (peñones); aparecen olas pero desaparecen rápidamente
	0,35 - 0,40	0,59 - 0,65	Marcda selección de gravas y peñas; la superficie liquida presenta dos fases en el fluido; las olas viajan en la superficie
	0,30 - 0,35	0,54 - 0,59	Separación del agua en la superficie; se observan olas que viajan facilmente; los sedimentos tamaños arena y grava viajan como carga de lecho
	0,20 - 0,30	0,41 - 0,54	Presencia de oleaje; superficie fluída; todas las partículas descansan sobre el lecho
Inundación de agua	< 0,20	< 0,41	Inundación de agua con partículas en suspensión y fondo

## 6 ABANICOS ALUVIALES

### 6.1 Definición y origen

Los abanicos aluviales son depósitos sedimentarios continentales que se desarrollan al frente de los macizos montañosos y están caracterizados por sedimentos gruesos que son transportados pendiente abajo por un río de montaña, generalmente de valles encajados. Una vez que los sedimentos pierden su confinamiento, son esparcidos en forma de abanico en las zonas de pendiente baja.

En la zona de mayor pendiente, el cauce es generalmente recto, pero cuando emerge en la planicie, playa o en un valle más amplio, la corriente se divide en numerosos canales entrelazados y/o discontinuos. Los canales son más y más numerosos a medida que la pendiente se hace más suave. Parte del material forma barras en el medio de los canales y a medida que dichos canales se rellenan, los mismos migran lateralmente una corta distancia hacia otra posición.



Figura 26. Se muestra la parte superior y media del abanico de Macuto (N-S), foto suministrada por el I.M.F.

### 6.2 Forma de los abanicos aluviales

Vistos desde planta, los sedimentos de un abanico aluvial se presentan en forma cónica. Un perfil esquemático de un abanico aluvial en sección longitudinal es mostrado en la figura 27. El abanico formado por flujos torrenciales presenta una sección longitudinal convexa mientras que es convexo cuando la sección es transversal.

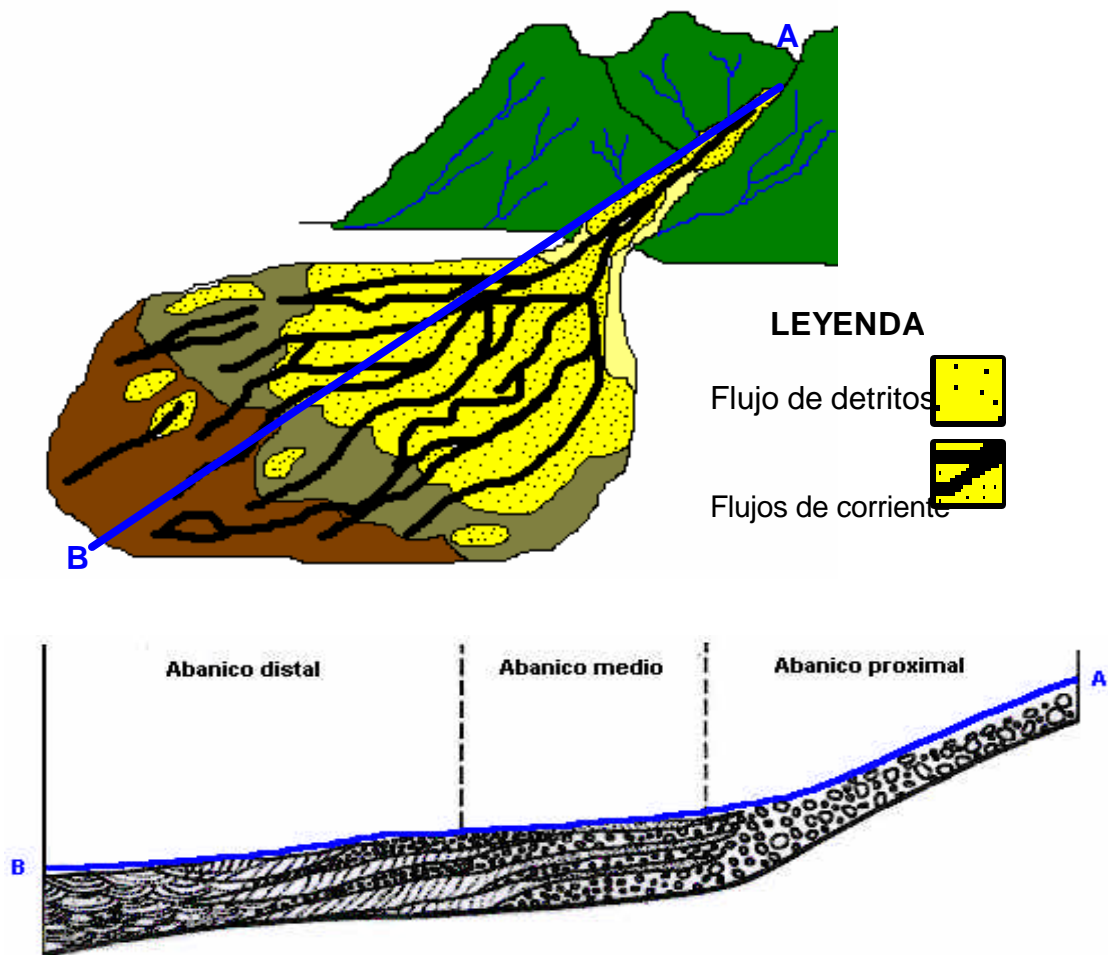


Figura 27. Representación esquemática de una sección longitudinal (A) y una transversal (B) de un abanico aluvial. Tomado y modificado de GRIJALVA (2003).

Desde los estudios de BLISSENBACH (1954) y BULL (1964) se han dividido a los abanicos en tres sectores principales: proximal (o abanico superior), medio y distal (o abanico inferior). El abanico superior es el que muestra mayor pendiente, un escaso número de canales y mayor tamaño de grano; en el abanico medio se define claramente la red distributaria de canales, ha disminuido ligeramente la pendiente y el tamaño de grano. Finalmente, el abanico distal representa una transición a sistemas fluviales entrelazados.

### **6.3 Modelos de clasificación de abanicos**

Inicialmente, los abanicos aluviales fueron clasificados según el régimen climático en el cual estos se desarrollaban reconociendo dos tipos principales: 1) Abanicos de climas áridos o semiáridos, siendo estos activados principalmente por el efecto de gravedad y 2) Abanicos de clima húmedo los cuales son formados por flujos torrenciales.

COLLINSON (1996), propone clasificar a los abanicos de acuerdo al mecanismo de transporte y depositación dominante, reconociendo abanicos dominados por flujos de gravedad y por acción fluvial. Los abanicos dominados por flujos de gravedad generan abanicos de poco tamaño, frecuentemente con facies conglomeráticas soportadas por matriz, mientras que los abanicos dominados por la acción fluvial (abanicos aluviales) forman abanicos de gran tamaño, siempre dependiendo de las condiciones, con variación de tamaños en los sedimentos dependiendo de la zona del abanico donde se encuentre.

STANISTREET & MCCARTHY (1993), proponen un modelo de clasificación de abanicos basado en el mecanismo de transporte y en la

morfología de la red de canales, reconociendo así tres tipos básicos de abanicos aluviales con las siguientes morfologías:

- 1) Los abanicos dominados por flujos de detritos están dominados en el abanico proximal por flujos de detritos, los que se adelgazan rápidamente hacia el abanico medio interdigitando con depósitos de canales entrelazados y de crecientes no encauzadas hacia el abanico distal. Este tipo corresponde por lo general a abanicos pequeños que muestran altas pendientes y escasa vegetación.
- 2) Los abanicos dominados por acción fluvial con canales entrelazados, muestran importante participación de depósitos de barras de canal desde el abanico proximal hasta el distal, dominando las barras longitudinales en el primer caso y las distales en el segundo. Este tipo de abanicos muestra pendientes menores y escasa vegetación, especialmente concentrada a lo largo del margen de los canales.
- 3) El abanico dominado por canales meandrosos o anastomosados, presentan importante carga en suspensión y están formados en el abanico proximal por cursos meandriformes con desarrollo de pantanos y lagunas en áreas de planicies de inundación que frecuentemente pasan a sistemas anastomosados hacia el abanico medio y distal.

#### **6.4 Tipos de flujos que actúan en los abanicos aluviales**

Un aspecto importante en los abanicos aluviales es el mecanismo de transporte y depositación, porque dependiendo como este sea, se obtendrán diferentes facies sedimentarias.

### **Transporte de material a través de los flujos**

De acuerdo a COSTA (1984), los mecanismos de soporte y transporte de los clastos de gran tamaño son:

- a) Fuerzas cohesivas debido a flujos de agua y arcillas que forman un medio de soporte para los bloques. Cuanto mayor sea la densidad del flujo, mayor será la fuerza interna para mantener a flote los clastos.
- b) Flotabilidad debido a la diferencia de densidad.
- c) Turbulencia.
- d) Soporte estructural debido al soporte grano a grano.
- e) Presiones dispersas, por el concepto de BAGNOLD (1950) quien dice que durante un flujo con esfuerzos cortantes los clastos más grandes tienden a desplazarse hacia la superficie libre.

#### **6.4.1 Flujos formados por el proceso gravitacional-sedimentario (*gravity flows*)**

##### **Flujos de detritos**

Según VARNES (1978) y JOHNSON (1984), el flujo detrítico es un tipo de flujo gravitacional-sedimentario caracterizado por una mezcla de diferentes tamaños de grano, troncos y otros sólidos con pequeñas cantidades de agua y aire, que se desplaza pendiente abajo, bajo la fuerza de gravedad. Presenta 10-20% de arcilla y limo, un contenido de 10-30% de agua y una viscosidad de hasta 8.000 poises (COSTA 1984). Es el proceso gravitacional-sedimentario más importante en cuanto al volumen de material depositado directamente en el cono aluvial. Las fases sólidas y líquidas de los flujos son separadas solo después de la depositación de los detritos, lo cual lo diferencia de las inundaciones.

COLLINSON (1996), menciona que para generar un flujo detrítico se necesita una roca fuente que se meteorice para producir materiales detríticos incluyendo arcilla, las pendientes fuertes son un factor que aceleran la escorrentía y los procesos erosivos. Se inician con la transformación de deslizamientos en flujos de detritos al incorporar aire y agua a medida que las partículas se desplazan. Los flujos de detritos presentan una fuerza muy alta de impacto causando el daño de edificaciones, casas y vegetación (árboles grandes) cercanos al cauce principal.

La arcilla presente en los suelos confiere fuerza al fluido intersticial y disminuye la permeabilidad produciendo una obstrucción para la disipación de los fluidos de poros y cuando se producen precipitaciones de grandes magnitudes provocan un aumento en la presión de poro, resultando en la movilidad del flujo.

Otro mecanismo que genera flujos detríticos es cuando una corriente de agua a alta velocidad choca con un depósito sedimentario, originando una disipación de la energía del agua, dispersando los clastos a medida que se mezcla con los sedimentos y aire (JOHNSON 1970, 1984).

Las laderas con pendientes comprendidas entre 27° y 56° son propensas a iniciar flujos detríticos. Diferentes autores indican que en los flujos de detritos los peñones generalmente se desplazan por arriba o al frente del flujo, en oleadas, las cuales ocurren cuando nuevos materiales son incorporados en la mezcla (LA FORTUNE 2002).

Estos flujos se caracterizan por ser no erosivos debido a la falta de turbidez en el flujo (RODINE & JOHNSON 1976).

#### **6.4.2 Flujos formados por el proceso gravitacional-fluido**

Son fluidos newtonianos que se caracterizan por la falta de esfuerzo cortante y por tener en fases separadas al agua y a los sedimentos durante el transporte, siendo este por suspensión, tracción y saltación (COSTA 1988).

**Flujos en el canal inciso (*stream flows*)**

Los flujos en los canales incisos pueden depositar solo la fracción más gruesa del sedimento debido a una mayor capacidad de movimiento creado por la limitación del canal. Los sedimentos de grano fino podrían acumularse por encima o por debajo de los depósitos gruesos durante las últimas fases de inundación (LA FORTUNE 2002).

**Flujos laminares (*sheet flows*)**

Incluye a los depósitos llevados tanto en tracción como suspensión durante las crecientes al producirse el desborde de los canales. Los depósitos muestran geometría tabular y están compuestos por areniscas, conglomerados con laminación de diferentes tipos.

También se pueden encontrar los depósitos de "tamiz" (*sieve deposits*), que corresponden a depósitos en formas lobulares de gravas.

**6.5 Procesos de formación de un abanico**

Según BLAIR & Mc PHERSON (1994) en LA FORTUNE 2002, existen tres condiciones para el desarrollo de abanicos aluviales:

- 1) Una zona topográfica en donde un canal confinado se abra al salir de una cuenca hidrográfica hacia una zona relativamente baja y llana.
- 2) Suficiente producción de sedimentos en la cuenca hidrográfica para la formación del abanico aluvial.
- 3) Una precipitación intensa poco frecuente que cree la suficiente cantidad de agua para originar una saturación en los suelos, ocasionando movimientos de masa.

El proceso de depositación surge de los cambios hidráulicos de los flujos a medida que salen del canal principal confinado. A medida que los flujos se expanden horizontalmente, disminuyen su velocidad y su



profundidad. La disminución de la pendiente de la superficie también contribuye a reducir la velocidad del flujo, generando la depositación del sedimento.

Los procesos sedimentarios que han dado origen a los abanicos aluviales en el Litoral Central involucran niveles de energía de magnitudes muy superiores a las que están presentes en los procesos sedimentarios normales, siendo los flujos torrenciales convulsivos o pulsantes los causantes de la depositación de los sedimentos que conforman el abanico aluvial (LA FORTUNE 2002).

Como los procesos que dieron origen a los abanicos no son predecibles, las observaciones son realizadas generalmente luego del evento por el estudio de sedimentos depositados. BLISSENBACH (1954), BULL (1964) y HOOKE (1967) mediante estudios determinaron que los flujos detríticos presentan una alta viscosidad, mientras que en los flujos laminares y canales incisos es baja. Las inundaciones son formadas por flujos newtonianos y forman depósitos estratificados transportando hasta 40 % de sedimentos, mientras los flujos detríticos transportan de un 70-90% de material.

Según COSTA (1984) las áreas más propensas a formar flujos detríticos son pequeñas cuencas hidrográficas con una topografía abrupta debido a:

- 1) La precipitación es mayor que la proporción de agua que puede soportar la cuenca hidrográfica.
- 2) Al ser una zona con una alta elevación, las pendientes tienden a ser fuertes ( $>30^\circ$ ).
- 3) A medida que aumenta la humedad del suelo, se incrementa la presión de los poros.

## **6.6 Composición de los depósitos en los abanicos aluviales**

La composición de los depósitos en los abanicos aluviales esta controlada por los siguientes factores (BLISSENBACH 1954):

- 1) La composición de la roca madre que origina el material a ser acumulado en los depósitos aluviales.
- 2) El tipo y grado de meteorización de la roca madre.
- 3) Cambios singenéticos durante el transporte de la fuente hasta el sitio de depositación.
- 4) Las alteraciones epigenéticas que ocurren posterior a su depositación.

### 6.7 Facies en el abanico

Según KRUMBEIN & SLOSS (1963), las facies son las variaciones verticales y horizontales (figura 28) dentro de una unidad estratigráfica definida. La naturaleza y distribución de las facies en los abanicos aluviales es una función de los procesos de sedimentación, al aporte sedimentario, el clima, el tectonismo y los cambios en el nivel del mar.

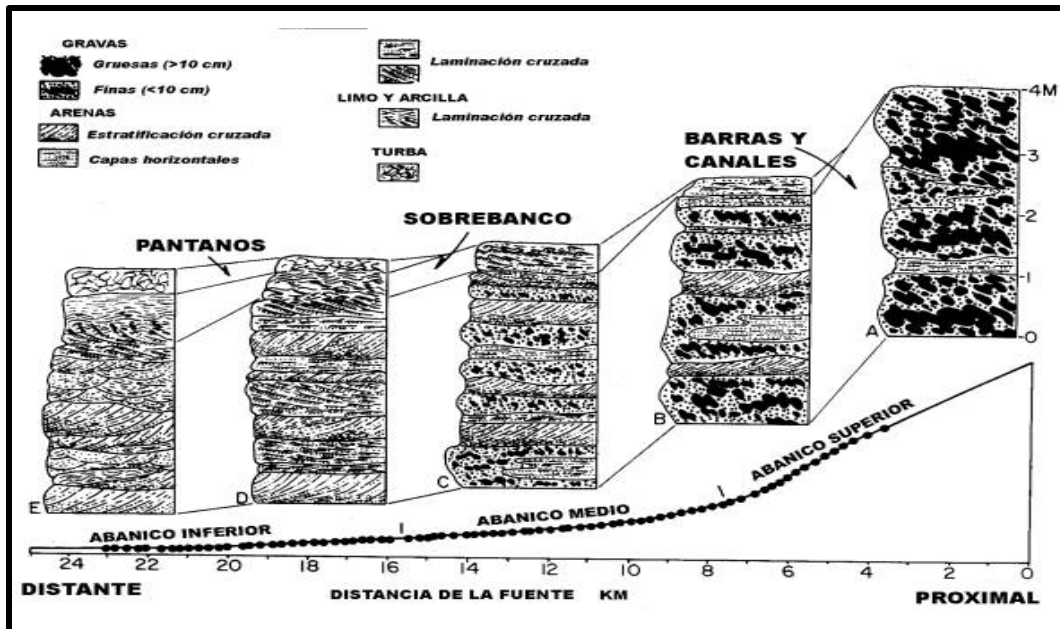


Figura 28. Corte longitudinal mostrando la distribución de los sedimentos en el abanico, en donde se puede notar que los sedimentos de mayor tamaño se encuentran localizados en las zonas más cercanas al pie de monte, mientras que los sedimentos más finos se encuentran localizados a las zonas más alejadas del frente de montaña. Tomado de BOGGS (1987)

Las facies de los depósitos no consolidados en los abanicos aluviales son grava, arena y lodo (limo + arcillas).

En general se tiene una distribución de facies en el abanico (Ver figura 27) dependiendo del tamaño de los sedimentos, las gravas gruesas son mucho más abundantes en el ápice (abanico superior) del abanico aluvial, por su parte las partículas de tamaños intermedios se encuentran en la zona media del abanico, mientras que los sedimentos de granulometría más finas tienden a acumularse en la parte más distal del abanico (LAWSON 1913, VAUGHAN 1922, TROXELL *et al.* 1942).

Las facies se ven afectadas por procesos sedimentarios producto de los cambios en la dirección de los flujos debido a obstáculos en el cauce principal, también al superarse la capacidad máxima del cauce, ocurren desbordamientos que generan nuevas facies ( LA FORTUNE 2002).

## 7. GEOLOGÍA REGIONAL

Según numerosos trabajos realizados por diferentes instituciones como la Fundación Venezolana de Investigaciones Sismológicas **FUNVISIS**, Instituto de Geología y Minería, del Ministerio de Energía y Minas **INGEOMIN**, Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales **MARN** y la Universidad Central de Venezuela **UCV**, se tiene una buena descripción en la tabla 7 de las unidades que afloran en el Macizo del Ávila.

De acuerdo a las actualizaciones más recientes de la información geológica, las unidades litológicas sedimentarias que afloran en la región del Litoral Central son las siguientes:

### **Rocas sedimentarias y sedimentos (Cuaternario, Qal):**

- Aluvión.
- Formación La Playita.
- Formación La Sabana.
- Grupo Cabo Blanco.

Siguiendo la clasificación propuesta por URBANI *et al.* (2000), las unidades litológicas metamórficas y meta-ígneas que afloran en la Cordillera de la Costa conforman un cinturón ígneo-metamórfico paralelo a la costa norte de Venezuela. Se divide en tres franjas, las cuales se encuentran constituidas por diferentes litotipos.:

1. Franja Septentrional: paralela a la línea de costa con un ancho de 0 a 5 km, con límite meridional en el estado Vargas representado por la zona de la falla de Macuto.

**Asociación Metamórfica La Costa (Mesozoico):**

- Mármol de Antímano (CA)
  - Esquisto de Tacagua (CT)
  - Anfibolita de Nirgua (CN)
  - Serpentinita (SP)
2. Franja Central: representada por las partes más elevadas de la Cordillera de La Costa (2.765 m en el pico Naiquatá y 2.640 m en la Silla de Caracas). Se ubica entre las zonas de fallas de Macuto y Tacagua-Ávila.

**Asociación Metamórfica Ávila (Paleozoico-Precámbrico):**

- Complejo de San Julián (ASJ)
  - Augengneis de Peña de Mora (APM)
  - Metatonalita de Caruao
  - Metagranito de Naiguatá (ANG)
3. Franja Meridional: aflora mayoritariamente al sur de la zona de fallas de Tacagua-Ávila y de la Victoria.

**Asociación Metasedimentaria Caracas (Mesozoico):**

- Esquisto de las Mercedes
- Esquisto Las Brisas
- Mármol Los Colorados
- Mármol de Zenda
- Metaconglomerado de Baruta

A continuación se presenta una tabla resumen de la geología regional de la Cordillera de la Costa:

Tabla 9. Cuadro de la geología estructural de la Cordillera de la Costa (modificado de CASTILLO & SUÁREZ 2001)

AUTOR	LOCALIDAD	LITOLOGÍA	FACIES METAMÓRFICAS	MARCO ESTRUCTURAL	OBSERVACIONES
<b>HUMBOLDT (1991)</b>	Silla de Caracas y pico Oriental (1800)	Gneis de apariencia granatífera		Sugiere el levantamiento de la Cordillera de la Costa	Menciona diferencias texturales y poca orientación de las micas
<b>BOUSSINGAULT (1862)</b>	Silla de Caracas y pico Oriental				Ratifica las observaciones de Humboldt
<b>AGUERREVERE &amp; ZULUAGA (1937)</b>	Cordillera de la Costa y área de Caracas	Augengneis variando localmente a Gneis granítico			Asigna el nombre de Peña de Mora, propone que la litología pudo ser formada por inyecciones <i>lit-par-lit</i> , de un magma granítico
<b>DENGO (1951)</b>	Caracas	Gneis granatífera y augen de grano grueso con bandas de biotita	Define tres facies: 1- Esquisto verdes 2-Anfibolita 3-Eclogita	Tres patrones de fallas: 1-Fallas inversas buzando al S 2-N60°W 3-E-W	Extiende el nombre de Augengneis de Peña de Mora

Continuación de la tabla 9.

AUTOR	LOCALIDAD	LITOLOGÍA	FACIES METAMÓRFICAS	MARCO ESTRUCTURAL	OBSERVACIONES
<b>MENENDEZ (1966)</b>	Los Caracas y Caraballeda	Esquistos calcáreos y grafitosos, anfibolita epidótica, mármol y gneis	Esquistos verdes	Define un sistema de fallas paralelo a la Cordillera de la Costa E-W y un que corta al anterior con rumbo N50° - 75°W	
<b>WEHRMANN (1972)</b>	Guatire - Colonia - Tovar	Gneis, cuarcitas, mármol, rocas ígneas ácidas, básicas y ultrabásicas	Esquistos verdes, subfacies moscovita-clorita y epidoto-almandino	Tres patrones de fallas: 1-Fallas oblicuas de rumbo N50°-80°E 2-N60°W, incluyendo la falla de Chacaito 3-E-W	Establece que el Complejo Sebastopol es una Unidad ígneo-metamórfica sobre la cual descansa Grupo Caracas y Complejo el Tinaco también ígneo-metamórfico; Define una estructura denominada el anticlinorio del Ávila
<b>AZPIRITXAGA (1979)</b>	Flanco norte de la Cordillera de la Costa	Esquisto feldespático actinolítico epidótico y calcáreo, gneis feldespático, serpentinita, anfibolitas y mármol	Esquistos verdes en la zona de la clorita-biotita	Tres patrones de fallas: 1-N-S 2-N70°W 3-E-W	
<b>FANTI et al. (1980)</b>	Caracas			Tres patrones de fallas: 1-N-S 2-NW-SE 3-E-W	Le da un carácter sinistral a la falla de Chacaito
<b>OSTOS (1982)</b>	Autopista Caracas – La Guaira y el Estribo de Galindo	Define siete unidades informales: Gneis y esquisto feldespático micáceo, mármol, esquisto calcáreo actinolítico y epidótico, Augengneis y serpentinita	Menciona dos eventos: 1- Esquistos verdes de P/T intermedia 2- Esquistos azules de P/T alta	Tres patrones de fallas: 1-N-S transversales 2-N40° -70°W oblicuas 3-E-W más antiguas	

Continuación de la tabla 9.

AUTOR	LOCALIDAD	LITOLOGÍA	FACIES METAMÓRFICAS	MARCO ESTRUCTURAL	OBSERVACIONES
<b>OSTOS &amp; NAVARRO (1986)</b>	Cordillera de la Costa				Evolución tectónica de la Cordillera de la Costa
<b>SÁNCHEZ &amp; SILVIA (1986)</b>	Capaya, Oritapo y Cabo Codera	Define las siguientes unidades: Esquistos grafitosos cuarzosos y plagioclásicos, gneis, anfibolitas granatíferas, serpentina	Menciona dos facies: 1-Esquistos verdes – zona de clorita 2-Anfibolita epidótica – zona del almandino	Tres patrones de fallas: 1-N45°-60°E 2-N40° -70°W 3-E-W a N80°W	
<b>GONZÁLEZ (1988)</b>	Segmento de la Cordillera de la Costa ubicado entre Cabo Blanco-Macuto y Carrizal- Los Ocumitos	Define siete unidades	Menciona dos facies: 1- Esquistos azules 2- Esquistos verdes		
<b>RÍOS (1989)</b>	Segmento de la Cordillera de la Costa comprendido entre Macuto-Naiguatá y Los Ocumitos-Turgua	Define unidades informales: Mármol, esquistos calcáreos epidóticos, serpentina, Augengneis, gneis y metagranito	Esquistos verdes en la zona de la clorita y biotita con P/T intermedio	Tres patrones de fallas: 1-N-S 2-N50° -60°W 3-E-W	Las unidades son correlacionadas con las Formaciones: Tacagua, Peña de Mora, San Julián, Las Mercedes, Antemano y Las Brisas
<b>URBANI &amp; OSTOS (1989)</b>	Cordillera de la costa	Redefinen tres asociaciones de rocas: 1- Complejo de la costa 2- Complejo de Ávila 3- Grupo Caracas			Obtienen una edad Paleozoica-Precámbrica (1560 Ma) para el Augengneis de Peña de Mora por Rb/Sr



Continuación de la tabla 9.

AUTOR	LOCALIDAD	LITOLOGÍA	FACIES METAMÓRFICAS	MARCO ESTRUCTURAL	OBSERVACIONES
<b>OSTOS (1990)</b>	Margen sur del Caribe				Propone un modelo para la evolución tectónica del Caribe basado en datos geoquímicos
<b>GARCÍA (1994)</b>	Cuenca río Tocomé	Unidades informales: Esquisto plagioclásico micáceo epidótico y gneis plagioclásico cuarzo micáceo; Unidad de rocas metaígneas y Metagrano.	Esquistos verdes en un rango de P/T intermedio.		Encuentra evidencias de deformación cataclástica típica de profundidades cercanas a los 15 Km. y una temperatura próxima a los 300° C
<b>SABINO (1995)</b>	Flanco sur del Pico Naiguatá,	Unidades informales: esquisto grafitoso y mármol, esquisto cuarzo muscovítico, augenesquisto y Gneis feldespático cuarzoso, metaígneas máficas y metagrano.	Verdes en la zona de la clorita y la biotita.	Cuatro patrones de fallas: 1-N-S 2-NE-SE 3-E-W 4-NE-SW	
<b>ARANGUREN (1996)</b>	Cuenca de la quebrada El Encantado	Unidades informales: Gneis y esquisto cuarzo feldespático; metaígneas máficas; metatonalita, metagrano y esquistos cuarzo micáceos grafitosos y esquisto calcáreo.	Esquistos verdes en la zona de la clorita y la biotita.	Fallas E-W buzando 60°S ( Sistema de falla del Ávila)	
<b>UZCÁTEGUI (1997)</b>	Sur de la Silla deCaracas	Establece las unidades: Gneis plagioclásico cuarzo micaceo, Augengneis plagioclásico cuarzo micaceo epidótico	Esquistos verdes en la zona del granate	Fallas de rumbo N60°E	

Continuación de la tabla 9.

AUTOR	LOCALIDAD	LITOLOGÍA	FACIES METAMÓRFICAS	MARCO ESTRUCTURAL	OBSERVACIONES
URBANI et al. (1997)	Flanco sur del Ávila entre Maripérez y Caucagüita		Esquistos verdes, zona de la biotita y clorita		Integran los trabajos de GARCÍA (1994), SABINO (1995), ARANGUREN (1996) y UZCÁTEGUI (1997)
BAENA (1998)	Cuenca del río Tacamahaca	Define las unidades: Esquistos calcáreos, esquistos cuarzo plagioclásico micáceo, esquistos micáceo grafitosos, metaígneas máficas y metagranodiorita	Esquistos verdes ubicada en la zona de la clorita y la biotita	Tres patrones de fallas: 1-N50°E 2-N45°W 3-E-W	Indica la presencia de anfíbol verde-azul
CANO & MELO (2001)	Estado Vargas entre las quebrada Seca de Caraballeda y el río Care	Definen siete unidades: Rocas sedimentarias, mármol de Antimano, esquistos de Tacagua, serpentinita, metagranito de Naiguatá, complejo de San Julián y augengneis de Peña de Mora	Esquistos verdes ubicada en la zona de la clorita y granate	Tres patrones de fallas: 1-N50°-70°E 2-N40°-60°W 3-E-W	Reliquias de un posible evento metamórfico anterior en las facies de los esquistos azules
CASTILLO & SUÁREZ (2001)	Estado Vargas entre Anare-Osma	Definen siete unidades: Rocas sedimentarias, mármol de Antimano, esquistos de Tacagua, serpentinita, metagranito de Naiguatá, complejo de San Julián y augengneis de Peña de Mora	Esquistos verdes subfacie de la clorita, con un rango de presión de baja a intermedia	Cuatro patrones de fallas: 1- E-W 2- N70°W 3- N70°E. 4- N10°W	
NIETO (2003)	Cuenca de San José de Galipán y Quebrada Alcantarilla	Definen siete unidades: Rocas sedimentarias, mármol de Antimano, esquistos de Tacagua, serpentinita, metatonalita , complejo de San Julián y augengneis de Peña de Mora	Facies de los Esquistos verdes subfacies de la clorita	Cuatro patrones de fallas: 1-E-W 2-N10°E-10°W 3-N30°-75°W 4-N45°- 80°E	

CARACTERIZACIÓN Y CUANTIFICACIÓN DE SEDIMENTOS EN LA CUENCA DEL RÍO SAN JOSÉ DE GALIPÁN, ESTADO VARGAS.

## **8 GEOLOGÍA LOCAL**

La cuenca del Río San José de Galipán está conformada por una unidad de sedimentos recientes, y dos unidades metamórficas: la Asociación Metamórfica La Costa y la Asociación Metamórfica Ávila.

### **8.1 Unidad sedimentaria**

#### **8.1.1 Abanico aluvial de Macuto**

Durante todo el mes de diciembre de 1999, se registraron fuertes e intensas lluvias en la Cordillera de la Costa provocando así numerosos movimientos de masa en la vertiente norte del Macizo del Ávila, los cuales se incorporaron a las quebradas y ríos. Esta gran cantidad de sedimentos formaron flujos torrenciales que bajaron por el drenaje hasta desembocar al mar, originando grandes abanicos aluviales.

En la zona de Macuto, el abanico formado tiene un área aproximada de 0,23 km<sup>2</sup>, lo que representa un 2 % del total de la cuenca. Los abanicos formados en condiciones normales, sin ningún tipo de obstáculo, deberían tener una sección longitudinal convexa y una sección transversal cóncava, en donde la zona más elevada está en el centro del abanico. Pero las condiciones en las cuales se desarrolló el abanico no fueron las más idóneas debido a la gran cantidad de edificaciones y a la canalización del Río Macuto, lo que provocó que los mayores espesores de sedimentos estuviesen en el centro Este del cono y que los clastos de mayores dimensiones también se encontrasen aquí, los cuales tenían tamaños entre 0,2 a 1,5 m en su eje mayor (datos tomados de WIECZOREK 2000). Para verificar un poco este aspecto, se realizaron 3 cortes transversales en las zonas del ápice medio y distal del abanico de Macuto (figuras 29 y 30).

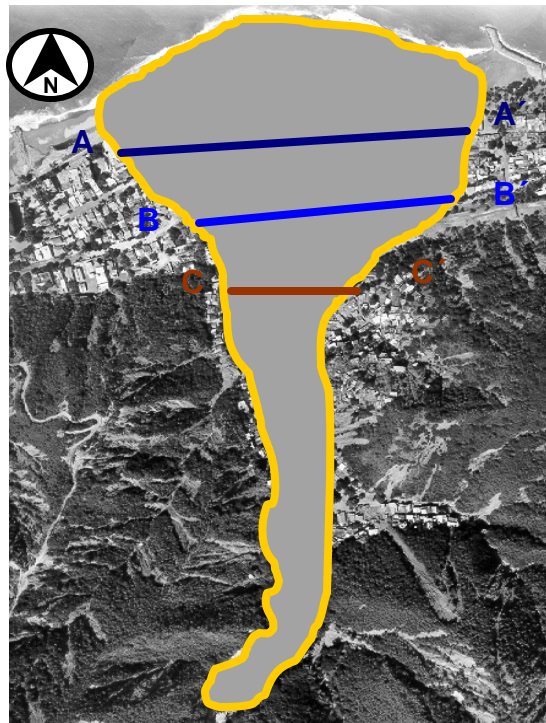


Figura 29. Donde se muestra el abánico (marcado en amarillo) formado en la zona de Macuto. Fotografía aérea tomada en enero 2000, misión 030601-305.

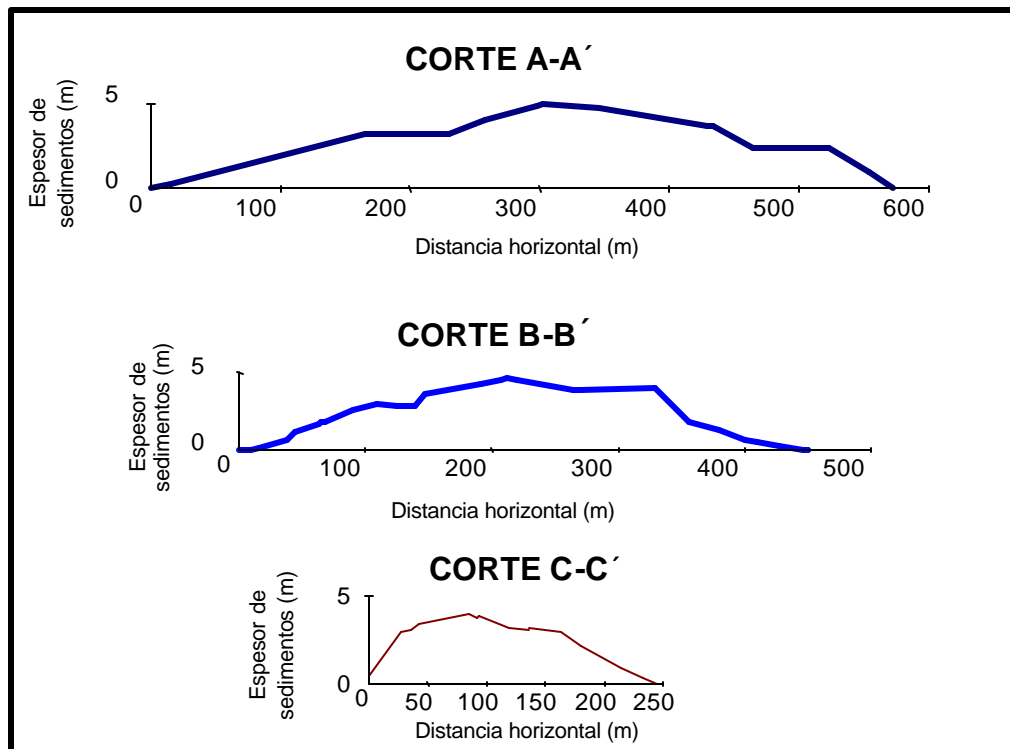


Figura 30. Cortes transversales del cono de Macuto en donde se observa claramente la forma cóncava del mismo, la dirección de los cortes de aproximadamente W-E .

En el canal principal (canal embaulado) se encontraron los clastos de mayor tamaño (0,5 a 1,5 m), también se pueden encontrar estos bloques en algunos canales secundarios, sin alejarse mucho del canal principal. Tanto al Este como al Oeste del canal principal se vieron inundaciones de hasta 3 m de barro y arena con algunos dastos de menor tamaño (10-20 cm) (figura 31).



Figura 31. Marcas de barro de la inundación en una casa ubicada al Oeste de la canalización principal, 10 m al Sur del punto 36. Rumbo de la foto E-W.

La zona de estudio está caracterizada por secuencias sedimentarias clásticas gruesas y finas (figura 32), formada por eventos torrenciales en un ambiente fluvial continental próximo a la costa, dichas secuencias están constituidas por fanglomerados, arenas y lodos (limos y arcillas).



Figura 32. Foto tomada desde un helicóptero en donde se ve la distribución de los sedimentos gruesos y finos en la zona media del cono. (Rumbo de la foto N-S). Foto suministrada por el I.M.F.

En la zona del ápice del cono se observan las mayores acumulaciones de bloques (hasta de 3 m en su eje principal), soportados por matriz de arenas gruesas y arenas muy gruesas con una distribución caótica. La composición de los bloques es augengneis, gneis y esquistos provenientes del complejo de San Julián.

Estos bloques de gran tamaño se encuentran en la mayoría de los casos por encima de sedimentos más finos, lo cual se debe simplemente a que estos bloques flotan durante su transporte debido a la alta densidad del flujo por el cual se desplazan.

En la zona del abanico medio se observan las intercalaciones de fanglomerados y arenas, estas intercalaciones tienen variación lateral, en donde se observa que las capas de arena son más gruesas en el lado Este y hacia el Oeste estas capas forman pequeños lentes o pueden desaparecer.

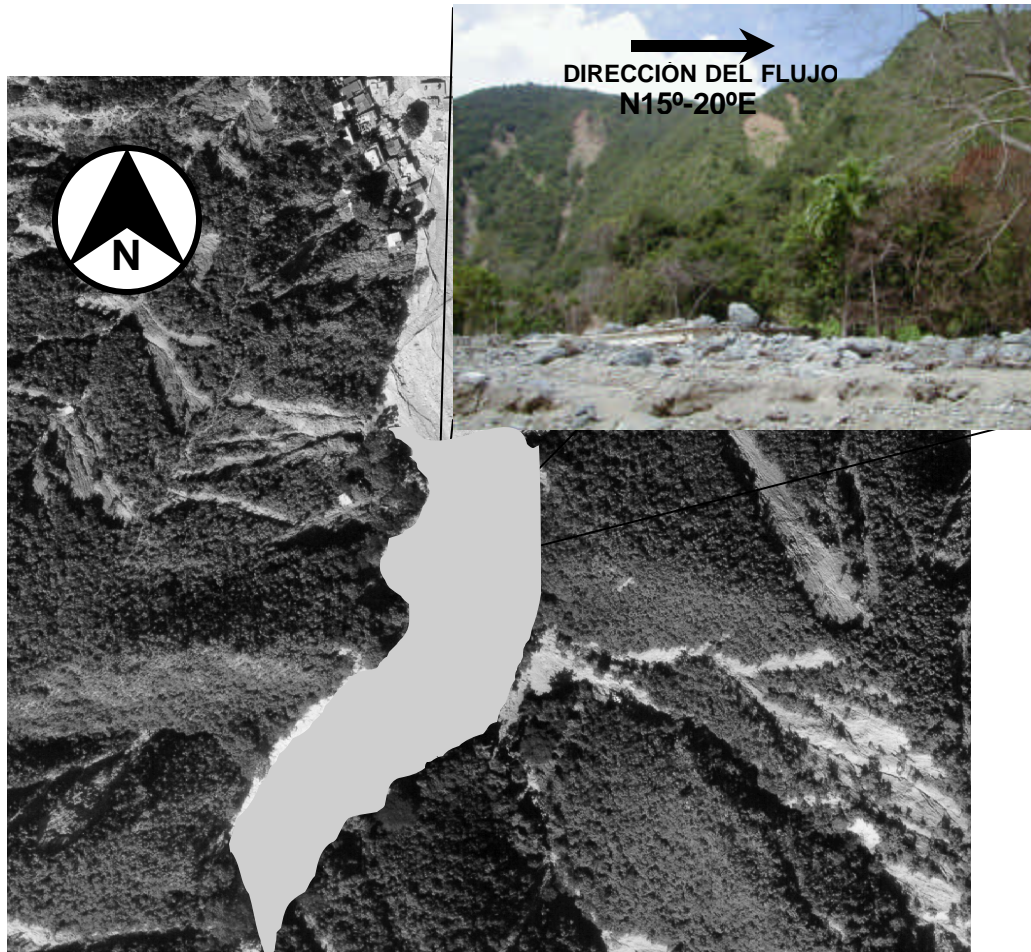


Figura 33. Se muestra en el tamaño de los bloques acumulados en la zona del ápice de cono, en amarillo se muestra la mayor acumulación de bloques. Fotografía aérea tomada en enero 2000, misión 030601-305. Foto pequeña tomada de WIECZOREK (2000).

Las capas de arenas suelen encontrarse en la parte media superior de las secuencias y presentan en la mayoría de los casos laminaciones paralelas y clastos tamaño guijarros-gránulos alineados.

Dichas laminaciones suelen encontrarse en los topes de las secuencias de arenas y pueden presentarse bien definidos por intercalaciones de limos gruesos y arenas medias.

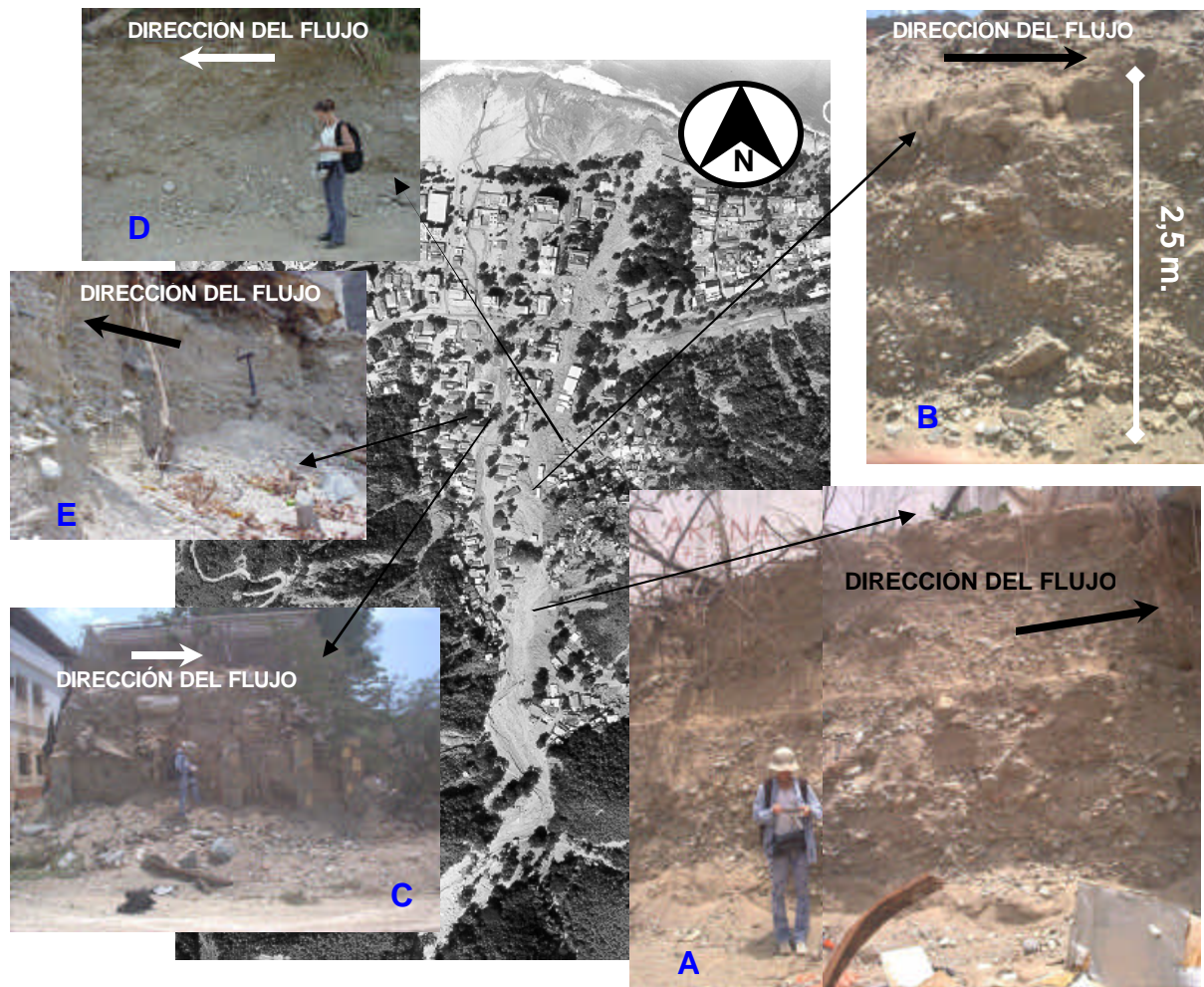


Figura 34. Distribución de los afloramientos en donde se observa la intercalación de la capa de arena y los fanglomerados; foto A en el punto 4, foto B en el punto 5, foto C en el punto 10, foto D en el punto 25 y foto E en el punto 40. Fotografía aérea tomada en enero 2000, misión 030601-305.

Los espesores de las capas van de 0,5 a 1 m y en los lentes las dimensiones son de 1 m de ancho con espesores variables de 0,2 a 0,5 m.

Los fanglomerados se encuentran, por lo general, en la base y tope de la secuencia, en muchos sitios se observan capas muy gruesas como en los puntos 10-36-37 de 2 a 3 m Su composición mineralógica está constituida por 80-95 % de fragmentos de rocas como gneis y augengneis subredondeados y subangulares, de formas elongadas y tabulares de baja esfericidad. Los tamaños varían entre gravas muy gruesas a gravas muy



finas, por lo general los tamaños más gruesos se encuentran en la base de las capas fanglomeráticas.

En el tope de los fanglomerados que se encuentran en la base de la secuencia hay imbricación en los clastos más tabulares y elongados, con inclinación de 10°-20° horario.

Los fanglomerados del tope de la secuencia se encuentran en contacto erosivo con la capa de arena, pero en algunos sitios este contacto no es tan evidente.

En la zona media-distal del abanico se observan espesores muy grandes de arenas con algunos lentes de fanglomerados en la parte media de la secuencia y en el tope se observa una capa de fanglomerado en contacto erosivo.

Las arenas son de grano medio a fino con laminaciones paralelas en el tope y presentan alineaciones de guijarros y gránulos hacia la zona media y baja de la secuencia.

Los lentes de fanglomerados presentan una disposición de los clastos más gruesos (30-40 cm) en el centro del canal y se van haciendo más finos (5-20 cm) hacia los extremos, los clastos se encuentran soportados por una matriz de arena gruesa a muy gruesa. El tamaño de los lentes varía entre 1 a 2 m de ancho y 1 m de espesor.

La capa superior de fanglomerado se encuentra en contacto erosivo con las arenas de la base. Los clastos presentes en esta capa son subredondeados y subangulares de tamaños que varían entre 30-40 cm soportados por una matriz de arena muy gruesa y gravas muy finas.

La composición de casi 90% de fragmentos de roca provenientes del Complejo de San Julián está constituida por gneis y augengneis cuarzo feldespató.



Figura 35. Tomada en el punto U en donde se observa el contacto erosivo entre los fanglomerados y las arenas en una secuencia típica de la zona media distal del abanico. (Rumbo N-S).



Figura 36. Tomada en el punto 18 en donde se observa la secuencia típica de la zona media distal del abanico, nótese los peñones transportados por suspensión durante los eventos torrenciales (elipse roja). (Rumbo de la foto E-W).

En la zona distal, debido a la remoción de los sedimentos por trabajos de limpieza, no se pudo recabar ningún tipo de información referente a la litología presente, sólo se tomaron medidas de los niveles alcanzados por los sedimentos, evidenciados en los muros y paredes de las construcciones.

Según testimonios de testigos residentes de la zona, los sedimentos que llegaron a la parte distal fue “lodo” lo que se traduce como sedimentos finos ó limos y arcillas.

Debido al tpo de transporte que tienen los sedimentos gruesos en este tipo de eventos, en gran parte de la zona distal se observa la presencia de bloques de tamaños comprendidos entre 1 y 2 m sobre el sedimento fino tanto en la zona proximal como en la zona distal, las peñas que se encuentran en la zona distal se ubican muy cerca de la canalización de Macuto.

### **Estructuras sedimentarias**

En eventos torrenciales las estructuras sedimentarias pueden ser una herramienta útil para determinar los tipos de flujos y niveles de energía que imperaron en el momento de la depositación.

#### **Laminación paralela**

Estas estructuras están formadas por una intercalación de arenas y limos gruesos. Se encuentran con frecuencia en las fracciones finas de las secuencias sedimentarias ubicadas en la parte central del abanico y en las zonas laterales, muy específicamente en el punto de algunas casas que actuaron como un colador, dejando pasar los sedimentos finos y reteniendo a los significativamente más gruesos.

Esta estructura es característica de las arenas y limos (figura 37), hacia el abanico distal suelen encontrarse en los topes de las secuencias, mientras que en el abanico medio se encuentran en la parte media.

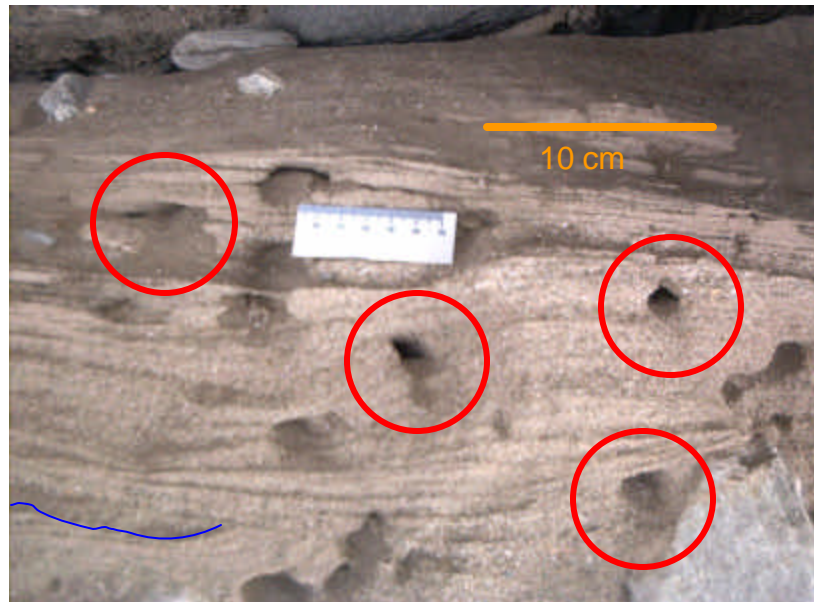


Figura 37. Tomado en el punto 1. Se observa la laminación paralela característica de la facies Sh y algunas laminaciones cruzadas hacia la base (línea azul). Las intercalaciones presentes en los sedimentos son de arenas finas y gruesas, observe el ligero buzamiento (menor a  $5^\circ$ ) al Sur. Las horadaciones (círculos rojos) presentes son originadas por insectos buscando refugio y/o comida. (Rumbo W-E).

### Imbricación

Se observa en el tope de los fanglomerados (sedimentos con tamaños que van de 15 a 20 cm). Esta configuración en los clastos se debe principalmente a un cambio en el nivel de energía, lo cual indica una variación en el tipo de flujo, cambiando de uno torrencial a otro más fluvial. Este tipo de estructura es típica de ambientes fluviales, lo que indica que en algún momento durante el evento el nivel de energía disminuyó y el flujo torrencial con una sedimentación caótica pasó a ser un flujo menos torrencial y más fluvial, permitiendo la imbricación de los clastos (figura 38).



Figura 38. Fotografía tomada en el punto 25. Se muestra la imbricación de los clastos elongados. (Rumbo de la foto E-W).

### **Estratificación cruzada**

Este tipo de estructura es muy rara en los abanicos aluviales producto de flujos torrenciales, y posiblemente se encuentren relacionadas con pequeños cambios en la dirección de la corriente debido a obstáculos que alteran al flujo.

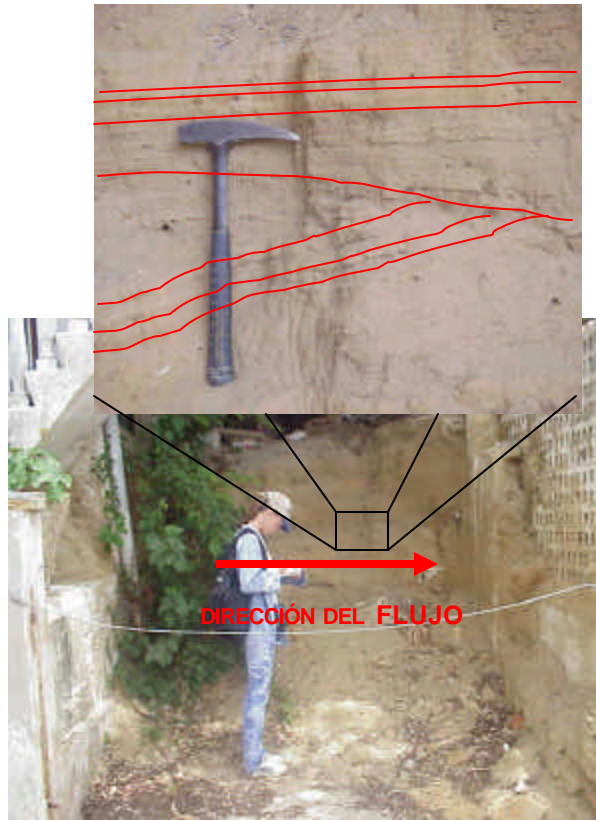


Figura 39. Detalle de la estratificación cruzada observada en el punto 33.

En este caso se encontró la estratificación cruzada dentro del garaje de una casa (afloramiento 33), esta estructura pudo formarse durante un cambio de energía que provocó alteración en el régimen del flujo (Figura 39).

### **Estratificación gradada**

Esta estructura indica un cambio gradual en el nivel de energía, puede ser tanto granocreciente como granodecreciente.

En el abanico se observó la estratificación granodecreciente en los fanglomerados de la base de las secuencias, lo que indica una disminución en el nivel de energía durante el proceso de depositación (Figura 40).



Figura 40. Afloramiento en el punto 37 en donde se observan 2 secuencias con estratificaciones gradadas casi en contacto transicional, indicando cambios en los niveles de energía sufridos en el momento de la depositación.

(Rumbo de la foto E-W).

### 8.1.2. Terrazas Fluviales

Estas secuencias sedimentarias se encuentran ubicadas a lo largo de los ríos y quebradas que conforman la cuenca, concentrándose en su mayoría en las zonas de baja pendiente tanto en la zona media de la cuenca como en las zonas del ápice del abanico.

En las terrazas ubicadas en la zona piemontina se corresponden a las facies de conglomeráticas de un abanico aluvial, mientras que las que se encuentran en la zona media de la cuenca (Río Escondido y Quebrada Los Perros) corresponden a facies conglomeráticas de sistemas fluviales.

Para la formación de las terrazas puede haber dos explicaciones: la primera producto de un cambio en el nivel base del río consecuencia de una disminución en el nivel de energía, y otra por la acción de un evento torrencial con la capacidad suficiente para erosionar dichas acumulaciones.

En la cuenca existen varios eventos de torrenciales, los cuales están evidenciados por la presencia de terrazas antiguas que presentan una composición muy similar a las recientes, pudiéndolas diferenciar por el tamaño de los clastos, colores de meteorización, presencia de árboles de gran tamaño y construcciones humanas, como casas y carreteras.

#### **8.1.2.1. Terrazas antiguas**

Las terrazas antiguas ubicadas en el lado Oeste de la cuenca y en la zona del ápice del abanico de Macuto, están conformadas por una acumulación de sedimentos dispuestos en forma caótica, en donde se observa soporte de clastos tamaño bloque (entre 2 y 3 m) por una matriz más fina, que por lo general son arenas gruesas y limos. En la zona media de la cuenca mucho de los colores de meteorización van de pardos oscuros hasta negruzcos, siendo muchos más oscuros los colores de los bloques que el de los sedimentos finos; sin embargo la mayoría de los bloques presentes en las terrazas ubicadas en el ápice tienen colores grises oscuros y grises azulados, debido a que durante el evento torrencial la mancha de meteorización fue removida por efecto de la abrasión.

La forma de los bloques es tabular y presenta una redondez bastante alta sobre todo en las zonas altas de la cuenca, mientras en las zonas bajas se observan bloques subredondeados y subangulares como se pueden observar en las figuras 41 y 42, respectivamente.



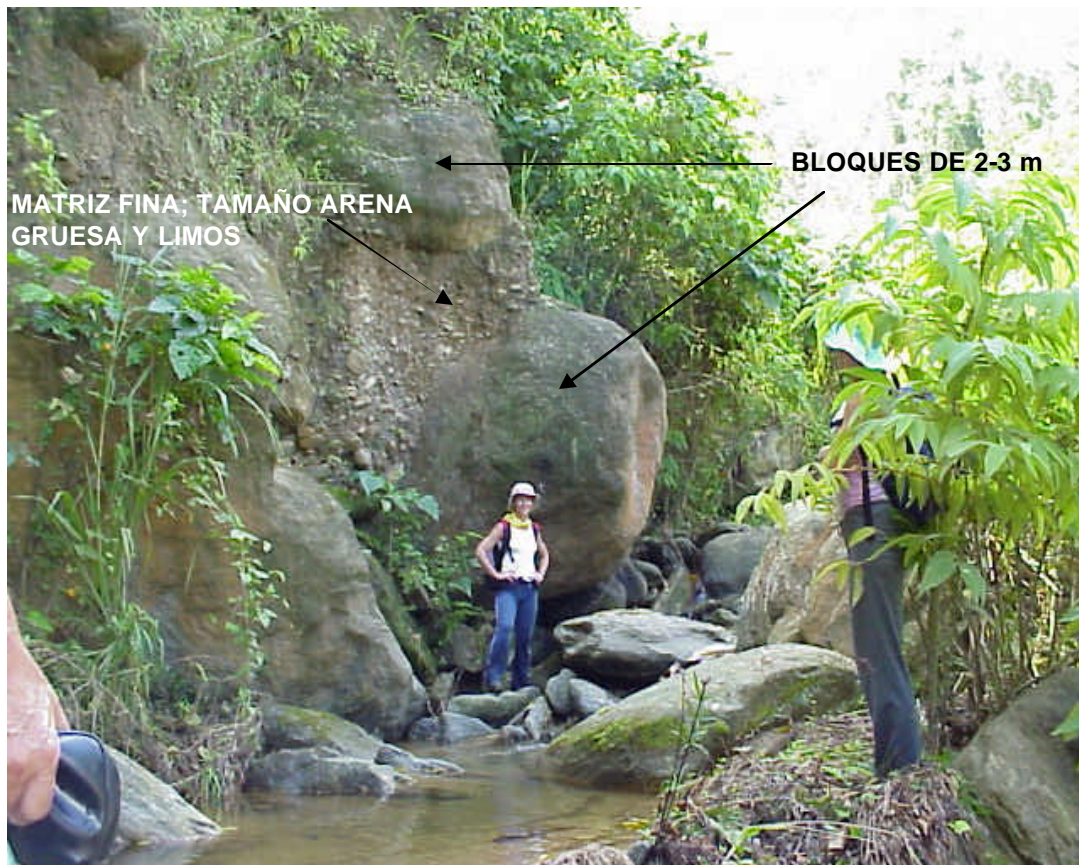


Figura 41. Terrazas antiguas en la zona de la cuenca media a unos 50 m del poblado de San José de Galipán (Río San José de Galipán), en donde se observan bloques bastante redondeados soportados por una matriz fina. (Rumbo de la foto N-S).



Figura 42. Terraza antigua ubicada en el ápice del cono de Macuto, en donde se ve la forma tabular de los bloques dispuestos en forma caótica y soportados por una matriz de arenas gruesas y finas (WIECZOREK 2000).

#### 8.1.2.2. Terrazas recientes

Estas terrazas están conformadas por acumulaciones de sedimentos muy heterogéneos, con tamaños de clastos que varían entre 5 y 20 cm soportados por una matriz de arena muy gruesa y arenas medias. Se encuentran ubicadas en la zona media de la cuenca, dispuestas en la mayor parte del trayecto del río Escondido.

Las estructuras sedimentarias observadas son estratificación granodecreciente e imbricaciones, ubicadas por lo general en la base de las terrazas. A medida que se asciende hacia el tope de la acumulación se observa una sedimentación caótica. La imbricación de los clastos de mayor tamaño tiene un promedio de inclinación de 30° al Sur aproximadamente.



Figura 43. Terraza fluvial ubicada entre los puntos 18 y 19 en Río Escondido.  
(Rumbo de la foto N90°W).

La forma de los clastos es variada pero se observa una gran cantidad de clastos elipsoidales, discoidales y alargados, dispuestos hacia la base de las terrazas. La composición de los clastos es de gneises de grano fino, augengneis bandeado de color gris y cuarzos blanquecinos, siendo más subredondeados y redondeados los gneises, y más angulares los cuarzos.

Los espesores de acumulación de sedimentos en Río Escondido se encuentran comprendidas entre 1 a 4,5 m de altura (figuras 43 y 44).



Figura 44. Se muestra una terraza reciente (antes del evento de diciembre de 1999 no existían estas terrazas, comentarios del baquiano Iván Juárez) con espesores de hasta 4 m. (Rumbo de la foto N-S).

Se puede observar que la mayor acumulación de terrazas antiguas (ver figura 41) es en el lado Oeste de la cuenca, debido a un ensanchamiento del cauce que permitió la acumulación de los sedimentos provenientes tanto de la Fila Maestra como del Picacho de Galipán, durante eventos similares en el pasado; en cambio en el lado Este de la cuenca, se observan pequeñas terrazas recientes, las cuales se formaron por la acumulación de los detritos provenientes de los movimientos de masas de las laderas cercanas. Este material se sedimentó en el lecho del río debido a su sinuosidad y a la baja pendiente que presenta la topografía en esta zona.

### **8.1.3. Procesos geodinámicos superficiales**

#### **Clasificación de los movimientos de masa en la cuenca de San José de Galipán**

##### **Deslizamiento superficial de la cobertura vegetal**

Se localizan en la zona de la cuenca baja y media en su parte Este (figura 45). Representan el 25% de los movimientos de masa en la cuenca.

Se formaron durante el evento torrencial afectando la cobertura vegetal y parte de la formación superficial del suelo. Se estima que el espesor de formación superficial removido fue de entre 0,5 y 1 m (POL 2003).

La corona del movimiento presenta formas variadas, en donde las más comunes son las formas de medias elipses.

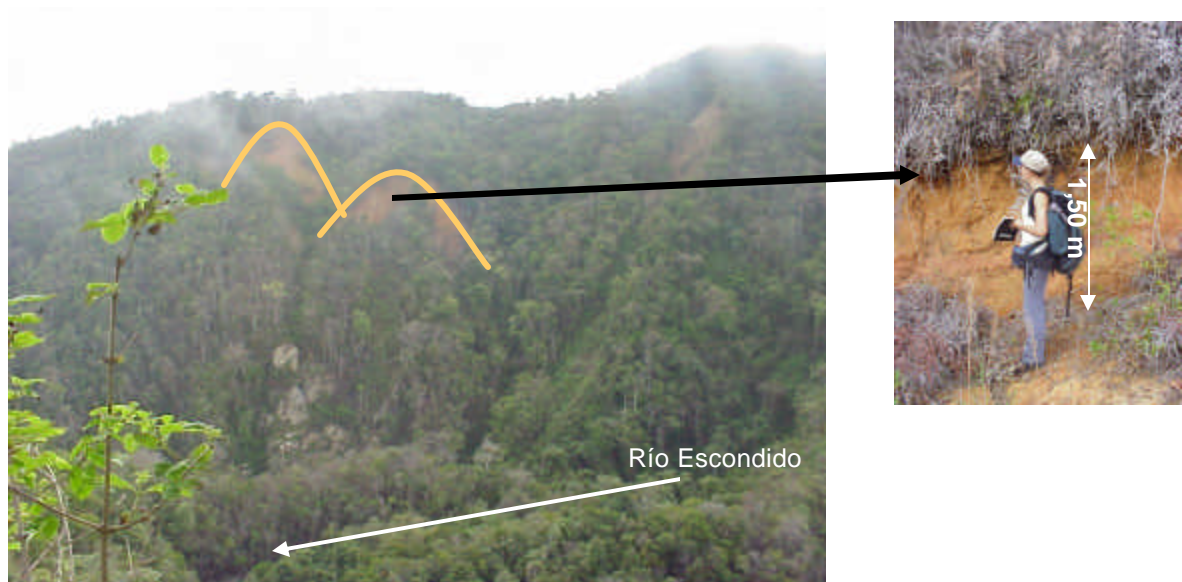


Figura 45. Deslizamiento superficial con remoción de la cobertura vegetal observado en las laderas que conforman el límite de cuenca al Este desde LDC1, pertenecientes a la unidad litológica del Complejo San Julián sin diferenciar. La imagen fue tomada desde la estación del teleférico ubicado en Loma de Caballo. La subcuenca que se encuentra entre ambas corresponde al cauce de Río Escondido. La figura de la izquierda muestra un perfil de suelo típico en esta zona, con aproximadamente 1,50 m de espesor y 30 cm de capa vegetal. (Rumbo de la foto pequeña E-W).

### Deslizamiento con flujo de lodo

Se localizan a lo largo de toda la cuenca, especialmente hacia la zona baja y media. Este tipo de deslizamiento es una subcategoría de los flujos deslizantes o *flow slide*, que se caracterizan principalmente por ser muy grandes y alargados con un escarpe principal en forma semicircular (figura 46). La superficie del deslizamiento es en su mayoría de suelo laterítico mostrando solo una escasa parte de la estructura de la roca, ya sea en el fondo o en los bordes del deslizamiento. Las superficies de discontinuidad en la roca permiten la infiltración del agua, favoreciendo el desarrollo de una superficie de deslizamiento que desestabiliza rápidamente el material que

está por encima. En la parte baja de estos movimientos de masa se pueden observar depósitos consolidados en forma de lóbulo que corresponden a eventos antiguos. Las marcas en el fondo del canal principal evidencian la presencia de flujos hiperconcentrados (POL 2003).

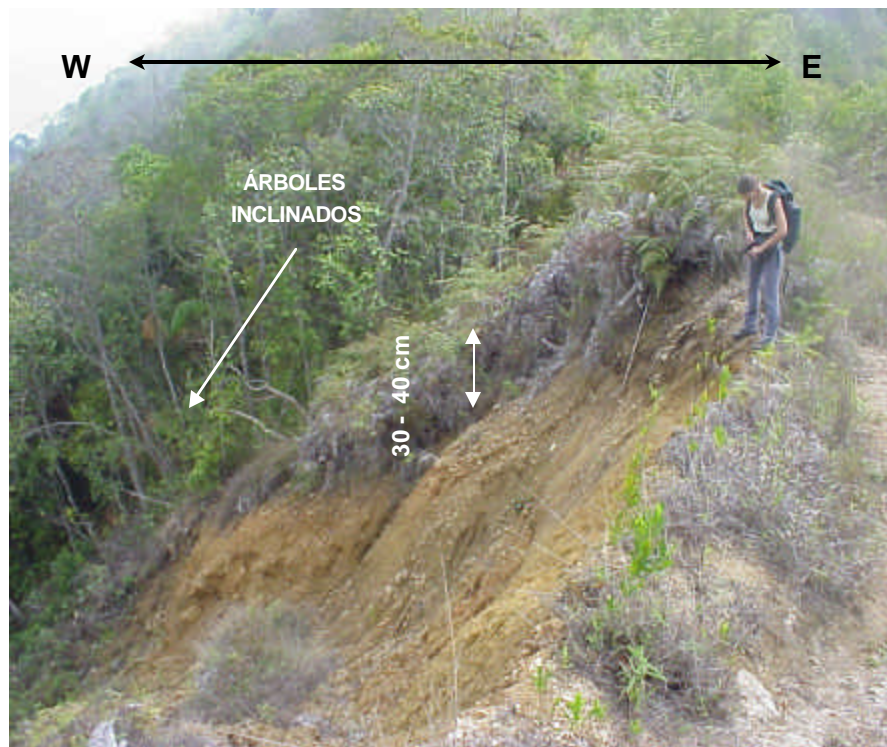


Figura 46. La imagen muestra el escarpe principal en forma circular en un deslizamiento con flujo de lodo o *mudflow* localizado en el LDC06 en la cuenca media, zona central (Loma de Caballo). El color ocre característico se vincula con los materiales presentes en la parte baja de la cuenca, correspondientes al clima árido imperante en esa zona (POL 2003). Nótese la inclinación de los árboles que evidencian el estado **inactivo** pero **latente** del deslizamiento. (Rumbo de la foto S-N).

### Deslizamiento planar con flujo de detritos (*earthflow*)

Movimientos de masa muy grandes que se localizan hacia la zona Este en la parte alta y media de la cuenca (figura 47), representando aproximadamente un 15% de los movimientos de masa en la cuenca (POL 2003). Se caracterizan por la remoción total de la capa vegetal y de todas las formaciones superficiales que se encuentran sobre la roca sana (figura 48). Una de las variables principales en este tipo de movimientos se encuentra en el hecho de que se localizan en laderas cuyas pendientes oscilan entre los 40° - 70°. La roca de composición gneísica (figura 50) en este caso presenta su buzamiento a favor de la pendiente de la ladera, favoreciendo así su rápido desarrollo.



Figura 47. Foto panorámica del límite Este de la cuenca en donde se observan los deslizamientos planares con flujos de detritos indicado con el círculo amarillo. Las fotos mostradas a continuación representan estos afloramientos de estos flujos.

(Rumbo de la foto W-E).



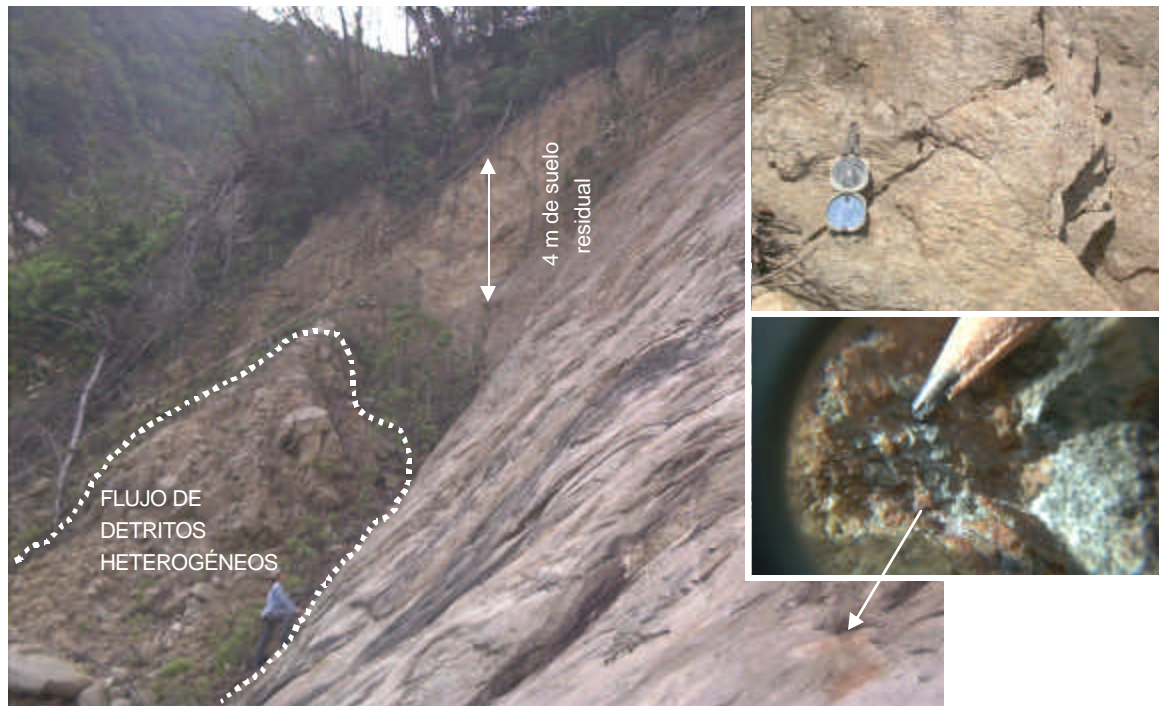


Figura 48. Movimiento ubicado en el punto G35 formando un ángulo de aproximadamente 40° con la horizontal. Se observa un suelo residual color marrón claro de 6 m de espesor y una roca poco descompuesta mostrando claramente una foliación N65°E 60°N y sus planos de diaclasas.



Figura 49. El mismo tipo de movimiento de masa ubicado en el punto G37 (cercano a la zona de la figura anterior), que se caracteriza por presentar también el buzamiento a favor de la pendiente de la ladera ( $40^\circ$  al Noroeste).

**I** Movimiento translacional planar de detritos con una corona que presenta una inclinación aproximada de  $80^\circ$  con respecto a la horizontal.

**II** Detalle de la acumulación heterogénea de bloques y detritos.

**III** Muestra un detalle de los planos de diaclasamiento presentes en la roca madre (gneis o augengneis con vetas de cuarzo de 1 cm aproximadamente) ubicados en la parte inferior de una de sus laderas. Familias de diaclasas:  $D_1= N70^\circ E54^\circ S$   $D_2= N10W90^\circ$   $D_3= N30^\circ W75^\circ S$   $D_4= N50^\circ E35^\circ N$  y  $Fol=N57^\circ E50^\circ N$ .



Figura 50. Deslizamiento planar ubicado en el punto LDC 12 en una ladera del límite Este de la cuenca media, vista desde Loma de Caballo con una dirección de E-W. La imagen muestra claramente la superficie limpia producto del deslizamiento del bloque planar (zona roja). La foliación de la roca es de aproximadamente N80W45N. Obsérvese la inclinación de los troncos de los árboles, evidenciando la inestabilidad de la formación y el deslizamiento en estado **latente**

### **Deslizamiento rotacional simple con canal de flujo de detritos**

Se observa en dos zonas de la cuenca, en el punto G38 (figura 51) ubicado en la zona Este de la cuenca alta y en el punto SJdG 0 ubicado en la ladera Oeste del Río San José de Galipán, zona central de la cuenca media (figura 52). Ocupan aproximadamente un 1 % del área total de la cuenca. Se caracterizan por presentar un movimiento inicial de tipo rotacional simple con caída de bloques heterogéneos sostenido por una matriz arenosa como el observado en el punto G38 en la zona Este de la cuenca alta (véase el escarpe principal en la figura 51). Posteriormente la formación de un canal de flujo de detritos contiene dichos bloques. La roca madre de los detritos que

conforman el canal de flujo está formada por un gneis  $\pm$  plagioclásico  $\pm$  muscovítico muy descompuesto. En esta zona la pendiente general del movimiento oscila entre los  $30^\circ$  y  $40^\circ$ , mientras que la ladera presenta una pendiente de  $80-90^\circ$  de inclinación.

Por otra parte, en el punto SJDG 0 ubicado en la parte central de la cuenca media (veáse la figura 52) se observó un deslizamiento rotacional de suelo de 28 m de longitud, formado por una gran cantidad de fragmentos de rocas micáceas heterogéneas, angulosas con formas tabulares y discoidales. Es también característica la presencia de cárcavas de erosión.



Figura 51. Movimiento rotacional simple con canal de flujo de detritos en el punto G38. La foliación de la roca madre es  $N70^\circ W28^\circ N$  y presenta además 4 familias de diaclasas. (Rumbo de la  $N20^\circ E$ ).



Figura 52. Deslizamiento rotacional de suelo en el punto SJdG 0 ubicado en la cuenca media, ladera Oeste del río San José de Galipán. Las cárcavas presentan una profundidad de aproximadamente 2,5 m y el suelo es limoso de color rojizo. (Rumbo de la S60°W).

### **Caída de bloques (Rockfall)**

Este tipo de movimiento está ubicado en la zona central de la cuenca media y en la confluencia del Río de San José de Galipán y Río Escondido. La caída de estos bloques se encuentra asociada a zonas en donde la roca se encuentra expuesta continuamente a los procesos exógenos, es decir, libres de toda formación superficial (cobertura vegetal y suelo residual). En estos casos las rocas se encuentran altamente diaclasadas por efectos tectónicos, y la caída de bloques se encuentran directamente asociada a pendientes mayores a 70°.

Estas condiciones favorables para este tipo de movimiento se encuentra principalmente en el Picacho de Galipán y en los valles encajados asociados a los drenajes principales de la confluencia.

Muchas de las evidencias de la caída de bloques desde el Picacho de Galipán es la presencia de acumulaciones de bloques en las quebradas que se encuentran ubicadas en sus laderas, como se muestra en la figura 55.

Estas caídas de grandes bloques provocaron acumulaciones en muchas de las quebradas que presentan un grado de encajonamiento muy grande e impidieron su fácil movilidad durante el evento, principalmente en aquellas ubicadas en la zona de la cuenca media (Figuras 53 y 54).



Figura 53. La figura de arriba corresponde al Picacho de Galipán, fuente de aporte de casi el 85% de los grandes bloques, que quedaron acumulados a unos 20 m de la unión entre del cauce de la Quebrada Los Perros y río San José de Galipán en la zona de San José de Galipán (figura de abajo), (Rumbo de la fotos S70°W y N30°W respectivamente).



Figura 54. Acumulaciones de bloques en la zona de la cuenca media del Río San José de Galipán (punto 12). Dichas acumulaciones se deben principalmente a las variaciones en el nivel de energía de los flujos torrenciales producto a los cambios de pendiente típicos de esta parte de la cuenca.

(Rumbo de la foto E-W).



Figura 55. En la foto I (Rumbo W-E) se muestran las acumulaciones de bloques de gran tamaño dispuestas en los valles encajados de las laderas del Picacho de Galipán y en la foto II, ubicado en el punto LP 6 (Rumbo S80°E) se observan los diques naturales formados por la aglomeración de los bloques provenientes de las laderas del Picacho de Galipán.



### Flujo de detritos

Estos movimientos se encuentran ubicados en la zona Este de la cuenca en su parte media y alta, están caracterizados por el desprendimiento y transporte de detritos con heterogeneidad granulométrica importante.



Figura 56. Se muestra la forma típica de un flujo de detritos y la acumulación de las partículas más debajo de la corona del deslizamiento en las laderas correspondientes al límite Este de la cuenca media (zona amarilla).  
(Rumbo de la foto S80°E)

En muchos casos se observan arrastre de la cobertura vegetal y una parte importante de la formación residual del suelo, sin llegar a observarse la roca fresca, lo que marca su diferencia con los flujos de detritos asociados a los movimientos planares descritos anteriormente. Mucho del material que es arrastrado en estos deslizamientos se deposita más abajo del inicio del mismo.

La morfología es muy variada y puede tener formas semielipsoidales (véase la figura 56) o formas alargadas, que por lo general se encuentran asociados a suelos formados por la meteorización de los gneises y augengneises (figura 57) de el Complejo de San Julián.



Figura 57. Litología asociada a los flujos de detritos observados en el punto LDC 15 (límite Este de la cuenca). En esta foto se observa el grado de meteorización (roca descompuesta) del augengneis feldespático cuarzoso micáceo perteneciente al Complejo de San Julián.

### **Carcavas de erosión**

Se localizan en su mayoría en el poblado de San José de Galipán ubicado en la zona media-alta de la cuenca, en donde los suelos han sufrido la acción antrópica como la actividad agrícola (figura 58), en donde se alteran

las condiciones naturales de los mismos y provocan la disminución en la cohesión del suelo, aumentando la sensibilidad a la erosión.



Figura 58. Surco ubicado en el punto G41 formado durante un escurrimiento generado en diciembre de 1999. Nótese en la figura de abajo el perfil del suelo producto de la meteorización de coluviones antiguos típicos de esta zona, caracterizada por poseer la mayor actividad agrícola de toda la cuenca.

(Rumbo de la foto N-S)

Estos escurrimientos están evidenciados por la formación de grandes surcos en el suelo, los cuales pueden variar la profundidad dependiendo de las características de la formación superficial.

#### 8.1.4 Acumulaciones de bloques

Durante un evento torrencial se produce un transporte de bloques de gran tamaño los cuales se sedimentan cuando existe un cambio en la pendiente o en el nivel de energía del fluido generando acumulaciones.

Estas acumulaciones de bloques corresponderían a la facies más gruesa del flujo de detritos, dicha fracción se encuentra soportada por una matriz de gravas, arenas y limos, demostrando el carácter heterogéneo de estos flujos. En muchos de los casos la misma es erosionada y en otros la matriz queda atrapada cuando ocurren las acumulaciones de los bloques (figura 59).



Figura 59. Se muestra la matriz que quedó atrapada entre los bloques de gneis. Afloramiento 8 en Quebrada los Perros. (Rumbo de la foto N-S)

En la cuenca de San José de Galipán existen acumulaciones de bloques en la zona de la cuenca media y en la zona del ápice del cono, el tamaño de los bloques presentes en estas zonas varían entre 1 a 10 m, con una morfología muy variada.

En el lado Oeste de la cuenca media se observa una mayor presencia de bloques de mayor tamaño y en mayor porcentaje que en el lado Este. En la mayor parte de Quebrada Los Perros se observan estas acumulaciones, las cuales presentan bloques de varios tamaños y formas casi tabulares o irregulares, siendo estas últimas las más abundantes (figura 60).



Figura 60. Se muestra las diversas formas de los bloques presentes en Quebrada Los Perros, afloramiento 9. (Rumbo de la foto S35°E).



Figura 61. En la fotografía se muestran las alturas (7 m) alcanzadas por las acumulaciones de los bloques presentes en Quebrada Los Perros, afloramiento 10. (Rumbo de la foto N-S).

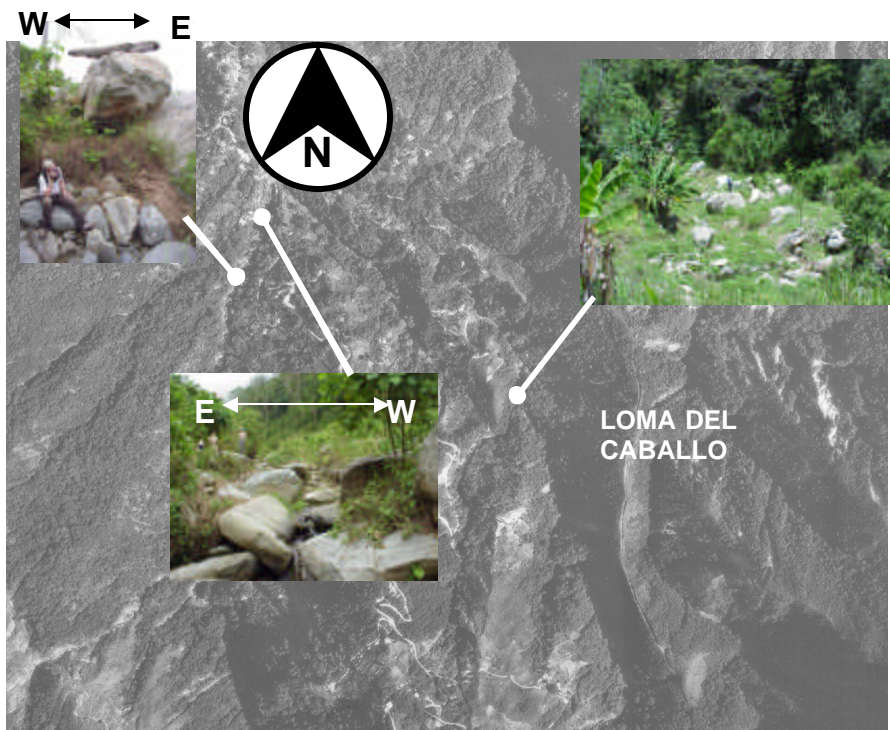


Figura 62. Distribución de los bloques en la cuenca media correspondiente a la zona de San José de Galipán y Loma de Caballo. Fotografía aérea tomada en marzo 2002, misión 0304193-671.

En la quebrada ubicada en el lado Oeste de Loma del Caballo también se observan la presencia de bloques de gran tamaño distribuidos de manera mas esporádica en la quebrada, la forma que presentan estos bloques tiende a ser mas esférica que las formas presentadas por los bloques de quebrada Los Perros.

### 8.1.5 Suelos

En este trabajo el estudio de los suelos no está contemplado como parte de los objetivos principales, sin embargo se realizó una pequeña caracterización de los mismos utilizando métodos visuales. En la caracterización de los suelos en la cuenca de San José de Galipán, se determinó la litología de la roca madre y el grado de meteorización de la misma, espesores de la capa vegetal y espesor de suelo aflorante. A continuación se muestra una tabla resumen de las características de los suelos observados en la cuenca:

Tabla 10. Características de los suelos en la cuenca de San José de Galipán.

CUENCA	GRADO DE METEORIZACIÓN	UBICACIÓN	COLOR SUPERFICIAL	LITOLOGÍA	ESP. SUELO	ESP. CAPA VEGETAL
Media	IV	Corte de carretera, punto LP 4	ocre medio - claro	augengneis feldespático micáceo cuarzoso	5 m	50 cm
Media	IV	Corte de carretera, punto LP 6	ocre más oscuro	gneis micáceo cuarzoso	4 m	50 cm
Media	III	Loma del Caballo, punto LDC 6	ocre medio - claro	esquisto micáceo feldespático micáceo		
Media	V	Loma del Caballo	ocre rojizo oscuro	esquisto micáceo feldespático		30 cm
Media	V	Loma del Caballo	ocre claro	augengneis		
Media	VI	Loma del Caballo	ocre rojizo oscuro		1,7 m	50 cm
Media	V	Río San J. de G.	ocre rojizo	esquistos micáceos		
Media	IV	Detrás casa de Iván	verde claro	gneis de grano fino		
Media	VI	Detrás casa de Iván		esquistos micáceos		
Alta	V	Fila Maestra al oeste	marrón claro	esquisto -micáceo-Qz-feldespático	3 m	0,5-1 m
Alta	IV	Fila Maestra al este	marrón claro	esquisto -micáceo-Qz-feldespático	1,5 m	0,5-1 m



Figura 63. Suelo encontrado en el punto SJ6 al Oeste de la Fila Maestra.  
(Rumbo de la foto N-S).



Figura 64. Suelo predominante en el punto SJG10 de la cuenca media, nótese el escaso espesor de la cobertura vegetal en los cortes de carretera.  
(Rumbo de la foto grande N-S).





Figura 65. Se muestra la diferencia de color en los suelos residuales debido a la meteorización de diferentes litologías (ambas pertenecen al Complejo de San Julián: 1) Gneis cuarzo feldespático micáceo y 2) Esquisto cuarzo micáceo) de la cuenca media correspondiente a las laderas ubicadas en el límite Este. (Rumbo de la foto S35E).

En la cuenca baja los espesores de suelos residuales producto de la meteorización de tipo laterítico del Esquisto de Tacagua varían entre 0,5 a 1 m, mientras que la cobertura vegetal (vegetación xerófito) en esta zona presenta espesores de 0,5 m.

A medida que se sube en la cuenca los niveles de meteorización aumentan principalmente hacia el lado Este, en donde domina la litología gnéisica (figuras 64 y 65).

## **8.2. Unidades metamórficas**

### **8.2.1. Asociación Metamórfica La costa**

#### **8.2.1.1. Esquisto de Tacagua**

##### **Ubicación y extensión**

La unidad se encuentra como una franja alargada orientada paralela a la línea de costa y aflora en las laderas que descienden a la urbanización Macuto tanto del lado Este como del Oeste.

##### **Contactos**

Al Norte está en contacto abrupto con los sedimentos recientes, mientras que al Sur se encuentra en contacto de Falla (traza de la falla de Macuto) con el Complejo de San Julián.

##### **Características de campo**

Los afloramientos presentes en Macuto, poseen una foliación bien desarrollada con sectores muy plegados. Localmente muestran una textura casi filítica y esquistosa de grano fino, no competentes y son frecuentes las vetas de cuarzo de 1 a 5 cm de espesor y bajo porcentaje de calcita (figura 66). En cuanto a la composición mineralógica coexisten cuarzo, plagioclasa (albita), epidoto, moscovita, grafito y en menor grado calcita (NIETO 2003).

El color fresco va desde el gris claro a gris oscuro alternando con rocas de colores verde manzana claro y verde oscuro que corresponden a las ricas en minerales del grupo del epidoto, mientras que, en las cercanías de la Falla de Macuto corresponde a pequeños cuerpos de anfibolitas (boudines) del Complejo San Julián, asociadas a las fallas (figura 67).

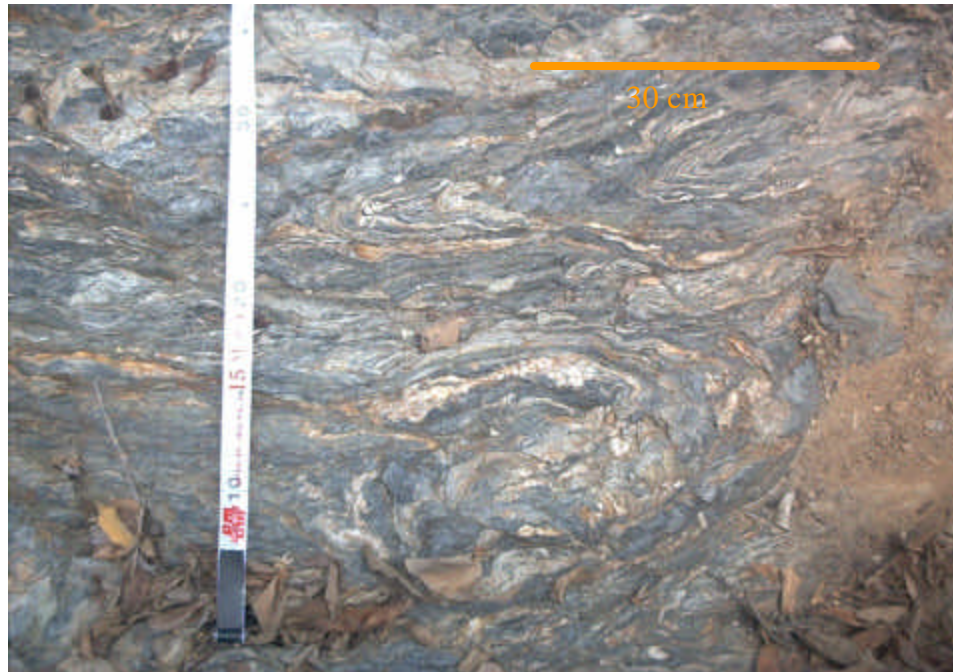


Figura 66. Afloramiento en el punto QM10 donde se muestra el Esquisto de Tacagua en uno de los tributarios del Oeste.  
(Rumbo de la foto S-N).



Figura 67. Boudines en el Esquisto de Tacagua, se encuentran localizados en la Quebrada Montesuma, punto QM5. (Rumbo de la foto S-N).

### 8.2.1.2. Serpentinita

#### Ubicación y extensión

En la zona de estudio aflora en la quebrada Montesuma en la ladera ubicada más al Norte, como un cuerpo pequeño de 15 m de largo.

#### Contactos

Se encuentra en contacto de falla al sur (Falla Macuto) con el Complejo San Julián, y está flanqueado por el Esquisto de Tacagua al norte, Este y Oeste (no se diferenció como era su contacto con el esquisto).

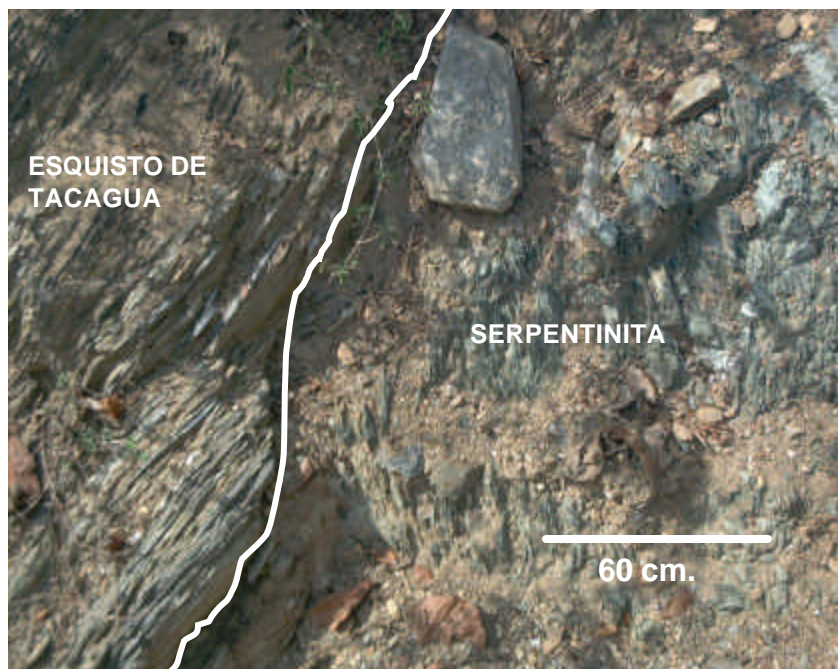


Figura 68. Se muestra el contacto entre el Esquisto de Tacagua y la Serpentinita en el punto QM12 de la Quebrada Montesuma.

(Rumbo de la foto S-N).

#### Características de campo

Esta unidad presenta un color fresco verde oscuro y color meteorizado pardo rojizo, se encuentra muy diaclasado y fracturado, presentan baja

dureza debido al grado de fracturamiento y la foliación es poco marcada. (figuras 68 y 69).



Figura 69. Se observa el cuerpo de serpentinita, y se hace acotación el plano de falla presente en el mismo ubicado al Sur del afloramiento en la Quebrada de Montesuma. (Rumbo de la foto NE).

### **8.3.1. Asociación Metamórfica Ávila**

Esta asociación presenta una gran variedad de tipos litológicos entre los que destacan: gneis, augengneis y esquisto. Todos los litotipos presentes en el complejo, fueron descritos por NETO (2003). En el trabajo se hace énfasis en la zona de Río Escondido, el cual corresponde a la Asociación metamórfica Ávila sin diferenciar.

#### **8.3.1.1 Complejo San Julián**

##### **Ubicación y extensión**

El Complejo de San Julián aflora desde la Fila Maestra (límite Sur de la cuenca de San José de Galipán) hasta la quebrada Montesuma ubicada en el Norte de la cuenca. Este cuerpo metamórfico se extiende tanto al Este

como al Oeste de la zona de estudio en forma de un cinturón alargado paralelo a la foliación que domina en la zona.

Este complejo metamórfico presenta un ancho de aproximadamente 6 km, cuyo valor no es constante en toda la cuenca ya que en el lado Oeste presenta casi 5 km, mientras que al Este se hace más ancho y puede alcanzar 6,5 km.

### Contactos

El cinturón metamórfico del Complejo de San Julián en el Norte presenta un contacto de falla con el Esquisto de Tacagua, esta falla se conoce con el nombre de falla de Macuto y al Sur con las rocas del Grupo Caracas (el tipo de contacto no fue determinado). Según NIETO (2003) el Complejo de San Julián presenta un contacto concordante con el Augengneis de Peña de Mora (figura 70).



Figura 70. Contacto entre el Esquisto de Tacagua y el Complejo de San Julián en la zona de la quebrada Montesuma,. Nótese al ángulo de buzamiento que presenta la falla de Macuto (con movimiento dextral) de aproximadamente  $60^{\circ}$  S (líneas rojas).

(Rumbo de la foto W-E).

### **Características de campo**

Este complejo presenta una variedad de matices en su color fresco, dominados por los colores grises, los cuales varían entre claros a oscuros y hasta muchas veces azulados muy tenues. En cuanto a los colores de meteorización estos tienden a ser amarillentos o parduscos oscuros.

La textura que presentan las rocas de este complejo es transicional de augengneis hasta esquisto, observándose una disminución en el tamaño del grano de Sur a Norte. Los gneises presentan un bandeamiento muy marcado, dichas bandas tienden a ser paralelas a la foliación regional.

### **Sub-unidades litológicas**

Los litotipos presentes en el Complejo de San Julián fueron determinados por NETO (2003), quien reconoce y diferencia las siguientes sub unidades litológicas entre la cuenca media y alta del río San José Galipán; básicamente son paquetes de gneis, esquisto y un cuerpo de augengneis.

- Gneis cuarzo-plagioclásico.
- Gneis plagioclásico-cuarzoso.
- Gneis plagioclásico-micáceo.
- Gneis cuarzo-anfibólico.
- Esquisto plagioclásico-cuarzo-micáceo.
- Augengneis cuarzo-plagioclásico.
- Anfibolita.

A continuación se muestra la descripción de la litología presente en la zona de río Escondido:

### **Río Escondido**

#### **Ubicación y extensión**

Esta zona se encuentra localizada en la cuenca media en la zona comprendida entre Loma del Caballo al Oeste y el límite de la cuenca hacia

el Este. Se caracteriza por presentar cuatro sub-unidades litológicas pertenecientes al Complejo de San Julián, como se muestra en la tabla 11.

Tabla 11. Sub-unidades litológicas del Complejo de San Julián en la zona de Río Escondido.

Subunidad Litológica	Tipo litológico	Nombre	Muestras
Gneis plagioclásico	Gneis plagioclásico epidótico micáceo	Gneis plagioclásico epidótico biotita	RE-01 RE-04 RE-10
	Gneis plagioclásico cuarzoso micáceo	Gneis plagioclásico cuarzoso muscovítico	RE-17 RE-21
	Gneis plagioclásico clorítico micáceo	Gneis plagioclásico clorítico muscovítico	RE-14
Gneis anfibólico micáceo	Gneis hornblendítico biotítico	Gneis hornblendítico biotítico clorítico	RE-24
Esquisto plagioclásico	Esquisto plagioclásico micáceo	Esquisto plagioclásico muscovítico clorítico	RE-13 RE-18
	Esquisto plagioclásico cuarzoso	Esquisto plagioclásico cuarzo muscovítico	RE-26
Cloritocita	Cloritocita	Cloritocita	RE-15

### Sub-unidades litológicas pertenecientes a la zona de río Escondido

#### Gneis plagioclásico

##### Ubicación y extensión

Se localiza entre Loma de Caballo y el límite Este de la cuenca. Se presenta como un cuerpo de forma alargada con una orientación casi N-S y una extensión de 500 a 600 m de largo y 200 a 300 m de ancho.

##### Características de campo

Las rocas de esta sub-unidad se caracterizan por presentar un bandeamiento (figura 71) con rumbo E-W, el cual tiende a disminuir hacia el Norte. Los colores varían de acuerdo a la composición en los minerales mayoritarios, los cuales pasan de grises verdosos claros (gneises plagioclásicos epidóticos) a grises parduscos (gneises plagioclásicos cuarzosos, figura 72).





Figura 71. Bandeamiento característico del Gneis plagioclásico en el punto 5 de Río Escondido. Las bandas tienen una orientación aproximada E-W.

(Rumbo de la foto E-W).



Figura 72. Afloramiento de Gneis plagioclásico en los puntos 8 y 9 de Río Escondido. En esta zona se encontraron boudines de color verde de dimensiones variadas (15 a 20 cm de ancho y 30 cm largo).(Rumbo de la foto N-S).

La textura de las rocas en esta unidad varía de augengneis a gneis hacia el Norte, dentro de las texturas gneisica existen variaciones en los tamaños de los granos, siendo los más finos aquellos pertenecientes a los gneises plagioclásico clorítico micáceo ubicados más al Norte.

Dentro de esta sub-unidad se presentan intercalaciones de variaciones mineralógicas que presentaban un aumento en los minerales verdes presentes en la mineralogía principal.

### Petrografía

La tabla 12 describe el análisis petrográfico en el cual se muestran valores mineralógicos, expresados en porcentajes (ver anexos 3):

Tabla 12. Valores mineralógicos expresados en porcentaje (%) para el gneis plagioclásico.

MUESTRA	Plagioc (albita)	Qz	Epidoto (zoicita)	Musc	Biot	Apat	Clor	Piroxeno (augita)	Esfena	Circón	Granate	Actinolita	Pirrotita	Pirita
RE-01	25	5	25	10	10	7	5	5	5	3	-	-	-	-
RE-04	32	-	20	2	15	15	10	-	-	1	2	3	-	-
RE-10	35	-	18	2	15	3	10	-	15	1	-	-	1	
RE-14	75	3	-	10	-	1	10	-	-	1	-	-	-	<1
RE-17	45	40	-		10	-	5	-	-	<1	-	-	-	-
RE-21	50	26	-	24	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
RE-25	25	50	-	20	-	-	5	-	-	-	-	-	-	-
Promedio	44	14	9	8	8	4	6	1	3	1	<1	<1	<1	<1

Plagioc=plagioclasa; Qz=cuarzo; Musc=muscovita; Biot=biotita; Apat=apatito; Clor=clorita

**Cuarzo:** agregados equigranulares y policristalinos dispuestos paralelamente a las micas generando una textura de flujo bandeado paralelo a la foliación. Los cristales son anhedrales con formas alargadas donde el tamaño de grano varía de 0,1 a 0,5 mm a lo largo de las muestras.

El cuarzo suele asociarse a la muscovita, y en algunos casos a la biotita. La extinción ondulatoria es bien marcada.

**Plagioclasa (albita):** Los granos de plagioclasas presentan formas anhedrales en su mayoría y subhedrales, los cuales se encuentran altamente fracturados. Los de mayor tamaño presentan abundantes inclusiones de apatito y circón, así como también sombras de presión alrededor de dichos granos, constituidas por una mezcla de cristales de biotita, clorita, epidoto y apatito. Presentan formas ovaladas dispuestas paralelamente a las micas y cuarzos, en muchos casos la ausencia de maclas hacen difícil la diferenciación entre plagioclasas y cuarzos.

**Muscovita:** Los cristales son anhedrales con forma tabular alargada rodeando a las plagioclasas y cuarzos. Se encuentra asociada a la biotita o clorita formando una textura lepidoblástica.

**Minerales del grupo epidoto:** Los cristales son subhedrales y euhedrales con hábito granular, presentando formas alargadas de 1 a 2 mm de largo, los cuales se disponen orientados paralelos a las micas.

**Biotita:** Al igual que la moscovita, esta se presenta con cristales anhedrales de forma alargada dispuestos paralelos a la foliación de la roca, en algunos casos la biotita se encuentra alterando a clorita.

**Clorita:** Los cristales de clorita son anhedrales formando escamas alargadas orientadas paralelas con respecto a la foliación.

La asociación con las micas como la biotita y/o la muscovita definen una textura lepidoblástica, con bandas que tienden en algunos casos a plegarse a lo largo de la foliación. La distribución es irregular en las secciones finas.

**Apatito, circón, esfena:** Se presentan como micro cristales (< 0,1 mm) subhedrales alargados, se encuentran inclusionando a los cristales de plagioclasa y cuarzo, siendo las plagioclasas las más inclusionadas. Se orientan en muchos casos paralelos al eje mayor de los cristales inclusionados.

Están asociados a los cuarzo, plagioclasas y a las micas.

### **Gneis anfibólico**

### Ubicación y extensión

Solo se encontró aflorando al Este entre los puntos 18-19 de Río Escondido. Se presenta como un pequeño cuerpo de 15 m de largo.

### Características de campo

Roca de grano fino que presenta un color fresco verde oliva oscuro que meteoriza a pardo verdoso oscuro. El cuerpo presenta una gran cantidad de diaclasas como se observa en la figura 73.



Figura 73. Gneis anfibolítico en el punto 19 aflorando al Este en Río Escondido. La foto muestra el diaclasamiento sobre un plano de falla.

(Rumbo de la foto S30°W).

### Petrografía

La tabla 13 describe el análisis petrográfico en el cual se muestran valores mineralógicos, expresados en porcentajes (ver anexos 3):

Tabla 13. Valores mineralógicos expresados en porcentaje (%) para el gneis anfibolítico.

MUESTRA	Plagioc (albita)	Czo	Epidoto (zoicita)	Esfena	Biot	Apat	Clor	Horblenda
RE-24	10	15	5	5	15	5	5	40

Plagioc=plagioclasa; Qz=cuarzo; Musc=muscovita; Biot=biotita; Apat=apatito; Clor=clorita

La muestra presenta un ligero bandeamiento con los granos equigranulares presentando formas alargadas distribuidos en forma desordenada.

**Hornblenda:** Se presenta en cristales equigranulares, euhedrales y subhedrales (aproximadamente el 50% de las mismas), con bordes redondeados y una ligera orientación. La hornblenda se puede encontrar inclusionando granos de cuarzo, dichos cristales presenta caras bien formadas (euhedrales) y también se pueden encontrar asociados a los cuarzos formando contactos suturados. El clivaje se presenta bien marcado.

**Plagioclasa (albita):** Los cristales son anhedrales a subhedrales con formas ovaladas, bordes irregulares y corroídos. Por lo general se encuentran muy alteradas, con ausencia del maclado típico, excepto pequeños granos de 0,2 mm en donde se observa claramente la macla. Se encuentran inclusionados por apatitos, esfenas y epidotos.

**Cuarzo:** Presenta las mismas características de la plagioclasa, como agregados equigranulares y policristalinos con una ligera alineación con respecto a las micas. Los cristales son anhedrales con formas alargadas y bordes irregulares. Suele asociarse a la hornblenda, inclusionados por los mismos además de apatito y esfena. La extinción ondulatoria es bien marcada.

**Micas (biotita):** Los cristales son anhedrales a subhedrales y se encuentran rodeando a los granos de hornblenda y cuarzo de gran tamaño.

**Esfena:** Cristales anhedrales de forma redondeada; en algunos casos se presenta como inclusión en cristales de albita y cuarzo; por otro lado, su distribución es irregular a lo largo de las secciones finas.

## Esquisto plagioclásico micáceo

### Ubicación y extensión

Se presentan como 2 pequeños cuerpos alargados que afloran paralelos siempre al Este del Río Escondido y tienen unos 60 a 80 m de largo y 30 a 40 m de ancho.

### Características de campo

Las rocas de esta sub-unidad presentan una textura esquistosa muy marcada por la gran cantidad de filosilicatos, el color fresco es gris verdoso oscuro el cual meteoriza a un pardo oscuro ligeramente verdoso.

Estos esquistos presentan una gran cantidad de pliegues rellenos con cuarzo como se puede observar en la figura 74.

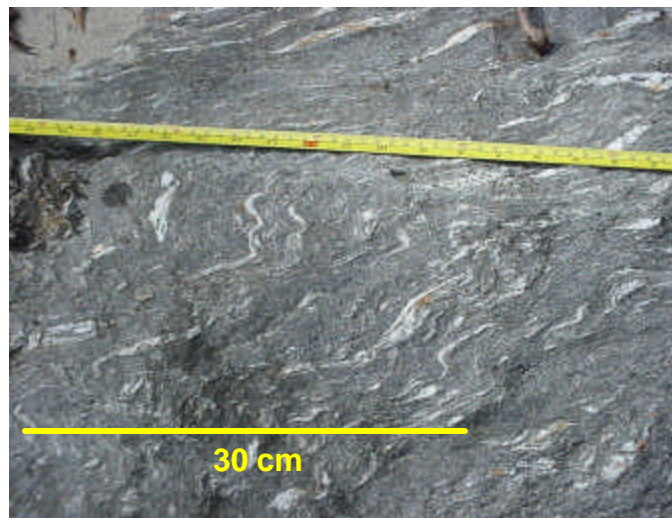


Figura 74. Pliegues característicos de la sub-unidad de esquisto plagioclásico micáceo. Punto 24. (Rumbo de la foto N10°E).

### Contactos

Esta sub-unidad se encuentra en contacto de falla con el gneis plagioclásico, la cual tiene un rumbo de N20°E SV, dicho contacto se ve

claramente al Oeste de este cuerpo mientras que al Este no se encontró evidencia del mismo.



Figura 75. Contacto entre el Esquisto plagioclásico micáceo (al Este) y el Gneis plagioclásico micáceo (al Oeste). Afloramiento en el punto 38 de Río Escondido. (Rumbo de la foto S80°E).

### Petrografía

La tabla 14 describe el análisis petrográfico en el cual se muestran valores mineralógicos, expresados en porcentajes (ver anexos 3):

Tabla 14. Valores mineralógicos expresados en porcentaje (%) para el Esquisto plagioclásico micáceo

MUESTRA	Plagioc (albita)	Czo	Musc	Biot	Apat	Clor	Circón	Calcita	Pirita	Epidoto (zoicita)
RE-13	40	15	20	-	<1	25	<1	-	<1	-
RE-18	45	25	10	5	<1	0	<1	15	-	-
RE-26	35	30	15	10	<1	5	-	-	-	5
<b>Promedio</b>	<b>40</b>	<b>23</b>	<b>15</b>	<b>5</b>	<b>&lt;1</b>	<b>10</b>	<b>&lt;1</b>	<b>5</b>	<b>&lt;1</b>	<b>2</b>

Plagioc=plagioclasa; Qz=cuarzo; Musc=muscovita; Biot=biotita; Apat=apatito; Clor=clorita

**Plagioclasa (albita):** Los cristales son anhedrales con formas ovaladas e irregulares con bordes irregulares paralelos a la foliación de la roca, suelen presentarse sin maclado. Se encuentran altamente fracturados, y dichas fracturas pueden estar rellenas con micas, plagioclasa recristalizada y como en la muestra RE-18 de calcita.

Se encuentran asociadas con el cuarzo y micas, formando la textura nematoblástica con dichos minerales, los cuales se encuentran rodeándolos, formando sombras de presión.

Los cristales de plagioclasa pueden estar o no inclusionados por apatito y circón, los cuales suelen estar dispuestos de forma paralela al eje principal de los granos o pueden estar en forma aleatoria.

**Cuarzo:** Los cristales presentan formas anhedrales formando agregados policristalinos dispuestos paralelamente a las micas que generan una textura de flujo bandeado.

Cabe destacar que las características visuales de los cuarzos y plagioclasas son muy semejantes haciendo difícil la diferenciación entre ambas. La extinción se presenta en forma ondulatoria.

**Micas (muscovita – biotita):** Los cristales son anhedrales a subhedrales, ligeramente orientadas alrededor de los granos de plagioclasa y cuarzo.

**Calcita:** Solo se observó en la muestra RE-18. Se encuentran relleno de micro fracturas de los cristales de plagioclasa, dichas fracturas tienen entre 0,2 a 2 mm de ancho, siendo las primeras las más abundantes. Las fracturas se encuentran dispuestas oblicuamente a las alineaciones minerales.

**Minerales del grupo epidoto:** Se pueden presentar como cristales subhedrales aislados dispuestos paralelamente a las micas o como inclusiones en cristales de plagioclasa y cuarzo, siendo esta última la más común. La distribución es regular a lo largo de todas las secciones finas.



## Cloritocita

### Ubicación y extensión

Se encuentra localizada en el punto 23 de Río Escondido. El afloramiento se presenta como un cuerpo de unos 2 m de ancho y 3 m de alto.

### Contactos

Se encuentra en contacto de falla (N20°E sub-vertical) con un gneis plagioclásico cuarzo micáceo (ubicado más al Norte) y un esquistó plagioclásico micáceo de grano grueso (ubicado más al Sur).

### Características de campo

El color meteorizado es un pardo verdoso muy oscuro y el fresco gris verdoso oscuro. Se presenta como un gran lente alargado, el cual se encuentra embebido de cuarzo lechoso de gran tamaño (10 a 15 cm de largo) con las caras cristalinas bien formadas (ver anexos 3, muestra RE-15).



Figura 76. Cuerpo de cloritocita encontrado entre un gneis plagioclásico cuarzo micáceo y un esquistó plagioclásico micáceo de grano grueso, ubicado en el punto 23 de Río Escondido. (Rumbo de la foto N20°W).

### 8.3.1.2 Augengneis de Peña de Mora

#### Ubicación y extensión

Se encuentra aflorando como un cuerpo alargado con una orientación casi E-W, dicho cuerpo posiblemente se extienda más allá de la zona de estudio

#### Contactos

El augengneis de Peña de Mora aflora el Río Macuto en la zona de confluencia del Río San José de Galipán y Río Escondido. Por el Norte se encuentra en contacto tectónico de falla con el Complejo San Julián; mientras que el límite Sur viene dado por un contacto transicional de una textura augen a una textura gnéisica de las rocas del mismo complejo.

#### Características de campo

El Augengneis de Peña de Mora tiende a presentar colores claros debido al contenido de feldespatos, cuarzo y micas, y un color meteorizado marrón oscuro o pardo.



Figura 77. Augengneis aflorando en la zona de confluencia entre el Río Escondido y Río San José de Galipán en el punto 6. (Rumbo de la foto N-S).

Existen zonas donde es frecuente encontrarlo alternando con gneises bandeados de grano grueso (figura 78) pero predomina siempre la textura augen sobre la gnéisica. Los “ojos” varían de tamaño desde 1 a 5 cm de diámetro (ver figura 77).



Figura 78. Alternancias de gneis bandeado y augengneis, afloramiento 4 de la confluencia entre el Río Escondido y Río San José de Galipán. (Rumbo de la foto E-W).

### 8.3.1.3 Metatonalita

#### Ubicación y Extensión

Esta unidad aflora en la Fila Maestra en el sector El Helechal y el Pico Ávila (Hotel Humboldt). Los cuerpos de esta unidad presentan forma alargada y se encuentran dispuestos paralelamente a la Fila Maestra.

Las dimensiones estimadas del cuerpo aflorante en El Helechal es de al menos 100 m de espesor por 300 m de largo; mientras que el cuerpo que aflora en el Pico Ávila es más largo de casi 800 m y con un ancho de casi 400 m. Debido al difícil acceso en algunos de los sectores de la zona no se pudo determinar exactamente las dimensiones del segundo cuerpo.

### Características de campo

Los afloramientos de este litotipo se caracterizan por un color de meteorización blanco, mientras que el color fresco dado por el mineral de anfíbol es un verde intenso y con una matriz blanca.

Existen zonas donde se puede observar una variación en las texturas, en principio se muestran minerales con una orientación pobre y en otras zonas la foliación está caracterizada por una textura gnéisica. Así mismo existen lugares donde los anfíboles se encuentran en mayores concentraciones, dándole a la roca una apariencia de metagabro (figura 79) (NIETO 2003).



Figura 79. Afloramiento de metatonalita a 70 m de la capilla de la Virgen La Milagrosa.

Se observa el grado de diaclasamiento presente en este cuerpo.

(Rumbo de la foto S-N).

## 9 GEOLOGÍA ESTRUCTURAL

### 9.1 Geología estructural regional

A continuación se muestra una tabla resumen con la geología estructural regional de la zona de estudio.

Tabla 15. Resumen de la geología estructural. Modificado de CANO & MELO (2001).

AUTOR	LOCALIDAD	FOLIACIÓN	PLEGAMIENTO	FALLAMIENTO
<b>DENGO (1951)</b>	Macizo del Ávila, túnel Boquerón, autopista Caracas-La Guaira	La Foliación presente es paralela a la estratificación	Los pliegues - son simétricos con ejes axiales de dirección N60°-70° E	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Fallas inversas buzando S</li> <li>2. Fallas N60° W, buzando S y N</li> <li>3. Fallas E-W</li> </ol>
<b>WEHRMANN (1972)</b>	Región de Guatire – Colonia Tovar	El paralelismo entre la foliación y la estratificación se conserva solo en rocas calcáreas, cuarcitas y conglomerados	La zona se caracteriza por el anticlinorio del Ávila con rumbo E-W	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Fallas normales con rumbo N50°-80° W</li> <li>2. Fallas normales con rumbo E-W</li> <li>3. Fallas transversales con rumbo aproximado N60° W</li> </ol>
<b>AZPIRITXAGA (1979)</b>	Flanco norte del macizo del Avila, Maiquetía – Caraballeda.	La foliacion predominante es E-W con buzamientos entre 40°-50° N		<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Fallas longitudinales de rumbo E-W</li> <li>2. Fallas oblicuas de rumbo N70° W</li> <li>3. Fallas transversales N-S</li> </ol>
<b>FANTI et al. (1980)</b>	Desde Puerto Cruz hasta los Caracas y desde la costa Litoral hasta Ocumare del Tuy			<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Fallas de orientación E-W dextrales.</li> <li>2. Fallas N-S dextrales y sinestrales.</li> <li>3. Fallas NW -SE dextrales.</li> </ol>
<b>OSTOS (1981)</b>	Autopista Caracas – La Guaira y el Estribo de Galindo	La foliacion tiene rumbo E-W	Dos periodos de plegamiento	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Fallas longitudinales de rumbo E-W.</li> <li>2. Fallas transversales con rumbo aproximado N40°-70° W.</li> <li>3. Fallas transversales N-S</li> </ol>
<b>RÍOS (1989)</b>	Segmento de la Cordillera de la Costa comprendido entre Macuto-Naiguatá y Los Ocumitos-Turgua	Las foliaciones estudiadas poseen rumbo N N40°-60° W, N-S, E-W, N70°-80° W, N30°-40° E y N60°-70° E		<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Fallas inversas de rumbo E-W.</li> <li>2. Fallas N-S</li> <li>3. Fallas N50°-60° W</li> </ol>

Continuación tabla 15.

AUTOR	LOCALIDAD	FOLIACIÓN	PLEGAMIENTO	FALLAMIENTO
<b>GARCÍA (1994)</b>	Cuenca río Tocome	Foliación con rumbo predominantemente N65° W y buzamiento 70° S		1. Fallas de orientación E-W 2. Fallas N50° W 3. Fallas N35°
<b>SABINO (1995)</b>	Flanco sur del Pico Naiguatá	La foliación tiene rumbo promedio N72°W y buzamiento 49°S.	La foliación plegada por dos ejes, uno E-W forma un anticlinorio y otro local formando un domo.	1. Fallas E-W con buzando 60° S 2. Fallas NW-SE 3. Fallas NE-SW
<b>ARANGUREN (1996)</b>	Cuenca de la Quebrada El Encantado	Foliación E-W, con buzamientos al sur	Menciona pliegues con planos axiales N60° E.	1. Fallas E-W con buzando 60° S (sistema de fallas del Ávila) 2. Falla E-W
<b>UZCÁTEGUI (1997)</b>	Flanco sur de la Silla de Caracas	Foliación con rumbos N65° E y N70° W, y buzamiento entre 40° y 60° al sur.		1. Fallas con rumbo N60° E 2. Fallas con dirección NW-SE.
<b>BAENA (1998)</b>	Cuenca del río Tacamahaca	La foliación promedio es N65° E y buzamiento entre 50°- 60° al sur.		1. Fallas E-W. 2. Fallas con orientación N50° W 3. Fallas con dirección N45° W
<b>CANO &amp; MELO (2001)</b>	Estado Vargas entre las quebrada Seca de Caraballeda y el río Care	La foliación promedio es N60°E con buzamientos entre 40° y 50° N y una segunda tendencia 50°- 70° S	La orientación aproximada del eje de los pliegues de mayor tamaño es N80° E	1. Fallas con dirección E-W 2. Fallas con dirección N40°-60° W 3. Fallas con dirección N50°-70° E
<b>CASTILLO &amp; SUÁREZ (2001)</b>	Estado Vargas entre Anare-Osma	La foliación promedio es N70° E con buzamientos entre los 60° y 70° N y una segunda tendencia 70° S	La orientación promedio de los ejes de los pliegues de mayor tamaño es N70° E	1. E-W 2. N70° W 3. N70° E 4. N10° W
<b>NIETO (2003)</b>	Cuenca del Río San José de Galipán y quebrada Alcantarilla	Foliación de rumbo promedio N70°E con buzamientos al norte		1. Fallas con dirección E-W 2. Fallas con dirección N10°E-10° W 3. Fallas con dirección N30°-75° E 4. Fallas con dirección N45°-80° E

## 9.2 Geología estructura local

### 9.2.1 Foliación

En la cuenca de San José de Galipán se observan texturas esquistosas y gnéisicas, las cuales presentan un cambio en el desarrollo de las foliaciones. Esta variación se presenta desde el Sur hasta el Norte de la cuenca, en donde hay un aumento marcado en la foliación hacia el Norte. El rumbo promedio es N70°-80°E con buzamiento de ángulos altos entre 70° y 90° hacia el Norte y hacia el Sur en la cuenca baja. El ángulo en el buzamiento presenta un aumento de Sur a Norte.

De forma general la foliación se orienta en respuesta a la configuración tectónica actual en el margen norte de Suramérica (NIETO 2003).

Las mediciones de foliación para cada una de las zonas de la cuenca, fueron representadas utilizando el programa **TectonicsFP® V1.6.2**.

### Esquisto de Tacagua

Esta unidad presenta un buen desarrollo en la foliación debido a la orientación en los minerales micáceos, encontrando una gran cantidad de pliegues. La orientación en la foliación es muy heterogénea, sin poder definir un rumbo preferencial.

### Serpentinita

La foliación presente en esta unidad es muy marcada pero este se encuentra altamente diaclasado en forma irregular y sin un patrón definido, debido a la cercanía que tiene con la falla de Macuto.

**Complejo de San Julián**

Esta caracterizada por tener una variación transicional de augengneis hasta esquisto, observándose una disminución en el tamaño del grano de Sur a Norte.

Los gneises presentan una foliación muy marcada con un bandeamiento definido por la intercalación de los minerales claros y oscuros, dichas bandas tienden a ser paralelas a la foliación regional (NIETO 2003).

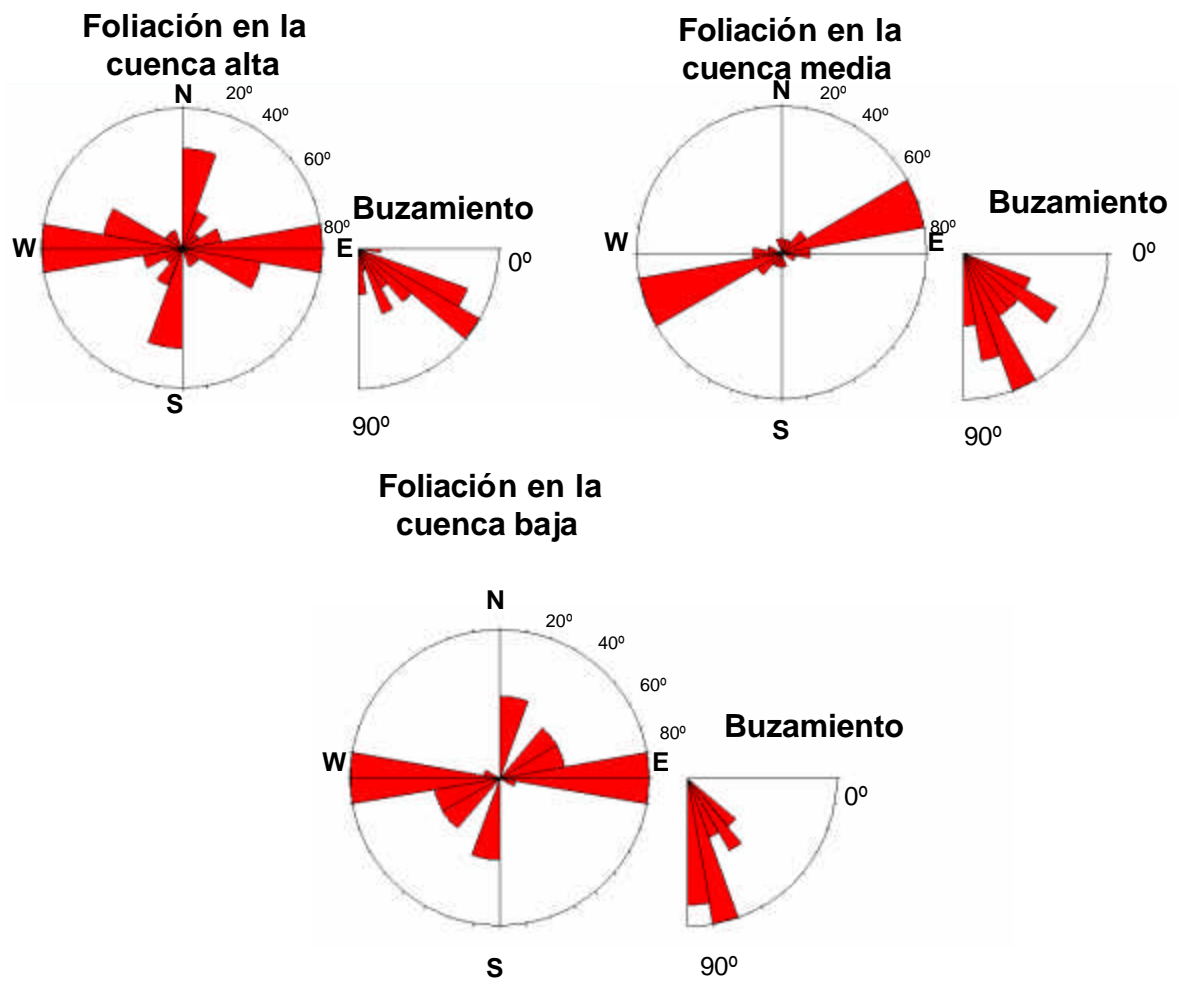


Figura 80. Foliaciones correspondientes a las rocas pertenecientes al Complejo de San Julián.



La foliación presente en el Complejo de San Julián presenta una dirección promedio N60°-90°E y N80°-90°W, con buzamientos que aumentan de Sur a Norte de 30°-40°N hasta 75°-85°N y con algunos cambios hacia el Sur en la del ápice del cono de Macuto.

### 9.2.2 Diaclasamiento

El desarrollo de las diaclasas en la cuenca de San José de Galipán se encuentra asociada al tectonismo que afectó a esta zona, evidenciado en el mapa estructural.

#### Cuenca baja

Se observa que la tendencia del diaclasamiento se conserva a lo largo del drenaje principal, siendo esta dirección de N0°-20°W con algunas variaciones en la zona del ápice debido al cambio litológico del Esquisto de Tacagua a las rocas de composición gnéisica pertenecientes al Complejo de San Julián.

Por otro lado, en las quebradas al Este de la zona del ápice se mantiene la dirección principal hacia el Oeste, pero con un aumento en el número de familias y las frecuencias en el diaclasamiento, debido a la cercanía de fallas asociadas a la falla de Macuto.

Los buzamientos tienden a ser altos variando entre 70° y 90° hacia el Norte, mientras los que buzán al Sur presentan ángulos más bajos variando entre 30° y 60°. A continuación los datos de diaclasas en la cuenca baja se muestran en la tabla 16 (tabla F anexos 3).

Tabla 16. Resumen de las familias de diaclasas de la cuenca media (obtenidos a partir de los diagramas de rosas)

LOCALIDAD	FAMILIA 1	FAMILIA 2	FAMILIA 3
Ápice del abanico	N 0°-20° W	E - W	N 20°-40° W
Qda. Cangrejo	N 20°-60° W	N 0°-20° W	N 60°-80°W
		N 40°-60° E	N 20°-40° E
Confluencia	N 0°-20° W		

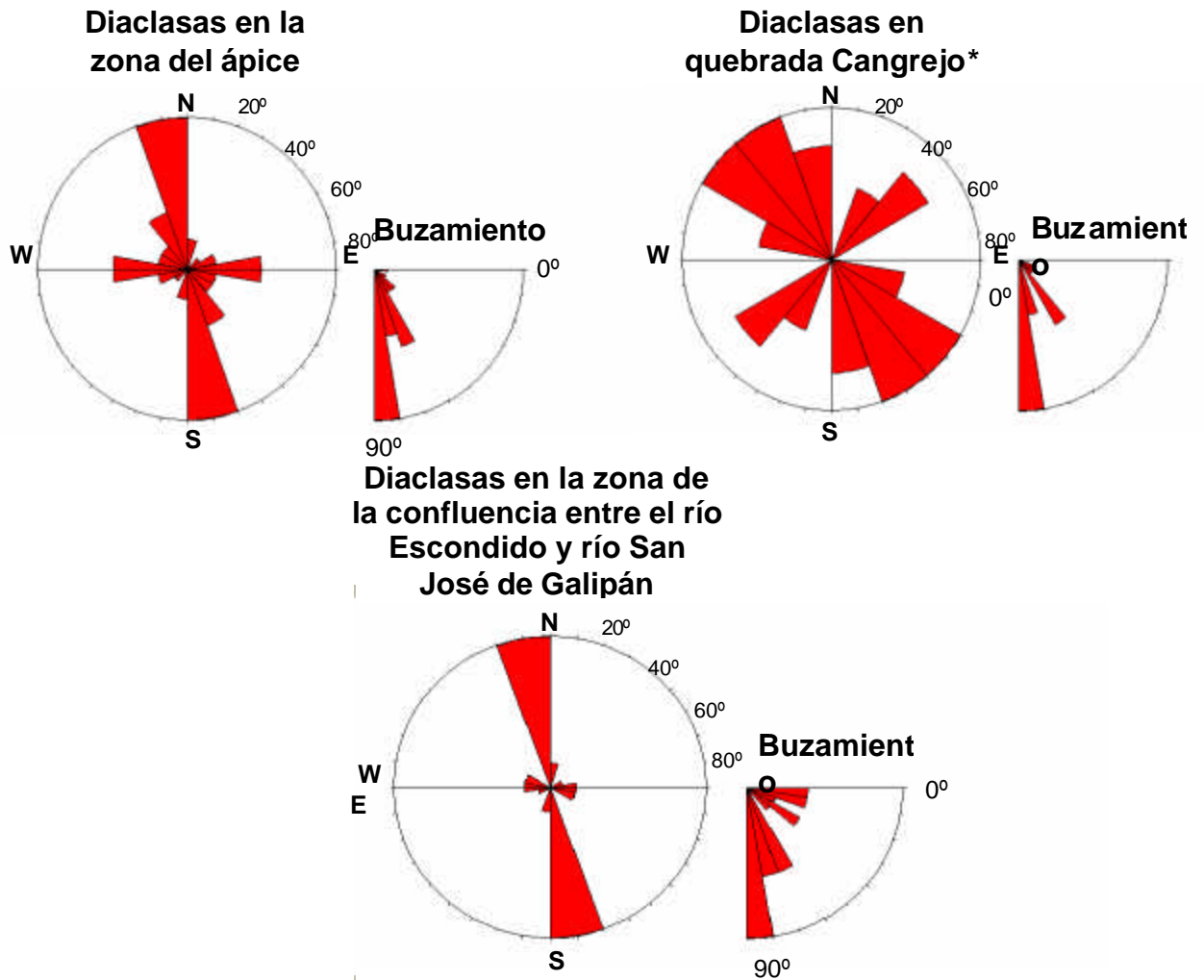


Figura 81. Diagramas de rosa para el diaclasamiento medido en la cuenca baja, con un promedio de 15 mediciones en cada sector señalado en las rosetas. \*nombre dado.

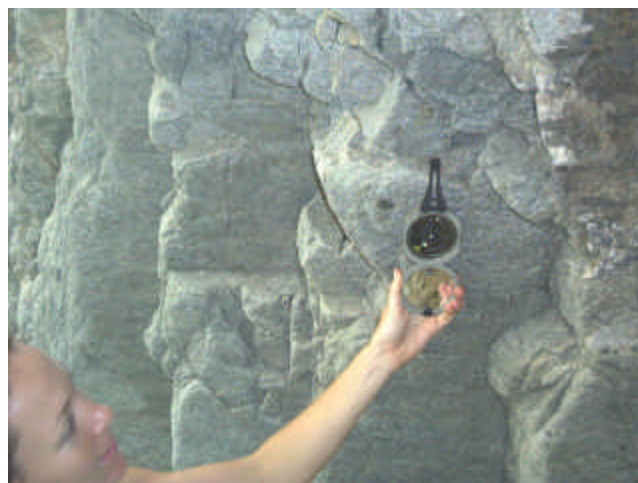


Figura 82. Diaclasas medidas en el punto 2 de la confluencia. (rumbo de la foto N30°W).

### Cuenca media

El diaclasamiento en esta zona se encuentra dominado por 3 familias dispuestas a lo largo de los drenajes principales, cuya abundancia varía lateralmente como se observa en la tabla 14. La parte más al Este (Río Escondido) se diferencia por presentar todas las familias de diaclasas con dirección N-E, siendo la principal  $N60^{\circ}-80^{\circ}E$ . La presencia de ensilladuras en el relieve hacia los límites laterales de la cuenca en esta zona, así como planos de falla en los diversos afloramientos, explican el control estructural que ejercieron las mismas en relación a la similitud entre las direcciones del diaclasamiento (tabla G anexos 3).

Los buzamientos tienden a ser hacia el Norte con ángulos altos variando entre  $70^{\circ}$  y sub-verticales.

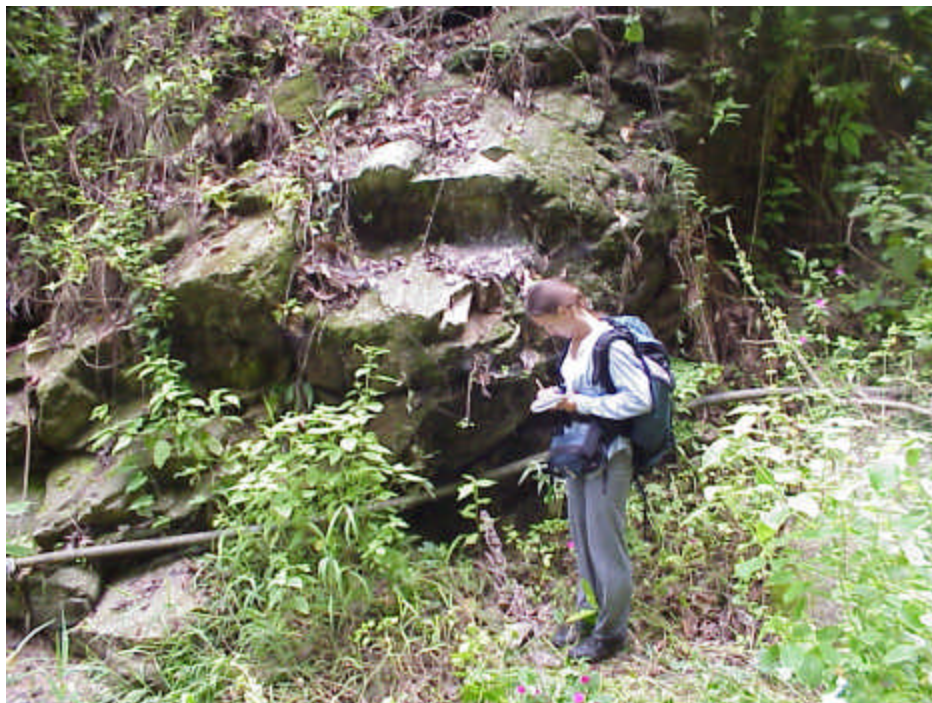


Figura 83. Diaclasas en el río San José de Galipán mediadas en el punto SJDG 0. (rumbo de la foto E-W)

A continuación se muestran los datos resumidos en la tabla 17.

Tabla 17. Resumen de las familias de diaclasas de la cuenca media (obtenidos a partir de los diagramas de rosas)

LOCALIDAD	FAMILIA 1	FAMILIA 2	FAMILIA 3
Qda. Los Perros	N 60°-80°W	N 0°-20° E	E - W
Río San José de G.	N 0°-20° E	N 0°-20° W	N 60°-80°W
Río Escondido	N 60°-80° E	N 0°-20° E	N 20°-60° E

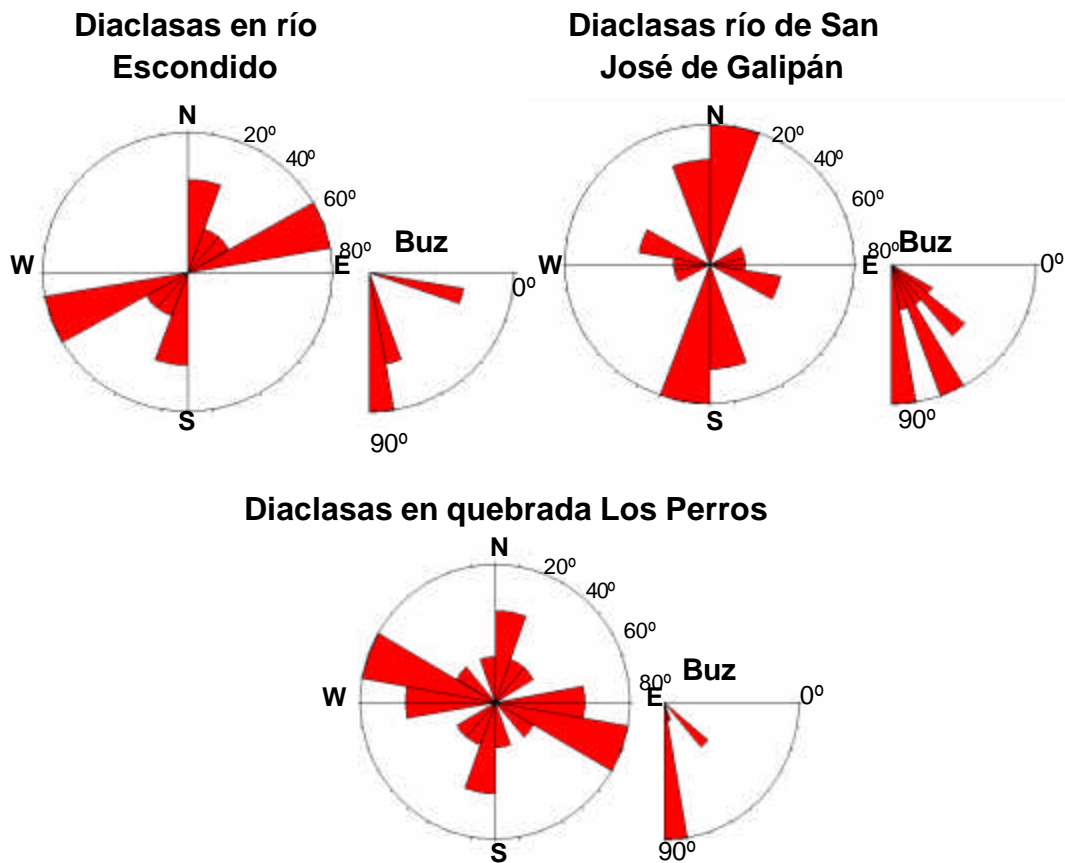


Figura 84. Diagramas de rosa para el diaclasamiento medido en la cuenca media, con un promedio de 15 mediciones en cada sector señalado en las rosetas.

**Cuenca alta**

La dirección principal es E-W y la segunda de mayor frecuencia es N40°-60°E. Ambas direcciones concuerdan con las observaciones en las zonas medias y bajas de la cuenca.

Las direcciones de diaclasamiento en el límite Sur de la cuenca alta correspondientes a las rocas gnéissicas al Oeste y a la Metatonalita al Este se encuentran asociados ampliamente a los datos observados en la cuenca media, especialmente si lo relacionamos con aquellas correspondientes al Río San José de Galipán, siendo la misma dirección principal N0°-20°E.

A continuación se muestran los datos resumidos en la tabla 18.

Tabla 18. Resumen de las familia de diaclasas de la cuenca alta.

LOCALIDAD	FAMILIA 1	FAMILIA 2	FAMILIA 3
San Antonio de G.	E - W	N 40°-60° E	N 0°-40° E
			N 40°-60° W
Fila Maestra	N 0°-20° E	N 60°-80°W	N 0°-20° W
			N 40°-60° W

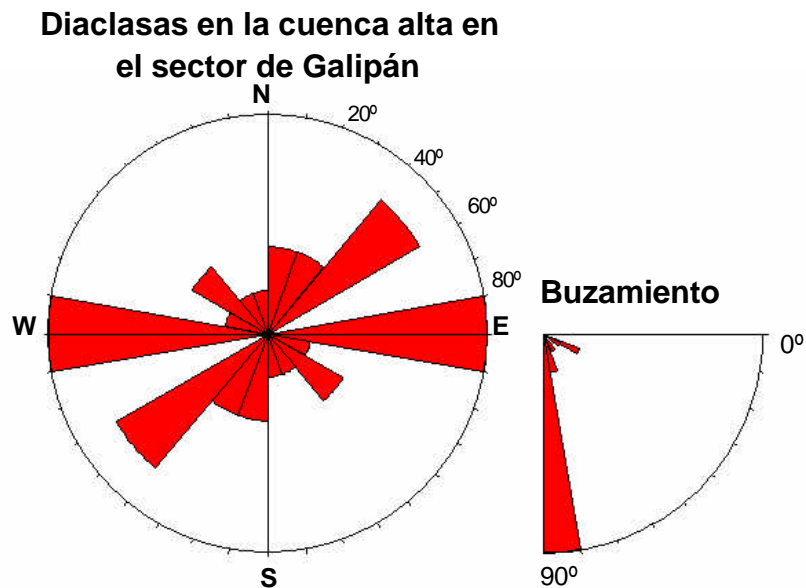


Figura 85-1. Diagramas de rosa para el diaclasamiento medido en la cuenca alta, con un promedio de 15 mediciones en cada sector señalado en las rosetas.

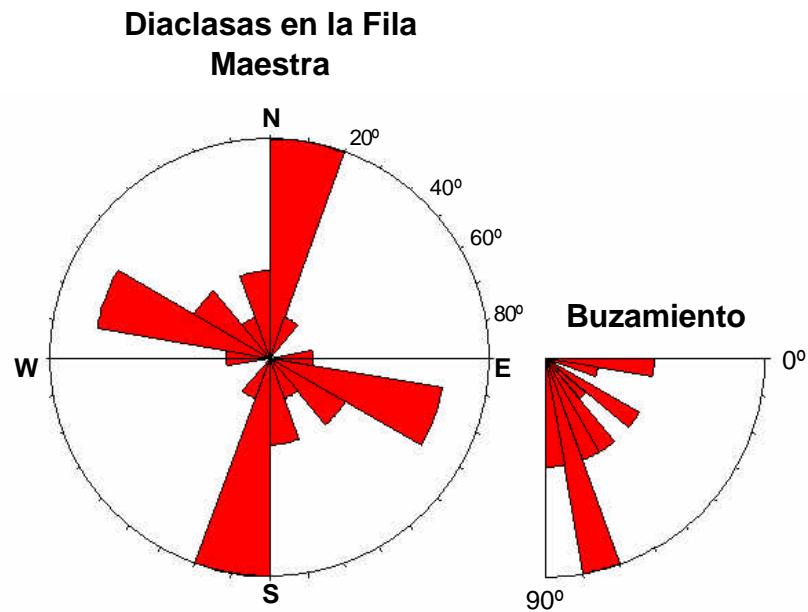


Figura 85-2. Diagramas de rosa para el diaclasamiento medido en la cuenca alta, con un promedio de 15 mediciones en cada sector señalado en las rosetas.

### 9.2.3 Fallamiento

En un contexto regional tenemos una zona que se ve afectada por fallas que tienen un rumbo E-W, entre las cuales tenemos al sistema de fallas de San Sebastián y de Macuto, otras fallas con rumbo NW-SE; NE-SW las cuales tienen ángulo variable y buzamiento al norte, siendo éstas interpretadas como inversas (figura 86).

Dichos sistemas de fallas se ve afectado por estructuras principales a nivel regional, regido por sistemas de fallas de rumbo deslizantes Bócono-San Sebastián-El Pilar, acompañados por estructuras secundarias definidas por fallas oblicuas con orientación NW-SE, que AUDEMARD (1997) en NETO (2003) propone que son respuesta al acomodo del volumen generado por el acortamiento N-S que genera el movimiento de la Placa Caribe desde W.

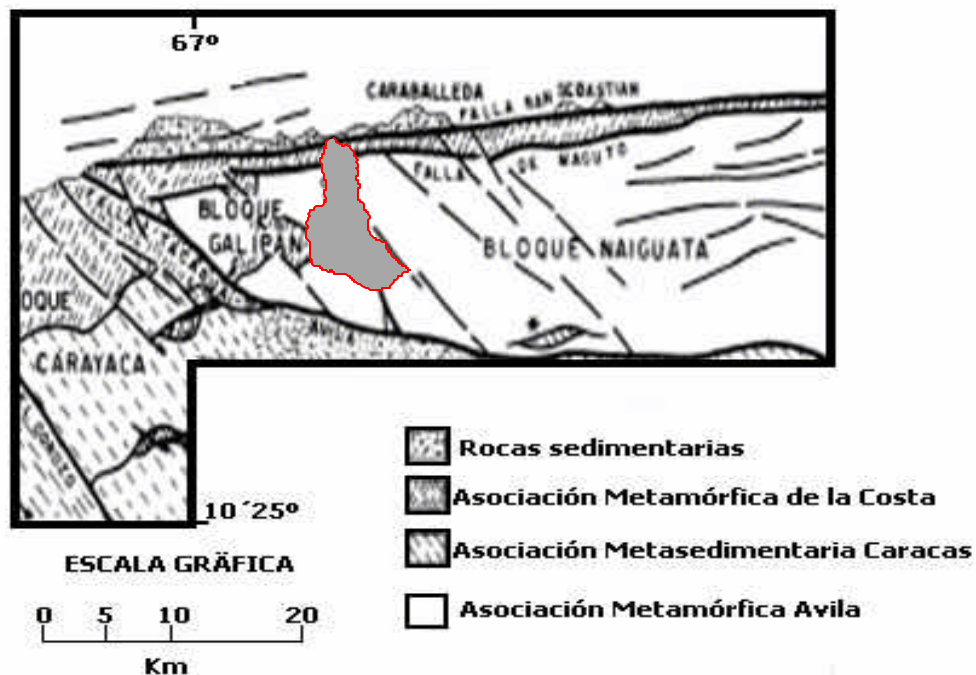


Figura 86. Sistemas de fallas que dominan la zona de estudio (área roja), definidas por el sistema de fallas de San Sebastián y de Macuto con movimiento dextral con sus fallas oblicuas asociadas. Modificado URBANI (2002-b).

La zona de estudio en un contexto más local (figura 87), se encuentra dominada por 4 familias de fallas, definidas por medio de análisis de fotografías aéreas, ortofotomapas, evidencias morfológicas y estructurales observadas en campo. Determinado estos patrones:

- Fallas con orientación E-W.
- Fallas con orientación N30°-60°W.
- Fallas con orientación N10°E-10°W.
- Fallas con orientación N45°-75°E.

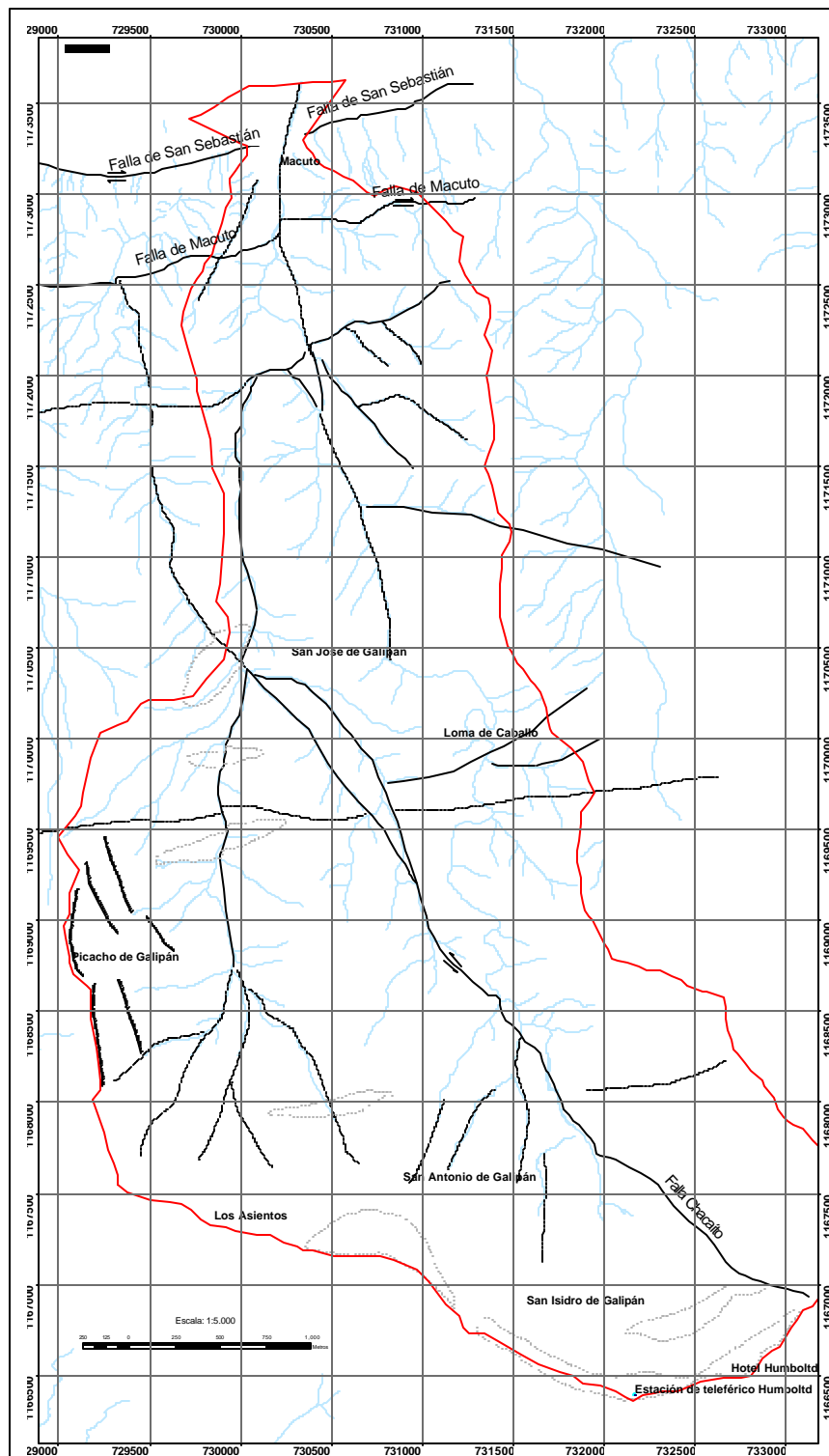


Figura 87. Mapa de las principales fallas de la cuenca del Río San José de Galipán.



**Fallas con orientación E-W.**

Representan las fallas de mayor extensión en la cuenca del Río San José de Galipán y se encuentran ubicadas principalmente en la parte norte de la misma y otra más al sur (fotointerpretada) al norte del Picacho de Galipán, la cual cruza hasta áreas adyacentes a la cuenca con una orientación de aproximadamente E-W.

Este patrón de fallas la compone la falla de San Sebastián y de Macuto casi paralelas.

La falla de San Sebastián se encuentra ubicada más al norte cercana al margen costero, representada geomorfológicamente por algunas facetas triangulares que se ven claramente (figura 88), y determina un importante control de la morfología del litoral Central.



Figura 88. Foto aérea de la cuenca del Río San José de Galipán, en donde se muestra las facetas triangulares (elipse roja) como respuesta geomorfológica al sistema de fallas de San Sebastián. Foto aérea misión 3225-A, escala 50.000.

La falla de Macuto, representa el contacto tectónico del Complejo San Julián y el Esquisto de Tacagua, esta falla produce un cambio en la dirección del río Macuto.

En la zona de Montesuma se observa claramente una buena expresión superficial en donde se lograron medir planos con rumbo E-W (ver figura 70).

Se pueden apreciar desniveles topográficos en forma de escalones con cambios de pendiente, provocado por las fallas de San Sebastián y de Macuto.

La falla ubicada más al sur presenta una expresión morfológica clara en donde se observan grandes facetas triangulares el norte del Picacho de Galipán, las cuales presentan una alineación que se extiende hasta las zonas adyacentes a la cuenca (figura 89).



Figura 89. Ensilladura de falla (línea roja) generada por la traza de falla con dirección E-W.  
(rumbo de la foto W-E).

La falla de Tacagua se encuentra ubicada al sur de la cuenca cerca del límite inferior de la cuenca de San José de Galipán.

### Fallas con orientación N30°-60W°

Estas estructuras se encuentran a lo largo de toda la cuenca, presentando un fuerte control sobre los cauces de varios ríos principales como el Río San José de Galipán y otros drenajes secundarios. También se pueden apreciar desplazamientos en cauces de quebradas como Los Perros, que a la altura del poblado de San José de Galipán muestra un desplazamiento (apreciable solo en fotografías aéreas).

La falla de Chacaito se encuentra ubicada a lo largo de toda la cuenca, acompañada de dos pequeñas fallas dispuestas a ambos lados, con un cierto paralelismo. Mientras se encuentra dentro de la cuenca esta presenta una dirección preferencial de N35°W que luego cambia a N-S (figura 90).



Figura 90. Expresión topográfica de la falla de Chacaito señalada con la flecha roja, en el flanco norte. (rumbo de la foto S40°E)

**Fallas con orientación N10E<sup>0</sup>-10W**

Estas fallas se encuentran a lo largo de toda la cuenca cercanas al límite oeste, controlan la orientación del drenaje principal y la morfología del cauce, el cual se encuentra muy encajonado. Estas fallas posiblemente cortan a la falla de Macuto.

En planos de fallas encontrados en la confluencia de Río Escondido y San José de Galipán se lograron medir pitch de 40<sup>0</sup>-45<sup>0</sup>.

**Fallas con orientación N45<sup>0</sup>-75<sup>0</sup>E**

Estas estructuras se encuentran en la parte mas septentrional de la cuenca, son de poca extensión pero presentan un alto control en el drenaje de la zona dándole forma rectangular y oblicua.

**9.2.4 Boudinage**

Estas estructuras se encuentran localizadas en la quebrada Montesuma y río Escondido; NIETO (2003) los reporta en el cauce medio del río San José de Galipán, y menciona que se desarrollan en los gneises cuarzo feldespáticos del Complejo San Julián. Los boudines localizados en la quebrada Montesuma presentan un gran tamaño (ver figura 64) y se encuentran orientados a la foliación de la zona.

Las dimensiones de los budines en promedio alcanzan los 20 cm en su eje mayor y de 10 cm en el menor.

## 10. RESULTADOS

### 10.1 Evaluación de la geodinámica superficial

De acuerdo a la clasificación de movimientos de masa pertenecientes a la cuenca de San José de Galipán, obtenidos a través de la fotointerpretación de los procesos geodinámicos superficiales y la evaluación de las observaciones realizadas en campo, se obtuvieron los siguientes resultados mostrados en la tablas 19 y 20.

Tabla 19. Relación entre los diferentes movimientos de masa, litología y morfometría de las laderas.

MOVIMIENTO		UBICACIÓN CUENCA	LITOLOGÍA ASOCIADA	ESTADO	CARACTERÍSTICAS
Deslizamiento superficial		baja y media (Este)	Complejo San Julián	inactivo latente	Espesor de la capa vegetal removida es de 30 a 50 cm.
Deslizamiento con flujo de lodo		baja y media	Esquisto de Tacagua	inactivo latente	Grandes y alargados con escarpe principal en forma semicircular. Depositos de formás lobulares en la parte de abajo.
Deslizamiento planar con flujo de detritos		Media y alta (Este)	Gneis cuarzo plagioclásico	latente	Remoción tanto de la capa vegetal como de formaciones superficiales en laderas de 40°-70°.
Deslizamiento rotacional	Simple con canal de flujo de detritos	alta (Este)	Gneis cuarzo anfíbolítico	inactivo latente	Caída de bloques heterogéneos soportados por matriz arenosa.
	Rotacional de suelo	media (Central)	Gneis plagioclásico cuarzoso micáceo	inactivo latente	Cárcavas de erosión de gran tamaño.
Caída de bloques		Picacho de Galipán	Gneis plagioclásico cuarzoso	inactivo latente	Rocas altamente diaclasadas producto a eventos tectónicos, en pendientes > 70°.
Flujo de detritos		media y alta (Este)	Gneis y augengneis plagioclásico micáceo	inactivo latente	Arrastre de la cobertura vegetal y el suelo residual. Depósito de detritos a metros del inicio.
Cárcavas de erosión		alta (Poblado de San José de Galipán)	Suelos residuales		Suelos de baja cohesión debido a la actividad agrícola con pendientes < 20°

Tabla 20. Áreas ocupadas por los diferentes tipos de movimientos de masas ocurridos en la cuenca de San José de Galipán durante diciembre de 1999.

TIPO DE MOVIMIENTOS DE MASA	Área ocupada por el movimiento de masa (m <sup>2</sup> )	% Con respecto al área total de movimientos de masa	% Con respecto al área total de la cuenca
Superficial	71.894	8	0,5
Flujo de lodo	26.265	3	0,2
Detritos	162.285	20	1,2
Caida de bloques	481.222	55	3,3
Escurrimiento	120.362	14	0,8
Área total de los movimientos	0,86 km <sup>2</sup>		
Área total de la cuenca San José de Galipán	15 km <sup>2</sup>		

## 10.2 Estimación del volumen de suelo removido durante el evento de diciembre de 1999.

Los espesores de suelo a lo largo de toda la cuenca presentan variaciones que van desde algunos centímetros (en la zona del Picacho de Galipán) hasta unos 7 m en el límite Este de la cuenca. Debido a estas variaciones se tomaron valores promedios relacionados con los diferentes movimientos de masas ocurridos en la misma.

Para los movimientos de masa ocurridos en la cuenca baja, como los flujos de lodo y movimientos superficiales, se pueden encontrar espesores de suelos afectados que pueden variar entre 0,2 hasta aproximadamente 1,5 m.

En la zona de la cuenca media estos espesores varían entre 1 y 3 m, los cuales se encuentran en las zonas de corte de las carreteras, por lo que es posible que puedan ser mayores. En las laderas montañosas de la cuenca media se encontraron espesores menores comprendidos entre 1 y 2 m, en donde los movimientos de masas solo afectaron en promedio 1,5 a 2 m.

En la cuenca alta los espesores de suelo son mayores a los encontrados en el resto de la cuenca, los cuales pueden llegar a alcanzar los

7 m y en la mayoría de los casos los movimientos de masa ocurridos en esta zona pudieron afectar valores comprendidos entre 3 a 5 m.

A continuación se muestra una tabla 21 resumen en donde se muestra la relación entre los movimientos de masas y el espesor promedio de suelo removido por los mismos.

Tabla 21. Volumen de suelo removido en la cuenca de San José de Galipán.

<b>Movimiento de masa</b>	<b>Área ocupada por el movimiento de masa (m<sup>2</sup>)</b>	<b>Espesor de suelo promedio afectado (m)</b>	<b>Volumen de suelo removido (m<sup>3</sup>)</b>
<b>Superficial</b>	71.894	1	71.894
<b>Flujo de lodo</b>	26.265	1	26.265
<b>Detritos</b>	162.285	5	811.425
<b>Caída de bloques</b>	481.222	0,5	240.611
<b>Escurrimientos</b>	120.362	2	240.724
<b>Volumen total de suelo removido</b>			<b>1,3*10<sup>6</sup> m<sup>3</sup></b>

### 10.3 Ubicación de muestras en el abanico de Macuto

A continuación se muestra la tabla 22 y la figura 91 en donde se indican los sitios en donde se recolectaron las muestras de sedimentos (aquellos pertenecientes a puntos iguales corresponden a diferentes niveles en la secuencia sedimentaria vertical).

Tabla 22. Ubicación de las muestras de sedimentos tomados en la cuenca de San José de Galipán.

MUESTRA	UBICACIÓN	MUESTRA	UBICACIÓN
MAC01	Universidad Bicentenario "U"	MAC28	24
MAC02	Universidad Bicentenario "U"	MAC29	24
MAC03	Universidad Bicentenario "U"	MAC30	24
MAC04	Universidad Bicentenario "U"	MAC31	25
MAC05	Casa a 20 m al Oeste de la Iglesia "I"	MAC32	25
MAC06	Casa a 20 m al Oeste de la Iglesia "I"	MAC33	25
MAC07	Casa a 20 m al Oeste de la Iglesia "I"	MAC34	Q. Congorocho
MAC08	1	MAC35	Q. Congorocho
MAC09	Confluencia Q. Los Perros Río San José G. p 10	MAC36	26
MAC10	Confluencia Q. Los Perros Río San José G. p 11	MAC37	26
MAC11	Confluencia Q. Los Perros Río San José G. p 11	MAC38	26
MAC12	Confluencia Q. Los Perros Río San José G. p 11	MAC39	26
MAC13	N	MAC40	26
MAC14	N	MAC41	31
MAC15	2	MAC42	36
MAC16	2	MAC43	36
MAC17	Montezuma	MAC44	36
MAC18	Montezuma	MAC45	37
MAC19	3	MAC46	37
MAC20	3	MAC47	40
MAC21	3	MAC48	40
MAC22	4	MAC49	40
MAC23	4	RE01	Río Escondido, p. 32
MAC24	4	RE02	Río Escondido, p. 7
MAC26	20	SJ0625	Río San José G.
MAC27	20	SJ1025	Río San José G.
		SJ0226	Río San José G.



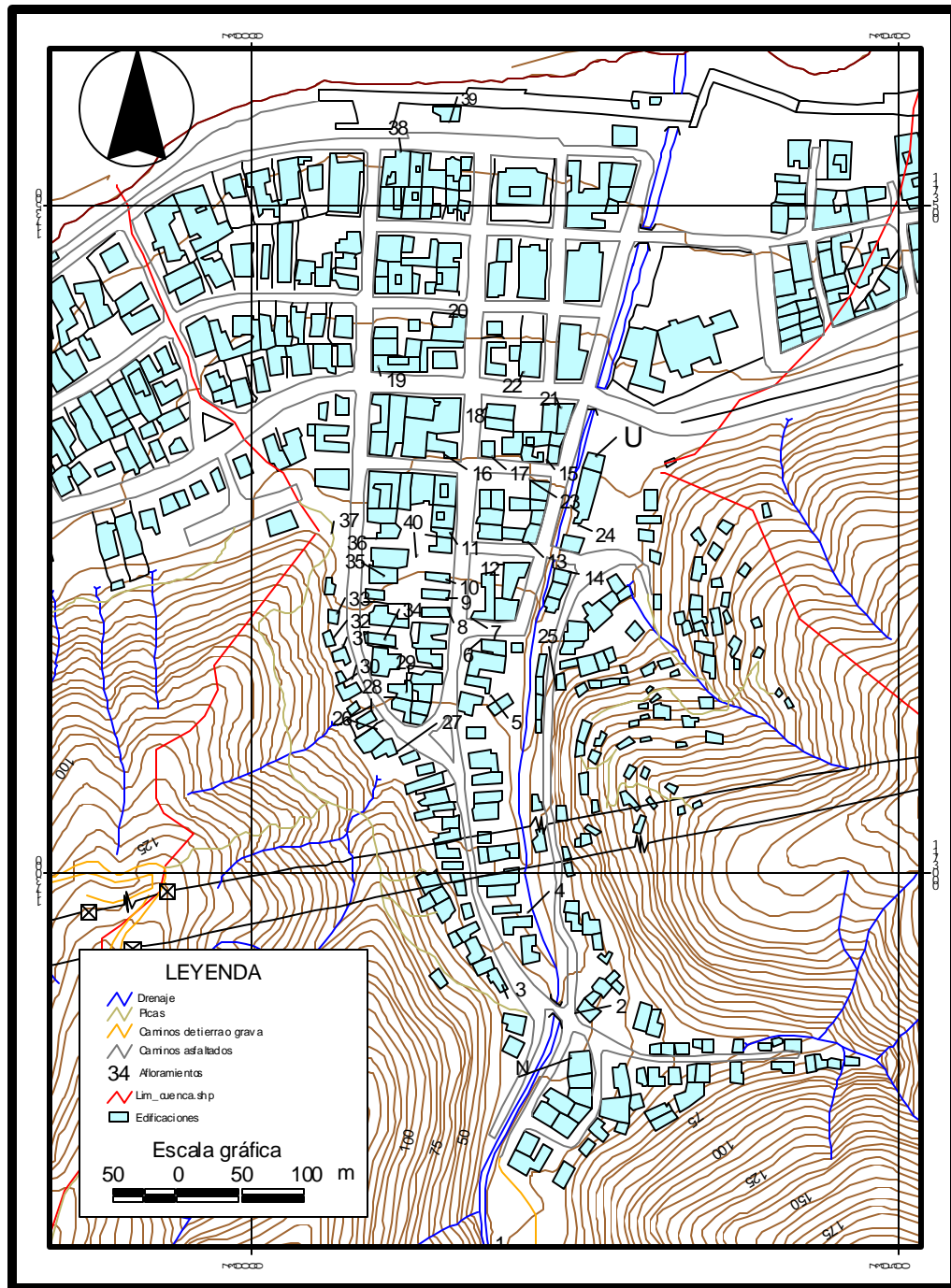


Figura 91. Mapa de ubicación de los afloramientos ubicados en el cono de Macuto.

## 10.4 Espesores de sedimentación

### 10.4.1 Cono de macuto

En el cono de Macuto se registraron espesores de sedimentos entre 1 y 6 m, encontrando que los mayores se localizan en el lado Este del abanico (6 m), los cuales disminuyen hacia el Oeste del mismo (<1 m)) (figura 92).

Cabe destacar que la orientación preferencial de los mayores espesores en los sedimentos se debe a que estos se encuentran concentrados en el embaulamiento que presentaba el río Macuto antes de la tragedia de diciembre de 1999.

La tabla A (Anexos 2) muestra todos los espesores medidos en el abanico de Macuto, los puntos señalados se encuentran debidamente localizados en el mapa (ver figura 91).

En la zona del ápice los espesores de sedimentación fueron estimados mediante la comparación de las fotos (trabajos de campo de USGS en abril 2000) tomadas antes que fueran removidos los sedimentos por la acción antrópica. Dichos espesores se aproximaron a 4 y 5 m.

En la zona de la represa para retención de sedimentos (figura 93), debido a los trabajos de remoción de los sedimentos, no se pudieron obtener datos en los espesores de sedimentación, por lo tanto este fue estimado entre 5 y 6 m, dicha estimación se llevo a cabo mediante el estudio de los planos de los trabajos topográficos realizados antes de la construcción de la represa de retención de sedimentos.

En la zona del ápice los espesores de sedimentación fueron estimados mediante la comparación de las fotos (WIECZOREK 2000) tomadas antes de que fueran removidos los sedimentos por la acción antrópica. Dichos espesores se aproximaron a 4 y 5 m.

En la zona de la represa (figura 92 y 93) debido a los trabajos de remoción de los sedimentos, no se pudieron obtener datos en los espesores de sedimentación, por lo tanto este fue estimado entre 5 y 6 m. Dicha estimación

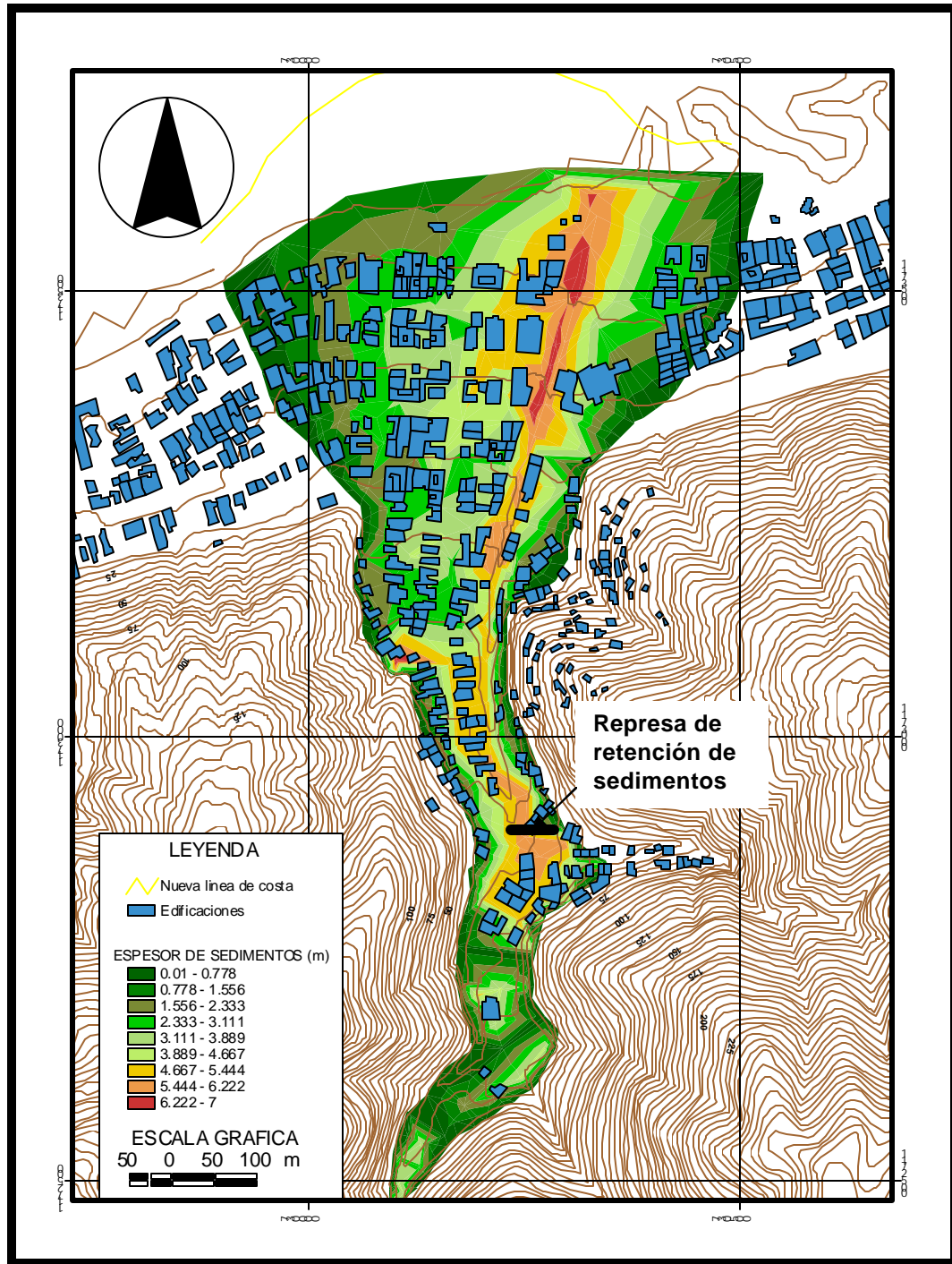


Figura 92. Mapa espesores de sedimentos en el abanico de macuto.

se llevó a cabo mediante el estudio de los planos de los trabajos topográficos realizados antes de la construcción de la represa de retención de sedimentos.



Figura 93. Represa de retención de sedimentos, ubicada cercana a la salida de la zona Montesuma. (Rumbo de la foto N15°W).

### 10.4.2 Ápice

Estos espesores fueron calculados mediante la elaboración de secciones transversales y observaciones en campo, correspondientes al tramo desde el dique toma viejo hasta el comienzo del encajonamiento del Río Macuto. Se elaboraron 7 segmentos para el cauce (figura 94), en donde se le asignó un espesor constante de sedimentos a cada una de estas secciones (tabla 23).

Tabla 23. Espesor de sedimentos en los diferentes segmentos del cauce.

Segmento	Espesor sed (m)
1	2
2	1,5
3	0,75
4	1
5	1,5
6	2
7	0

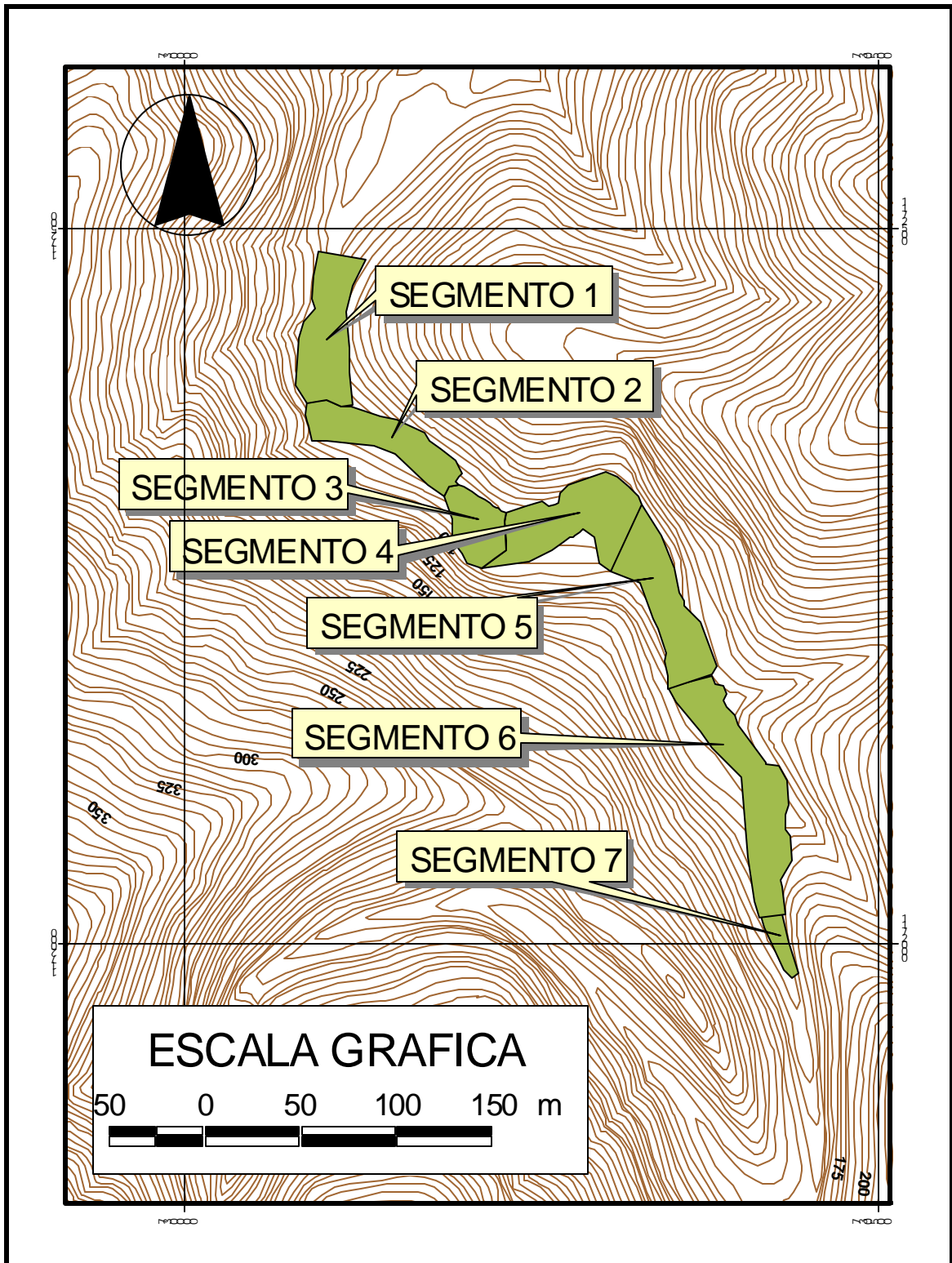


Figura 94. Distribución de los segmentos en el área del ápice del cono.

## 10.5 Volumen Sedimentado

Para este trabajo se realizó el cálculo del volumen de sedimentos ya depositados en el abanico de Macuto y en el ápice del cono, debido a que los sedimentos presentes aquí tienen mayor facilidad de ser erosionados y podrían causar daños a la represa y viviendas ubicadas en Macuto, que los grandes bloques presentes aguas arriba.

### 10.5.1 Cono de macuto

Para el cálculo del volumen de sedimentos depositados en el cono de Macuto, se utilizó el programa **ArcView**® **GIS 3.2**, el cual permitió generar una superficie tridimensional de los valores de espesor de sedimentos, esta superficie se generó por medio de un mallado triangular entre los datos de espesor de sedimentos obtenidos en campo. Posteriormente se realizó el cálculo del volumen por medio de ecuaciones matemáticas elaboradas por el programa.

Se aclara que el volumen calculado en este trabajo, sólo pertenece a los sedimentos que se depositaron en el continente, los sedimentos más finos depositados en el mar no se tomaron en cuenta.

Para el cono de Macuto se obtuvieron los siguientes resultados:

- 1) Área superficial del cono:  **$275,7 \cdot 10^3 \text{ m}^2$**
- 2) Volumen de sedimentos del cono de Macuto:  **$785,3 \cdot 10^3 \text{ m}^3$**

### 10.5.2 Ápice del cono

El volumen de sedimentos que actualmente se encuentra depositado en el ápice del cono de Macuto, se determinó con ayuda del programa **ArcView**® **GIS 3.2**, en donde se generaron dos áreas diferentes (figura 95), una llamada área mayor definida por el contacto de la roca con los sedimentos depositados en el cauce y otra llamada área menor definida por

el fondo del cauce, esta última se determinó generando secciones transversales en partes claves del cauce.

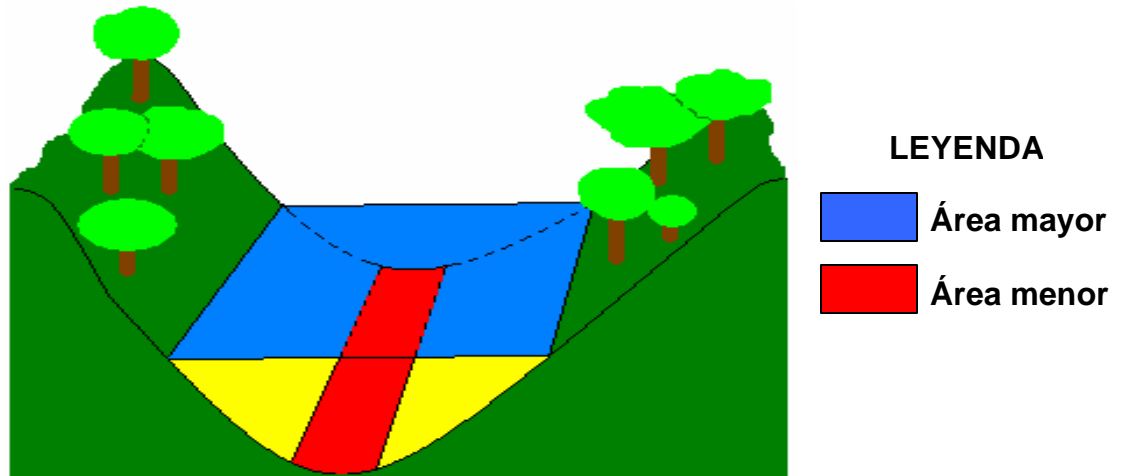


Figura 95. Se muestra la forma de una sección trapezoidal y se hace énfasis en la ubicación de las áreas tomadas para calcular el volumen de los sedimentos. La escala vertical y horizontal están exageradas.

En el cálculo de volumen del ápice, se estimaron 4 valores diferentes en donde se cambiaron los parámetros de espesores de sedimentos en los segmentos definidos en el ápice y en la forma transversal del cauce (trapezio y rectángulo). De esta manera se obtuvieron valores máximos y mínimos de sedimentos que pueden estar en el cauce. La variación que se presenta para la estimación del volumen del ápice, es la siguiente:

- 1) Un espesor de sedimentos constante para todo lo largo del tramo del río que representa el ápice, y cálculo de un volumen para diferentes profundidades de sedimentos.
- 2) Se tienen diferentes espesores de sedimentos para cada uno de los segmentos determinados para el ápice (véase la figura 95), y se calculó el volumen perteneciente a cada segmento de forma independiente.

Durante el evento torrencial de diciembre de 1999, se generaron diques naturales que provocaron la acumulación de una gran cantidad de sedimentos provocado por represamiento natural, (figura 96) a lo largo del ápice. Estas terrazas también representan un volumen de sedimentos depositados en el río, por lo tanto se muestra en la tabla 24 el volumen de sedimentos presentes en cada terraza.

Tabla 24. Áreas determinadas para cada terraza nueva (figura 96) del ápice del cono de Macuto.

Terraza	Área_Tz_nuevas (m <sup>2</sup> )	Altura terraza (m)	Volumen (m <sup>3</sup> )
1	1234,1	0,5	617,0
2	1166,2	1,0	1166,2
3	324,3	2,5	810,8
4	2140,2	2,5	5350,5
5	894,5	3,5	3130,8

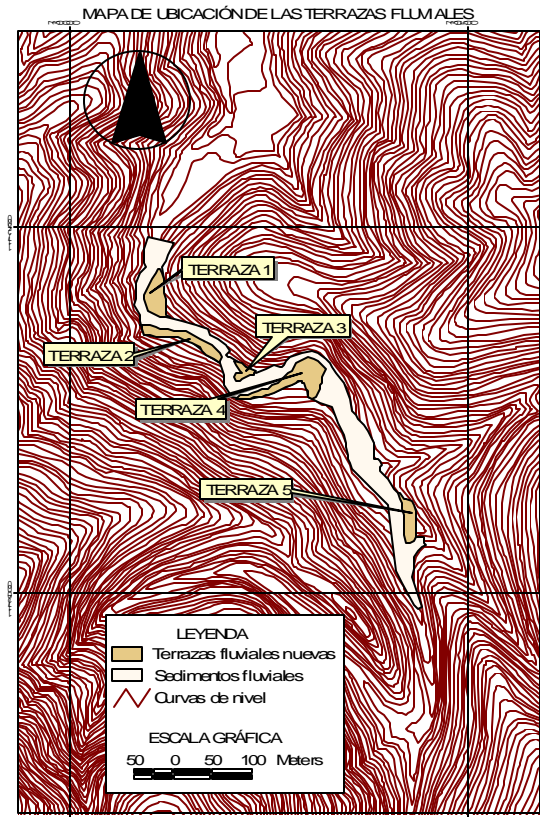


Figura 96. Mapa del ápice del cono de Macuto en donde se muestra la ubicación de las nuevas terrazas fluviales que se encuentran en el cauce.



En todas las tablas que se presentan a continuación el valor de volumen ya tiene adicionado el valor volumétrico de los sedimentos correspondientes a las terrazas nuevas.

1) Volumen calculado para un espesor constante para diferentes profundidades de sedimentos a lo largo de todo el ápice, con una sección transversal en forma de trapecio.

Tabla 25. Área y volumen determinado para el ápice del cono de Macuto con un espesor constante para diferentes profundidades a lo largo de todo el tramo del río, para una sección transversal en forma de trapecio.

<b>Área superficie mayor m<sup>2</sup></b>	20.960
<b>Área superficie menor m<sup>2</sup></b>	12.170

<b>PROFUNDIDAD (m)</b>	<b>VOLUMEN (m<sup>3</sup>)</b>
0,5	19.357
1	27.639
1,5	35.921
2	44.203

2) Volumen calculado para un espesor para diferentes profundidades constante de sedimentos a lo largo de todo el ápice, con una sección transversal en forma de rectángulo.

Tabla 26. Área y volumen determinado para el ápice del cono de Macuto con un espesor constante a lo largo de todo el tramo del río, para una sección transversal en forma de rectángulo.

<b>Área superficie mayor m<sup>2</sup></b>	20.960
--	--------

<b>PROFUNDIDAD (m)</b>	<b>VOLUMEN (m<sup>3</sup>)</b>
0,5	21.550
1	32.030
1,5	42.500
2	52.980

3) Área y volumen calculado para un espesor constante de sedimentos en cada uno de los segmentos del ápice, con una sección transversal en forma de trapecio.

Tabla 27. Áreas determinadas para cada segmento (veáse la figura 94) y el espesor de sedimento que corresponde para cada segmento del ápice del cono de Macuto.

Segmento	Área mayor (m <sup>2</sup> )	Área menor (m <sup>2</sup> )	Espesor sed (m)
1	3.419	2.038	2
2	2.880	1.694	1,5
3	1.726	981	0,75
4	4.007	2.373	1
5	3.686	2.176	1,5
6	4.935	2.935	2

Tabla 28. Valor de volumen obtenido por la suma del volumen de sedimento para cada segmento y de cada terraza en el ápice del cono.

Segmento	Volumen (m <sup>3</sup> ) secc_trap
1	6074
2	4597
3	1826
4	8541
5	4396
6	11000
<b>Vol_Total (m<sup>3</sup>)</b>	<b>36434</b>

4) Área y volumen calculado para un espesor constante de sedimentos en cada uno de los segmentos del ápice, con una sección transversal en forma de rectángulo.

Tabla 29. Áreas determinadas para cada segmento (veáse la figura 94) y el espesor de sedimento que corresponde para cada segmento del ápice del cono de Macuto.

Segmento	Área mayor (m <sup>2</sup> )	Espesor sed (m)
1	3419	2
2	2880	1,5
3	1726	0,75
4	4007	1
5	3686	1,5
6	4935	2

Tabla 30. Valor del volumen obtenidos por la suma del volumen de sedimento para cada segmento y de cada terraza en el tramo del río

Segmento	Volumen (m <sup>3</sup> ) secc_rect
1	7455
2	5487
3	2105
4	9358
5	5529
6	13000
<b>Vol_Total (m<sup>3</sup>)</b>	<b>42933</b>

### 10.5.3 Cuenca media

Hacia el lado Oeste de esta zona se presentan acumulaciones de bloques de grandes dimensiones, dichas acumulaciones presentan alturas comprendidas entre 4 y 7 m, con extensiones areales variables las cuales no pudieron ser cartografiadas a escala 1:5.000.

Estas acumulaciones de grandes bloques se observan en la Quebrada Los Perros con un porcentaje muy bajo de sedimentos tamaño gravas y arenas.

Se estima que el volumen en esta zona no sobrepasa los 15.000 m<sup>3</sup>, de clastos con tamaños comprendidos entre 1 a 7 m.

### 10.6 Parámetros granulométricos

Se desarrollaron métodos estadísticos y se realizaron gráficas para la representación e interpretación de los datos. Todas las muestras analizadas representan la matriz de los sedimentos estudiados (ver a nexos 2).

## 11. FACIES

Según BOGGS (1995), el término de facies se define como un conjunto particular de propiedades físicas, químicas y biológicas que operan en conjunto para producir un cuerpo de sedimentos con características específicas de textura, composición y estructuras sedimentarias.

La clasificación de las facies de los sedimentos no consolidados del cono de Macuto se basa en la clasificación de MIAL (1977) mostrada en la tabla 31, donde se hace una descripción de las características físicas tales como: matriz que soporta a los sedimentos, estructuras sedimentarias, disposición y morfología de los depósitos.

Tabla 31. Clasificación de facies modificado de MIAL (1977) para los sedimentos aluviales.

CÓDIGO FACIES	FACIES	ESTRUCTURAS SEDIMENTARIAS	INTERPRETACIÓN
<b>Gms</b>	Estructura masiva soportada por gravas	Gradación	Deposito de flujos de detritos
<b>Gm</b>	Estructura masiva o pobremente estratificada (gravas)	Capas horizontales e imbricación	Barras longitudinales, depósitos colados
<b>Gt</b>	Gravas estratificadas	Estratificación cruzada festoneada	Relleno de canal menor
<b>Gp</b>	Gravas estratificadas	Estratificación cruzada planar	Barras longitudinales, crecimiento deltaico de barras remanentes antiguas
<b>St</b>	Arena media a muy gruesa con algo de grava	Grupo de estratificación cruzada festoneada	Dunas (régimen de baja energía)
<b>Sp</b>	Arena media a muy gruesa con algo de grava	Grupo de estratificación cruzada planar	Barras transversales y linguoides, rizaduras de oleaje (régimen de baja energía)
<b>Sh</b>	Arena muy fina a muy gruesa con algo de grava	Laminación horizontal o lineaciones	Flujo planar (régimen de alta energía)
<b>F</b>	Arena muy fina, limos y arcillas laminadas	Laminaciones muy finas	Depósitos de inundación menguante

Luego a las diferentes muestras de las facies descritas, se les realizó una diferenciación en cuanto a sus características texturales de la matriz según el diagrama ternario de alta resolución de FOLK (1954) para determinar si existen o no variaciones en la relación grava-arena-limo dentro de la misma facies (figura 97).

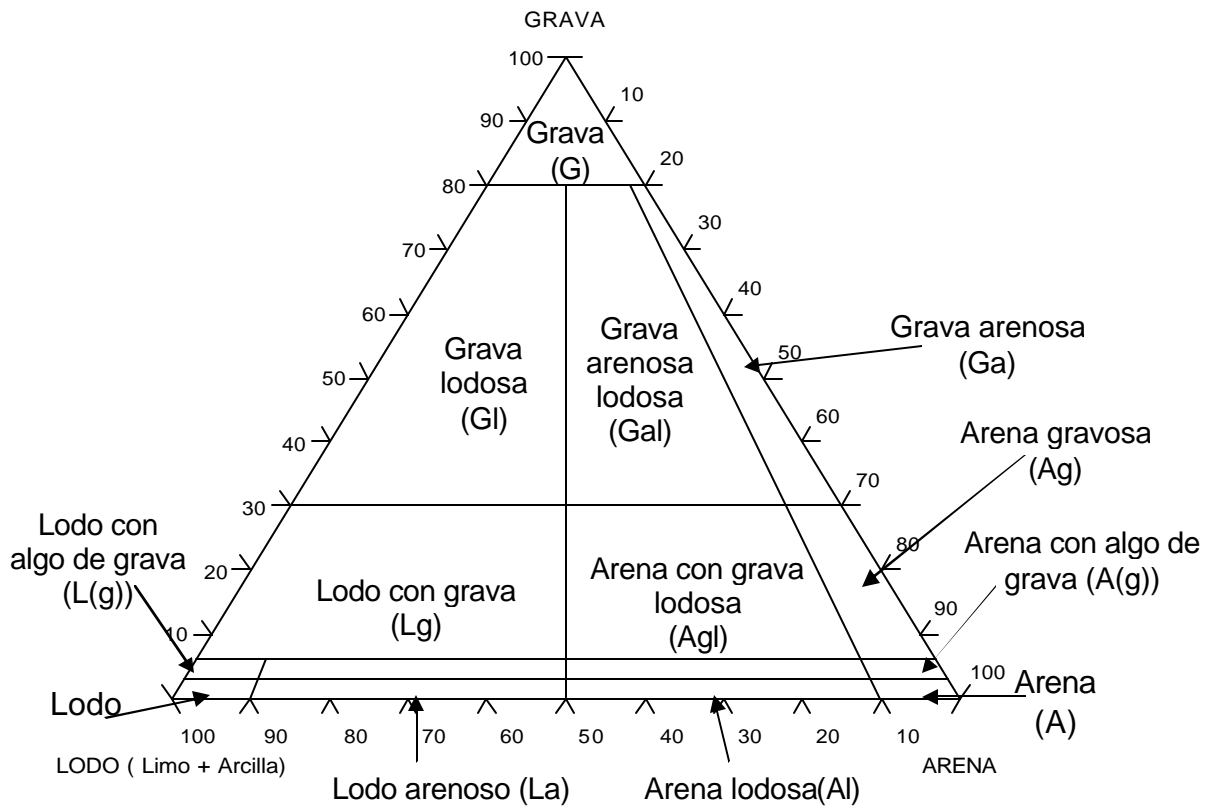


Figura 97. Diagrama ternario de alta resolución de FOLK 1954, el cual representa 15 clases granulométricas basadas en la relación de sedimentos. finos y gruesos.

## 11.1 Facies en el cono de Macuto

La nomenclatura o código utilizado para la definición de las facies del abanico de Macuto es el mismo usado por MIALL (1977) (ver tabla 29).

Después de graficar los puntos en el diagrama ternario de FOLK (1954) se observó que existen variaciones en la relación grava-arena-limo dentro de la misma facies, es por eso que se hace una descripción detallada para cada variación.

### 11.1.1 Facies Sh

Esta facies se encuentra distribuida a lo largo y ancho de todo el abanico, se encuentra separada por los depósitos de los flujos principales definidos por las facies **Gm** y **Gms** por contactos erosionales abruptos.

La facies **Sh** se encuentra dispuesta en forma de capas o estratos y algunas veces en forma de lentes, en donde estos cuerpos arenosos presentan variaciones en los espesores dependiendo de la posición horizontal o vertical que presenten. En el abanico distal las capas suelen tener casi 2 m de espesor mientras que en el abanico medio comprenden espesores entre 10 y 50 cm.

La estructura sedimentaria característica de esta facies son las laminaciones paralelas (más frecuentes en los topes de las secuencias) y algunas veces las alineaciones de gravas (en la sub facies de arenas gravosas).

El tamaño de las arenas varía entre muy finas a gruesas y presentan un escogimiento de malo a muy malo ( $0,95 < s_1 < 1,63$ ).

A continuación se muestran las variaciones porcentuales en las características texturales en la facies **Sh**, en donde se hace una subdivisión dentro de la misma facies, utilizando la nomenclatura utilizada por FOLK (1954) en su diagrama ternario y se describe en forma detallada cada una de las sub facies presentadas:

## Arenas

Se encuentra compuesta por un 90% -100% de arenas, 5% -10 % de limos y menos de 1% de gravas.

Las arenas en esta facies tienen tamaños que varían entre arenas finas y arenas gruesas con colores entre crema y pardo claro. Se encuentran formando estratos no consolidados y paralelos a lo largo de todo el abanico, concentrándose en la parte media y algo de la proximal, con una disminución o desaparición de estas facies hacia el Oeste. Posiblemente, su distribución fue mucho mayor en la zona distal.

Las intercalaciones presentes en estas facies son de arenas finas y arenas gruesas o muy gruesas, por lo general formando laminaciones paralelas (figura 98B) entre 0,5 y 1 cm de espesor (en el caso de las arenas finas y gruesas), y en algunos casos pueden aparecer listones alineados de 5 a 10 cm de ancho cuando existe la presencia de gravas.

En esta facies las arenas presentan granos subangulares y subredondeados de baja esfericidad con valores comprendidos entre 0,3 y 0,5 (según POWERS 1953) y casi siempre de formas tabulares.

El escogimiento en encuentra entre mal a moderadamente escogidas ( $0,95 < s_1 < 1,63$ ) con porcentajes de cuarzo que van desde un 40-70 % y 40-60% de fragmentos de roca con las siguientes composiciones minerales: cuarzo micáceo (28%), cuarzo feldespático (5%) y cuarzo anfíbol (4%).

En la zona proximal del abanico las arenas se encuentran dispuestas en forma de pequeños lentes o barras, en las facies **Gm**, salvo algunas excepciones donde existen cuerpos de arenas con un espesor de casi 2 m de arenas finas con laminaciones paralelas con espesores que varían entre 0,5 y 1 cm, como en el punto 3 (figura 99).

En la parte media-distal del abanico los espesores varían entre 2 y 4 m, en esta zona se observan laminaciones paralelas y canales rellenos pertenecientes a las facies **Gms** (figura 98A), dichos canales presentan formas lenticulares con tamaños que van de 1 a 2 m de largo y 1 m de

espesor, con un relleno conformado en un 90-100% por clastos de gneis bandeado subangulares y subredondeados con tamaños de 30-40 cm, soportados por una matriz de arena gruesa.

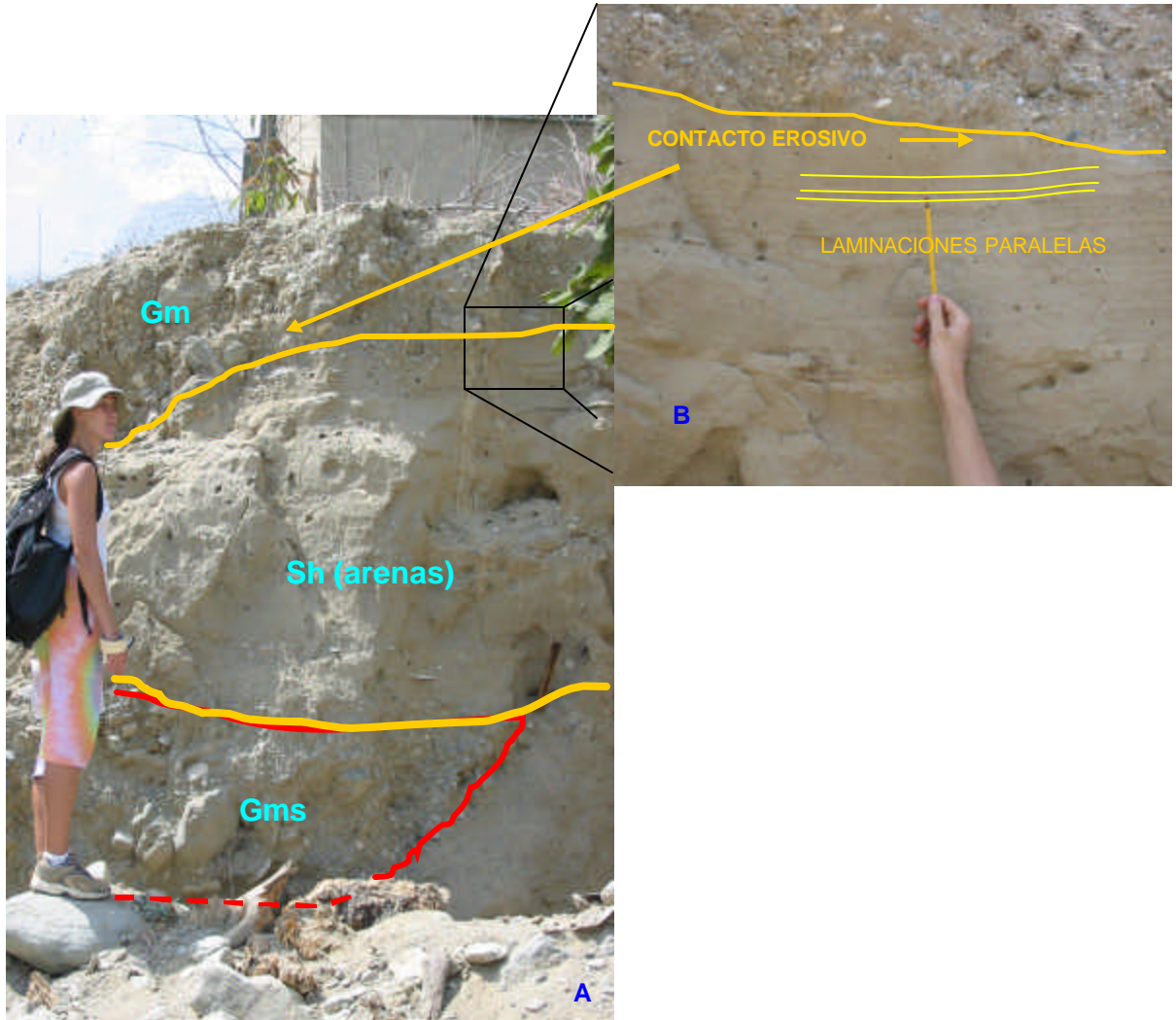


Figura 98. Facies Sh (arenas) en la zona distal en el punto U, en donde se ve claramente los grandes espesores de arenas de la facies A (delimitada por líneas amarillas), y los canales rellenos pertenecientes a las facies Gms (línea roja). Ver el contacto erosivo que presentan en el tope las facies A con la facies Gm (Rumbo de la foto N-S).





Figura 99. Acumulación en el punto 3 del abanico proximal de 2 m de arena media, en donde se observan 2 canales de relleno pertenecientes a la facies **Gms** (líneas rojas).

Nótese las horadaciones (indicadas por las flechas azules) hechas por insectos, posiblemente buscando refugio o comida.

(Rumbo de la foto S-N).

### Arenas gravosas

Las características texturales que presenta la facies en estas zonas es de 70%-95% arena, 5%-30% de grava y 0%-10% de limo.

Se encuentran en la zona del abanico medio, cercano al límite lateral del Este y en el abanico distal. Esta facies se encuentra en contacto abrupto (figura 101) con la facies **Gm**.

Suelen presentarse en lentes o capas delgadas de 15 a 20 cm de espesor y hasta 1 m de largo. Se encuentran dispuestos en el medio de la secuencia tanto en el abanico medio como en el distal en donde las capas se engrosan hasta alcanzar de 20 a 30 cm de espesor (figura 102).

Dichas capas presentan secuencias granodecreciente hacia el tope las cuales terminan en laminaciones paralelas (figura 100).

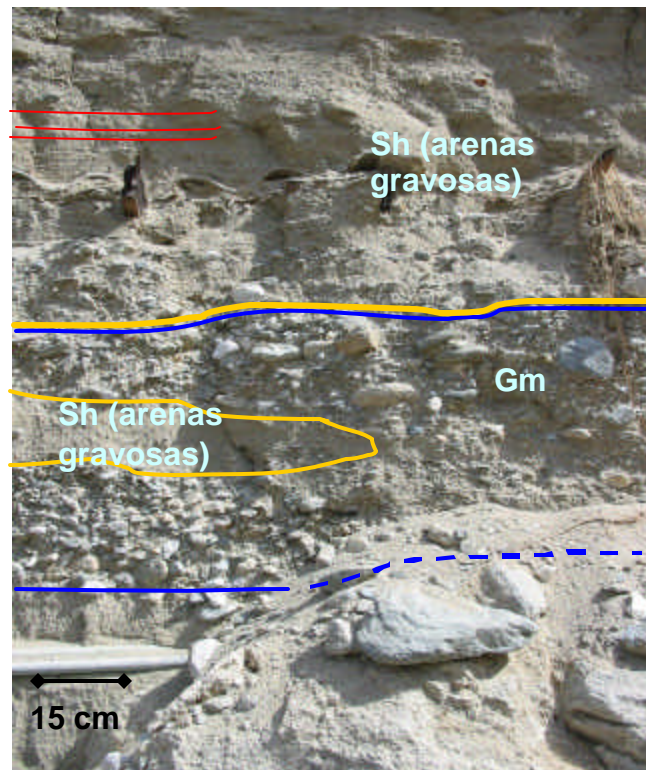


Figura 100. Arenas gravosas en el punto I en donde se nota el lente (en color amarillo) formado por esta facies en el medio de la secuencia, mientras que en el tope se observa la capa delgada con las laminaciones (líneas rojas) características de esta facies.

(Rumbo de la foto S-N).



Figura 101. Se muestra las arenas gravosas en el afloramiento 24, se hace resaltar el contacto abrupto (línea amarilla) que presenta con las gravas arenosas tanto en el tope como en la base.

(Rumbo de la foto S-N)

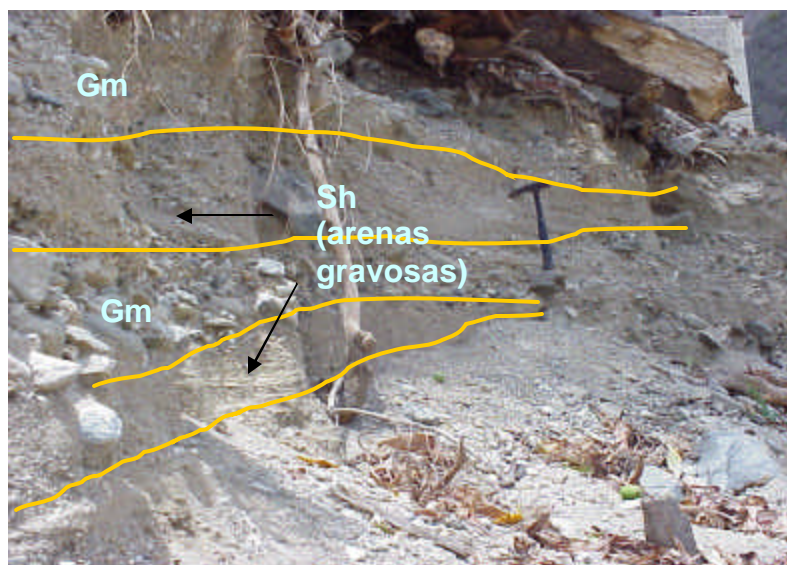


Figura 102. Capas de 20 a 30 cm de la facies Ag (entre las líneas amarillas) en el punto 40, véase el contacto abrupto que existe entre la facies Ag y la facies Ga.

(Rumbo de la foto S50°E).

Las arenas tienen tamaños que varían entre arenas medias a arenas muy gruesas, mal escogidas, las cuales están constituidas entre un 40 y 80% de fragmentos de roca, siendo lo restante correspondiente a cuarzo, de baja esfericidad y con formas que varían entre tabular, discoidal e irregular.

Las gravas presentes en esta facies tienen tamaños que van 10 y 20 cm y siempre se encuentran dispuestas en forma caótica.

### **Arenas con algo de grava**

Aquí la facies presenta un porcentaje muy bajo de gravas entre 2% y 5%, esta facies se localizó en la zona del ápice (a 35 m aguas arriba de la confluencia) y en el abanico distal (punto 20).

El tamaño de las arenas es medio, mal escogidas ( $1,27 < s_1 < 1,47$ ), con porcentajes de cuarzo que van de 30 a 40 %, fragmentos de roca entre 20 y 50%, que corresponden a esquistos cuarzo micáceos y esquistos micáceos provenientes de el Complejo de San Julián con altos porcentajes (15 a 20%) de micas (muscovitas) y baja esfericidad (0,3 y 0,5 según POWERS 1953).

Las formas predominantes para estos clastos son las tabulares (30 a 70%), pero también se observan clastos cilíndricos (15%), discoidales (13%) y cúbicos (10%). Los mayores porcentajes de formas tabulares se encuentran en los clastos con tamaños comprendidos entre 1 y 4 cm, los cuales se encuentran alineados con su eje mayor paralelo a la corriente.

La esfericidad es muy baja (0,3 según POWERS 1953), los clastos tabulares tienden hacer subangulares hasta angulares, mientras que las otras formas pueden tener clastos subredondeados.

### **Arenas lodosas**

Las arenas lodosas ubicadas en la parte media-distal del abanico se localizan verticalmente en la zona media de las secuencias sedimentarias (puntos de afloramiento "U" e "I").

Presenta contacto abrupto con las facies de **Gm** del tope y un contacto transicional con las facies **Sh de las arenas gravosas** de la base.

Las arenas lodosas presentan un color beige claro, y se encuentran dispuestas en forma de pequeños lentes, los cuales presentan laminaciones paralelas muy delgadas (0,2 a 0,5 cm), que tienden a desaparecer.

El escogimiento es moderado ( $0,79 < s_1 < 1$ ), pero en 2 muestras en particular MAC19 y MAC28 este es malo ( $1,18 < s_1 < 1,33$ ).

El tamaño de los sedimentos varia entre arena fina y lodo grueso; estas facies presentan un alto porcentaje de cuarzo entre un 60 - 80% y el porcentaje restante esta conformado por muscovitas.

### 11.1.2 Facies Gm

Esta facies se encuentra constituida texturalmente por gravas arenosas, con 30% a 80% de gravas, 20% a 70% de arenas y menos de 10% de limos y se encuentran ubicadas en la zona proximal y media del abanico, formando grandes estratos que pueden medir entre 3 a 4 m en la zona proximal y de 1 a 2,5 m en la zona media (figura 103).

Se presentan en capas casi horizontales en donde se observa una gradación granodecreciente hacia el tope e imbricación en los clastos superiores, siendo estas estructuras sedimentarias más frecuentes en los canales de flujo principal del abanico medio.

En la zona central del abanico medio esta facies se encuentra interdigitada y en contacto erosivo con la facies **Sh de las arenas gravosas**, encontrándose en la parte media y tope de la secuencia.

En el abanico distal esta misma facies **Gm** se encuentran en la base están en contacto transicional con las facies **Sh de las arenas gravosas**, mientras que las del tope se encuentran en contacto erosivo con las mismas facies **Sh de las arenas gravosas** (afloramiento en el punto I).

Esta facies está constituida entre un 40-80% de clastos con tamaños que van desde 6 a 25 cm (peñas), compuesta hasta en un 95% por fragmentos de roca de variadas litologías, pero, principalmente, de gneises y esquistos cuarzo feldespático. Los clastos presentan una baja esfericidad (0,3 a 0,5 según POWERS 1953) con formas tabulares y discoidales las cuales pueden ser subangulares o subredondeadas (hasta 60%).

La matriz que soporta a estos clastos es mal escogida ( $1,20 < s_1 < 1,92$ ) y con tamaños entre arena muy gruesas y gránulos, subredondeados y subangulares de baja esfericidad (0,3 a 0,5 según POWERS 1953) con formas irregulares y tabulares.



Figura 103. Afloramiento en el punto 25 del abanico medio, se muestra que dentro de la misma facies Gm hubo un descenso en el nivel de energía que permitió la depositación de un listón de arena de 30-45 cm de ancho, en la foto pequeña se muestra la ligera imbricación que presentan los clastos en esta facies .

(Rumbo de la foto W-E).

### 11.1.3 Facies Gms

Esta facies está constituida por gravas arenosas lodosas. Se encuentran localizadas en dos zonas dentro del abanico, representadas por los puntos 2-M-U, sin embargo, los dos primeros pertenecen a sedimentos provenientes de la quebrada Montesuma (puntos de afloramiento 2-M), la cual generó un pequeño abanico aluvial sobre el ya existente (figura 105). El punto U, por su parte, está formado por el aporte directo del drenaje principal.

La muestra representativa de esta facies se encuentra en la secuencia sedimentaria descrita en el punto "U", muestra MAC03, ubicada en la zona medio-distal del abanico, cercano al extremo Este del mismo (figura 104). Dicha muestra fue tomada de canales de relleno que se encuentran tanto en la base como en el tope de la secuencia. Representan una sedimentación caótica formada por clastos entre 30 a 40 cm, encontrándose los de mayor tamaño hacia la parte central del canal, embebidos en una matriz de grava tamaño gránulo.

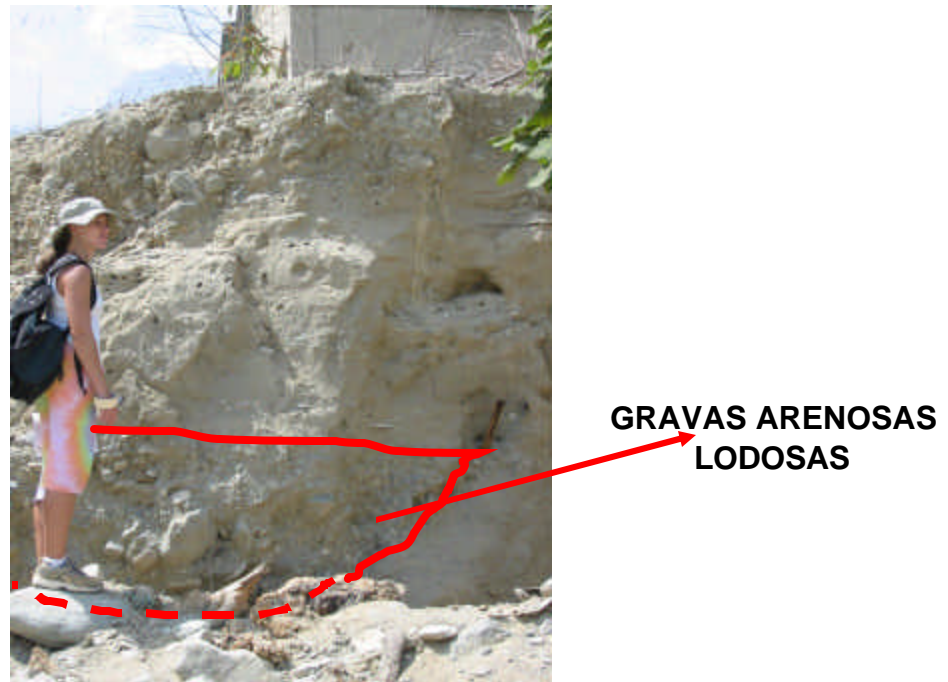


Figura 104. Facies Gal en el punto U. En esta parte del abanico esta facies se encuentra en canales rellenos. (Rumbo de la foto N-S)

Con respecto a la facies en la zona de aporte del material proveniente de Montesuma, se caracterizan por encontrarse en una secuencia caótica. Formado por un 80% de clastos y 20% de sedimentos finos (arena y limo), en la base se observan peñones con tamaños de 70 a 100 cm aproximadamente, subangulares con formas tabulares, y clastos de tamaño grava, ocupando ambos un 40 - 50% de la secuencia.

La secuencia se presenta en forma caótica y granodecreciente hacia el tope, con presencia de algunos lentes de arena en la parte media, y en la zona del tope se observa un ligero aumento en el tamaño de los granos.

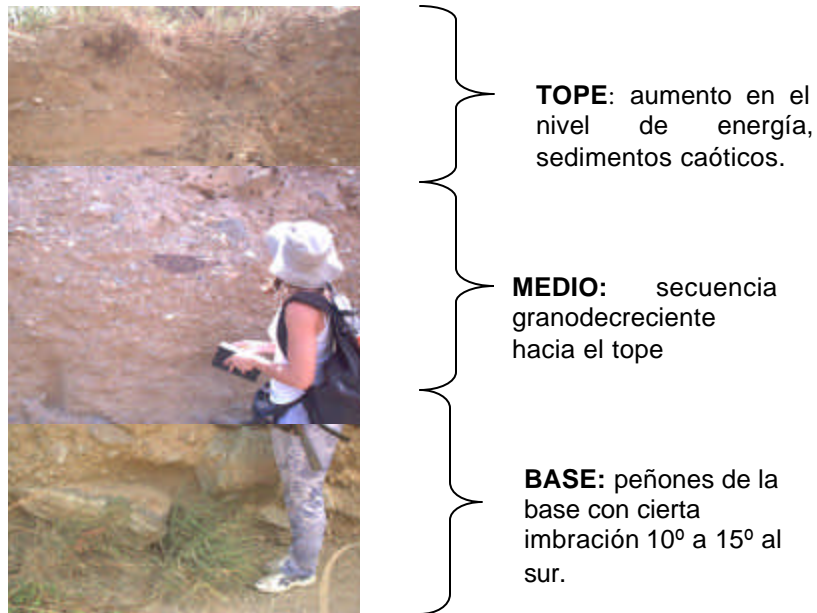


Figura 105. Se muestra la facies de **Gal** en el punto 2, a la salida de la quebrada Montesuma. Ver los diferentes niveles de energía presentes (Rumbo de la foto W-E)

La facies está conformada por peñones de 50 a 80 cm en la base presentando cierta imbricación de 10° y 15° al Sur (ver figura 98) y tamaños de gránulos y guijarros en la parte media hasta el tope (2 a 10 cm). En general, las gravas están conformadas por un 60% de esquistos serpentinos ±



feldespato  $\pm$  horblenda y un 40% de gneis feldespato  $\pm$  muscovita  $\pm$  hematina.

La matriz está compuesta por una arcilla de color rojizo, producto de la meteorización de las rocas del Esquisto de Tacagua.

#### 11.1.4 Facies F

Esta facies esta caracterizada por presentar un porcentaje muy alto de sedimentos finos (limos y arcillas). Este tipo de sedimento se encontró solo en el punto 4 (abanico proximal) dentro de una casa, por lo que es muy probable que en muchas otras casas ya derrumbadas se encontrara esta facies.

Los espesores que presenta son de 0,5 a 1 m dependiendo del sitio de depositación. Esta facies no se puede ubicar en la columna estratigráfica debido a que no se encuentra asociada a ninguna otra y es indicativo de que las casas sirvieron como recolectores de los sedimentos finos.

Esta caracterizada por sedimentos muy finos, moderadamente escogidos, con presencia de laminaciones paralelas.

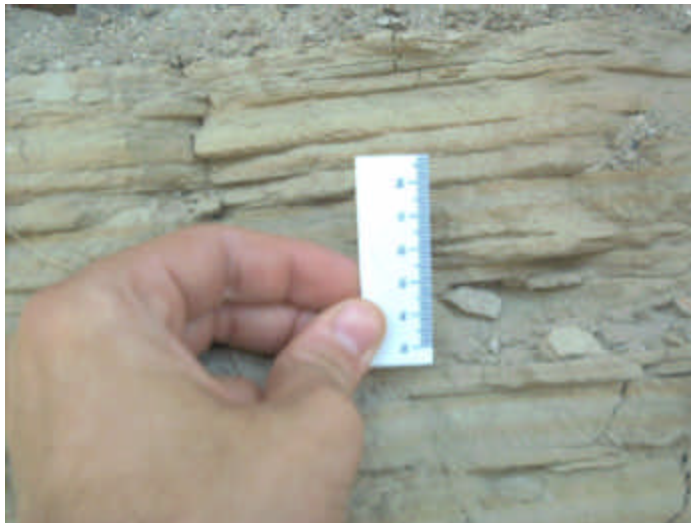


Figura 106. Facies F ubicada en el punto 4 dentro de una casa.

(Rumbo de la foto E-W).

**11.2 Distribución de los tamaños de grano según su ubicación en el cono de Macuto.**

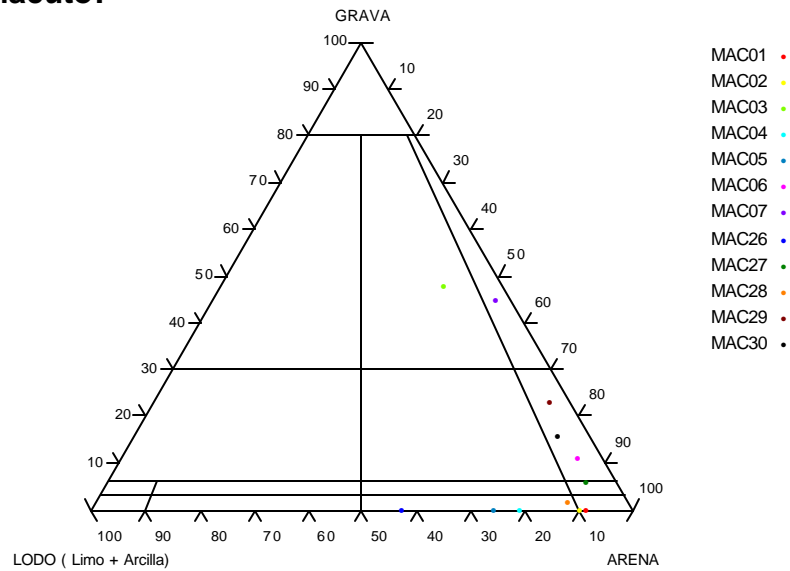


Figura 107. Representación de 12 muestras según la clasificación textural de Folk (1954) en el cono medio-distal de Macuto.

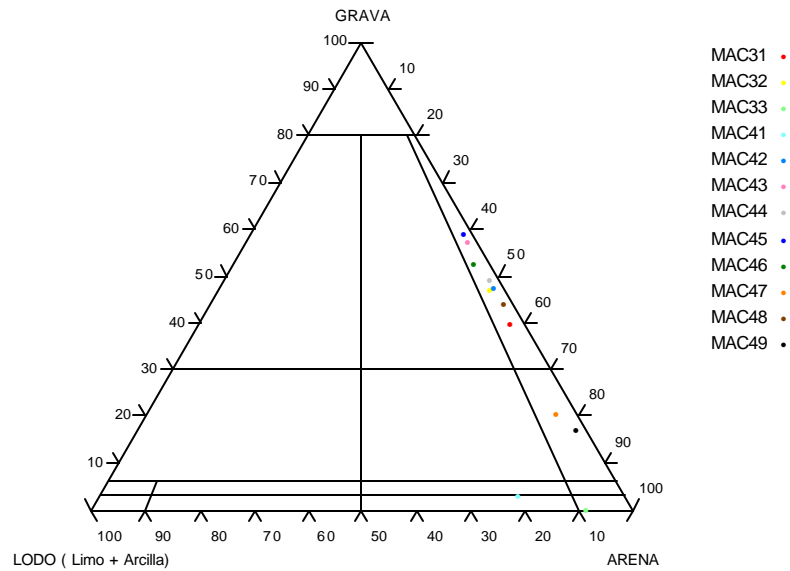


Figura 108. Representación de 12 muestras según la clasificación textural de Folk (1954) en el cono proximal-medio de Macuto.

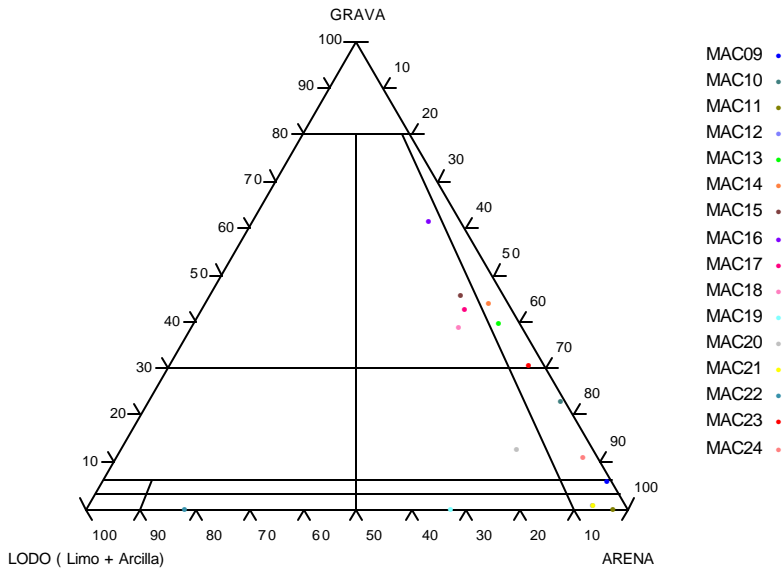


Figura 109. Representación de 16 muestras según la clasificación textural de Folk (1954) en el cono proximal y ápice de Macuto.

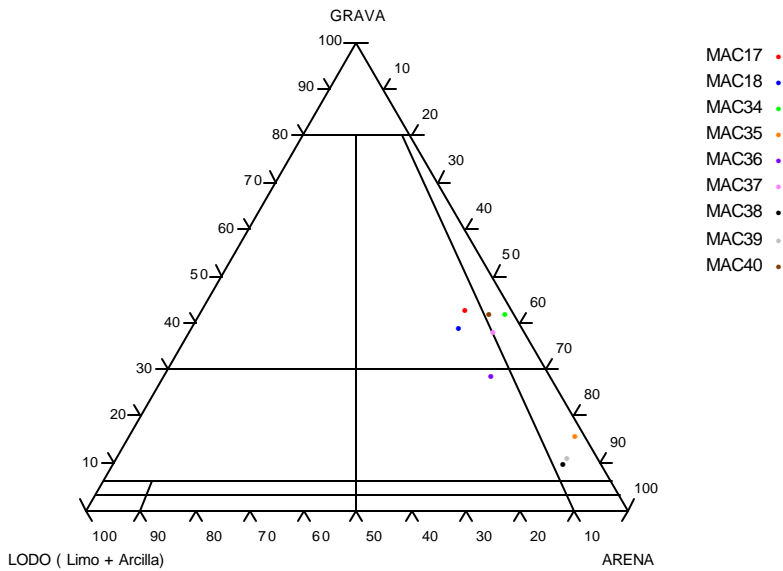


Figura 110. Representación de 9 muestras según la clasificación textural de Folk (1954) en los tributarios más cercanos al cono de de Macuto.

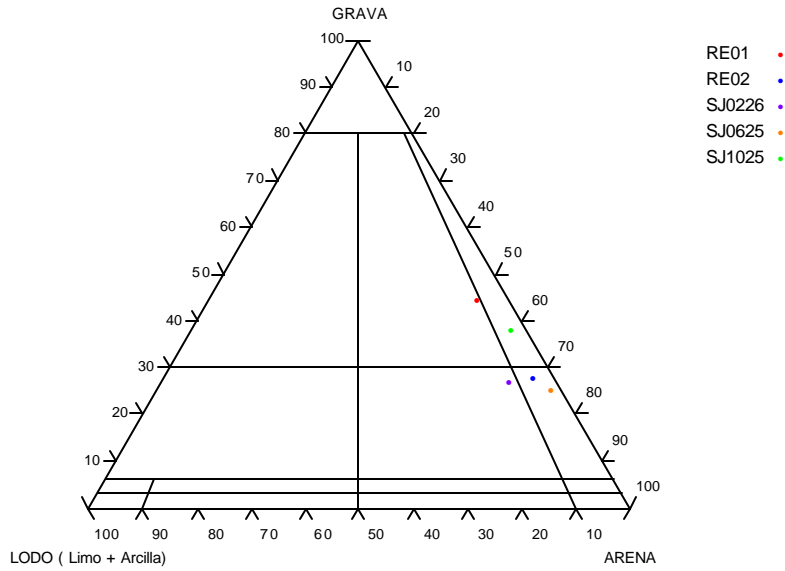


Figura 111. Representación de 5 muestras según la clasificación textural de Folk (1954) en el área de la cuenca media.

## 12. COMPOSICIÓN MINERAL DE LOS SEDIMENTOS

La variedad en la composición mineral de las muestras de sedimentos esta caracterizada por unos altos porcentajes de fragmentos de rocas, y bajos porcentajes en la cantidad de cuarzo y otros minerales como micas, granate y anfíboles (estos últimos se encuentran en porcentajes entre 0,1% a 2%).

Los porcentajes de fragmentos de rocas de todas las muestras de sedimentos tomadas en el cono de Macuto y las quebradas de cuenca media-alta, varían entre 50% a 100%, presentando una escasa variedad en la composición de estos fragmentos de rocas, principalmente de: gneis cuarzo  $\pm$  feldespato  $\pm$  micáceo, gneis cuarzo  $\pm$  feldespático, esquisto cuarzo  $\pm$  micáceo, esquisto feldespático  $\pm$  cuarzo  $\pm$  micáceo, esquisto cuarzo  $\pm$  micáceo y en porcentajes más bajos dentro de la composición de la roca se apreciaban minerales tales como anfíboles, epidoto, granate, actinolita y hematina (< 1%).

Todos estos tipos litológicos corresponde al Complejo San Julián, lo que indica que la mayor cantidad de sedimentos que se depositaron tanto en las quebradas como en el cono de Macuto (figura 106) pertenecen a la Asociación Metamórfica del Ávila y más específicamente al Complejo de San Julián.

Otra fuente de aporte de sedimentos proviene del Esquisto de Tacagua compuesto principalmente de: Esquisto epidótico-grafitoso-micáceo, esquisto epidótico-grafitoso-muscovítico, esquisto grafitoso-cuarzo-muscovítico, según NIETO (2003). En las muestras MAC38 y MAC40 se observa fragmento de roca con esta composición mineral, evidenciando el aporte del mismo.

Los porcentajes de cuarzo en los sedimentos varia entre 1% a 20%, estos valores porcentuales en el cuarzo no tienen ningún tipo de distribución en el cono.

En las muestras MAC01, MAC06, MAC09, MAC11, MAC12, MAC21 y MAC27, se observan valores porcentuales más altos de cuarzo que en las otras muestras, sin tener ningún patrón con respecto a la distancia de la fuente de aporte.

En las muestras MAC11 (tomada en el ápice del cono), MAC21 (tomada en la zona media) y MAC01 (tomada en la zona media-distal del cono), se ven diferencias en el porcentaje de cuarzo.

**MAC11 Z. proximal en la confluencia**

Composición mineral en %		
Cuarzo	Feldespatos	Fragmento de roca
76		

**MAC21 Z. media**

Composición mineral en %		
Cuarzo	Feldespatos	Fragmento de roca
49	1	39

**MAC01 Z. media Distal**

Composición mineral en %		
Cuarzo	Feldespatos	Fragmento de roca
31		54



Figura 112. Fotografía aérea tomada en enero 2000, misión 030601-305.

Nótese en las tablas de composición las diferencias en cuanto a la proporción de cuarzo y a los fragmentos de rocas, en la muestra MAC11 se observa un alto porcentaje de cuarzo y nada de fragmento de roca, en esta muestra el tamaño del grano varía entre arenas finas-arenas muy finas, mientras que en la MAC01 los porcentajes de cuarzo son menores en relación con los de fragmentos de roca pero el tamaño del grano de arenas muy gruesas-arenas finas.

### **13. ANÁLISIS DE RESULTADOS**

#### **13.1 GEODINÁMICA SUPERFICIAL**

Los movimientos de masa presentes en la cuenca de San José de Galipán se encuentran agrupados en diferentes sectores, esta distribución está relacionada con el tipo de litología, estructuras y vegetación, a la cual se encuentran asociados. De acuerdo a esto, se determinó que los movimientos que afectaron en mayor grado a la cuenca de estudio fueron la caída de bloques, los flujos de detritos, escurrimientos y flujos de lodo.

La caída de bloques y flujos de detritos representan los movimientos con mayor porcentaje ocupando 55 y 20 % respectivamente de área ocupada en la cuenca, los cuales se encuentran relacionados a las rocas de texturas gnéisicas pertenecientes al Complejo de San Julián, asociados a su vez, a las laderas con las mayores pendientes de la cuenca ubicadas en los límites Oeste y Este de la misma, respectivamente.

Las cárcavas de erosión concentrada ocupan un 17% del total de los movimientos y están asociados a los suelos residuales producto de la meteorización de antiguos coluviones, en las zonas de mayor actividad agrícola de la cuenca alta conocidos como procesos antrópicos como el arado de la tierra provocando alteración de las propiedades del suelo y en aquellas laderas con pendientes suaves a moderadamente abruptas (15°-35°).

Los flujos de lodos ocupan 3% del total de los movimientos y se caracterizan por estar directamente relacionados a los suelos residuales producto de la alteración de las rocas esquistos pertenecientes al Esquisto de Tacagua.

## **13.2 PARÁMETROS GRANULOMÉTRICOS DE LOS SEDIMENTOS PERTENECIENTES AL ABANICO DE MACUTO**

### **Histogramas y curvas de frecuencia**

En los histogramas y las curvas de frecuencia se pueden apreciar los diferentes tipos modales que se encuentran en el cono, en donde destacan las clases unimodales con un 50% y luego las bimodales con un 40%, el 10% restante representa a las clases polimodales.

La distribución de las clases unimodales se ubican en las zonas centrales y laterales del cono de Macuto, indicando que la fuente de aporte para estos sedimentos provenía del flujo de detritos principal durante la primera y segunda oleada. En estas clases unimodales destacan los tamaños guijarros, gránulos, arenas gruesas, arenas medias y arenas finas.

Las clases bimodales se encuentran ubicadas más cercanas a las quebradas de la cuenca baja, tienen un amplio rango en los tamaños de los granos los cuales varían de guijarros hasta limos gruesos, en donde se observan la relación entre los sedimentos gruesos en mayor porcentaje con respecto a los finos.

Las clases polimodales están representadas por tres clases modales e donde destacan los guijarros, arenas medias y los limos gruesos, con una variación porcentual descendente hacia los limos gruesos.

Muchos de los valores calculados de kurtosis no tienen correspondencia con las formas obtenidas en las curvas de frecuencia, en las muestras MAC02, MAC04, MAC05, MAC26 Y MAC33, se observa esta discrepancia, que es debida a los amplios rangos de clases presentes en las muestras. Determinando el carácter turbulento del tipo de flujo que transporto los sedimentos y de las diferentes fuentes de aporte que sufrió el fluido durante los eventos torrenciales.



## Escogimiento

El grado de escogimiento que presentan los sedimentos del cono de Macuto es malo en un 69%, existe un 17% que tiene un escogimiento que es muy malo y solo un 12% de sedimentos moderadamente escogidos.

El mal escogimiento se debe principalmente al medio de transporte, debido a que durante los eventos de flujo torrencial las partículas sedimentarias comprendidas entre los tamaños de limos hasta peñas-peñones son transportados en una sola mezcla, es decir, el flujo se comporta como una sola fase, dándole una gran heterogeneidad a estos sedimentos.

La mayor cantidad de muestras con mal escogidas se encuentran ubicadas en la zona proximal y media del abanico, aunque también se observa la presencia de sedimentos con mal escogimiento en la zona distal-proximal.

Los sedimentos que presenta un escogimiento moderado se ubican en la zona distal del abanico (muestras MAC04, MAC05 y MAC26) y en la zona de la confluencia en el ápice (muestras MAC10 y MAC11). El tamaño del grano en dichos sedimentos varía de arena fina a gruesa, mostrando un corto rango en las clases modales indicando que los niveles de energía se mantuvieron estables durante el momento de la depositación.

Los sedimentos depositados en las quebradas de la cuenca media y alta presentan un mal escogimiento. Esto se debe principalmente a la cercanía de la fuente de aporte.

## Tamaño de grano

La sedimentación de las arenas gravosas se concentró a lo largo de la línea longitudinal central del abanico, mientras que la fracción más gruesa y heterogénea se depositó en los extremos Este-Oeste del mismo, es decir, que las fracciones más gruesa de sedimentos se concentraron hacia las zonas laterales del abanico medio, indicando que hubo niveles de alta

energía hacia estas zonas y los de menor energía hacia la zona central pero con una mayor extensión, desde el abanico proximal hasta el límite medio-distal.

En la zona proximal y ápice del abanico se observan los mayores tamaños en los sedimentos, estas acumulaciones se deben a una disminución en el nivel de energía por el cambio de pendiente.

A diferencia del abanico de Los Corales en el abanico de Macuto no se observaron los grandes bloques transportados durante el evento, ya que la mayoría de ellos se quedaron represados en los valles encajados de la cuenca de San José de Galipán.

### **13.3 MORFOLOGÍA DE LOS CLASTOS Y GRANOS**

#### **Grado de redondez**

En las muestras tomadas en el abanico de Macuto y en la zona del ápice del cono, la distribución de la redondez esta caracterizada por clastos (sedimentos entre los tamaños de guijarros hasta arenas finas) subredondeados y subangulares, y en menor proporción los redondeados y angulares. Esta distribución se presenta en forma aleatoria, a pesar de ser un evento tan violento y de tanta energía, lo que provoca que los sedimentos sufran colisiones con otras partículas constantemente (tamaños de guijarros hasta arenas finas).

Es posible que se deba a la composición mineral de los sedimentos que en su mayoría corresponden a gneis, augengneis y algunos esquistos provenientes del Complejo de San Julián. La mayoría de los componentes de los fragmentos de rocas presentan evidencias de meteorización lo que a permitido la desintegración de los minerales poco competentes, como los feldespatos y las micas (componentes principales de los fragmentos de rocas), dándole mayor redondez.

Otro factor importante en la redondez de muchos de estos sedimentos estudiados se debe a las propiedades heredadas de las rocas madres, como se evidencian en las muestras: MAC01, 06, 07, 08, 12, 13, 15, 16, 20, 24, 25, 31 y 38; están caracterizadas por tener los sedimentos mucho más angulares que el resto de las muestras, debido a que la composición mineral esta dominada por esquistos muy cuarzo micáceos y en otros casos a esquistos provenientes del Esquisto de Tacagua.

En la zona del ápice del abanico se tiene que la mayoría de los bloques presentes, casi un 85%, presentan una redondez que va de subangular a subredondeada, debido a que la movilidad de estos bloques se ve reducida por la forma del valle muy encajada y los cambios bruscos en la trayectoria del drenaje, eliminando así la posibilidad de que estos grandes clastos provengan de sitios más alejados de la cuenca.

Las terrazas antiguas presentes en la zona del ápice son una posible fuente de estos clastos, ya que en las mismas se observan bloques con características morfológicas similares a los bloques acumulados en esta zona.

En la cuenca media hacia el lado Oeste, más específicamente en el Río San José de Galipán, desde su nacimiento hasta el Sector San José, existe una gran acumulación de peñones con tamaños que van de 1 a 15 m. de largo (en su eje mayor) de formas alargadas, esféricas y ovoides con esfericidades medias (0,5-0,7 según POWERS 1953), la redondez de estos peñones esta entre subredondeado y subangular.

Las acumulación de bloques y peñones ubicadas en el lado oeste de la cuenca provienen principalmente del Picacho de Galipán.

Un 80% de los peñones presentes en la zona tienden a ser subredondeados, mientras que el 20% restante son subangulares. Este grado de redondez puede ser indicativo de que dichos materiales no provengan de movimientos de masa (Caída de Bloques) recientes, porque

con el poco transporte sufrido, ya que la cercanía de la fuente de aporte no permite el transporte suficiente para generar una redondez tan alta.

Para que un clasto de estas dimensiones presente tal grado de redondez, debió sufrir varios eventos torrenciales para adquirirla, lo cual está evidenciado en la presencia de terrazas antiguas presentes en esta misma zona.

En conclusión la redondez en estos clastos de gran tamaño, se debe principalmente por la meteorización *in-situ*, en donde la meteorización actúa desde la superficie hacia el interior de la roca.

### **Esfericidad**

La esfericidad de las muestras de los sedimentos en el abanico de Macuto presentan valores comprendidos entre 0,3 a 0,5 (según POWERS 1953), es decir, que presentan una baja esfericidad.

Las muestras con una esfericidad de 0,3 tienen una distribución homogénea en todo el abanico de Macuto, mientras que las muestras con los valores de 0,5 presentan una ligera tendencia a concentrarse en el lado Oeste del mismo.

Los sedimentos en las quebradas ubicadas en la cuenca media-alta también presentan valores de baja esfericidad en los sedimentos.

En general la esfericidad de los sedimentos en el abanico de Macuto se vio afectada por lo violento de la sedimentación y por el alto grado de fracturación de la roca fuente, debido a que han sido afectadas por la actividad tectónica en el pasado.

### **Forma**

En las muestras analizadas en el abanico de Macuto se observa que el mayor porcentaje pertenecen a las formas tabulares, los porcentajes más elevados de esta forma están distribuidos principalmente en dos zonas: la primera se encuentra localizada en la parte del ápice del cono y la segunda

esta localizada en el abanico proximal distribuido hacia los lados de esta zona, en especial en la salida de la quebrada Montesuma, se observa una disminución en el porcentaje de aparición a medida que se avanza desde hacia el abanico medio al abanico distal.

Las muestras que presentan mayor porcentaje en la forma tabular de sus granos son las que se encuentran ubicadas en las salidas de las quebradas Montesuma y las ubicadas en la ladera Oeste del abanico, asociadas a los deslizamientos de flujo de lodo generados en la zona del Esquisto de Tacagua.

Las formas irregulares presentan valores entre 30% y 70% dentro de las muestras y su distribución esta concentrada a lo largo de toda la parte central del abanico, especialmente en la zona proximal del mismo.

Las formas esféricas, cúbicas, cilíndricas y elipsoidales presentan valores menores al 15% dentro de las muestras, pero se encuentran distribuidas en las quebradas de la cuenca media y en el abanico de manera homogénea.

### **13.4 MINERALOGÍA DE LOS SEDIMENTOS**

Las variaciones en la composición mineral de los sedimentos está más afectadas por el tamaño de grano que por la distancia recorrida, se debe recordar que estos eventos torrenciales ocurren muy rápido impidiendo la escogencia de los minerales más resistentes (meta-estables), lo que provoca la depositación de sedimentos muy inmaduros.

Las muestras tomadas en los ríos Escondido y San José de Galipán tienen porcentajes muy altos de fragmentos de roca, principalmente de esquistos y gneises cuarzo feldespático muscovítico, pertenecientes al Complejo de San Julián. Presentando bajas esfericidades de 0,3 hasta 0,5 según POWERS (1953) encontrándose entre un 50-60%, debido a que si durante el transporte en eventos torrenciales pueden ocurrir la separación de

los minerales constituyentes de la roca como consecuencia de la trituración de los mismos.

### 13.5 NIVELES DE ENERGÍA

#### Canal principal al Este

Los puntos 25, 24 y U, representan los afloramientos de los sedimentos característicos del canal principal ubicado al Este, la descripción de la secuencias se realiza de S-N respectivamente.

El punto 25 muestra 2 secuencias grano-decrecientes con imbricación de los clastos de mayor tamaño ubicados en el tope de la secuencia, hacia la base se tienen los sedimentos pertenecientes a las arenas con gravas en contacto transicional con las gravas arenosas depositadas en el tope.

El punto 24, presenta 2 secuencias, una grano-decreciente en la base en contacto erosivo abrupto con un nivel de arena perteneciente a la facies F (arenas finas lodosas) que presenta laminación paralela, y hacia el tope se tiene una secuencia grano-creciente con presencia de raíces en las facies Sh de arenas gravosas.

El punto U está ubicado en el límite entre la zona media y distal, en esta secuencia se observa el comienzo de la colmatación del canal principal al Este, evidenciado por la interdigitación de gravas arenosas lodosas pertenecientes a la facies Gms y las arenas (laminación paralela) con algunos canales de conglomerados de aproximadamente 50 cm de espesor de la gravas arenosas (similar al punto 40). Hacia el tope se observan la mismas gravas arenosas en un contacto erosivo con la secuencia infrayacente.

En conclusión se tienen 2 eventos de flujo de detritos (debris flow) separados por unas arenas con laminación paralela pertenecientes a las facies Sh, que corresponde a flujos de canal (stream flow), en donde se evidencia una disminución en el nivel de energía. En este extremo

exactamente en el límite medio-distal del abanico el canal comienza a colmatarse, tal como se describe en el punto U.

### **Canal central**

En el canal central se observan dos tipos de secuencias sedimentarias las cuales corresponden a los afloramientos N, 10, 18, 4,5, 40 e I.

En los puntos N, 10 y 18, las columnas sedimentarias de estos puntos evidencian la ocurrencia de 2 eventos, en donde se observan secuencias grano-crecientes con clastos de 0,60 m a 1 m aproximadamente, soportados por una matriz gravosa. Esta secuencia se encuentra sobre una superficie erosiva colocándola en contacto con un nivel de arenas gruesas de la facies Sh, infrayacentemente a dicha facies se observa una secuencia grano-decreciente con clastos de 0,5 m a 1 m dispuestos de forma caótica.

Esta disposición evidencia la ocurrencia de 2 eventos con diferentes energías, en donde se ve una secuencia grano-decreciente en la base seguida por una secuencia arenosa de la facies Sh que evidencia la disminución progresiva de la energía. Luego una superficie erosiva pone en contacto estas arenas con otra secuencia grano-creciente indicando un aumento brusco en el nivel de energía.

En los puntos de afloramiento 4, 5, 40 e I, las secuencias presentan una interdigitación entre niveles de arenas gravosas de la facies Sh con laminación paralela y las gravas arenosas de la facies Gm, en donde se observa secuencias grano-decrecientes con una ligera imbricación de los clastos dispuestos en el tope.

De acuerdo a esto se siguen evidenciando 2 eventos con niveles de energía diferente pero mucho menor que los observados en los puntos de afloramientos N, 10 y 18, debido a la disminución en el tamaño de los clastos y la escasa presencia de bloques mayor a 1 m.

### **Canal al Oeste**

En el lado Oeste del abanico se analizaron 3 secuencias típicas distribuidas en los siguientes puntos.

Los puntos de afloramiento 36 y 37 ubicados en el abanico medio-distal, presentan secuencias homogéneas con aproximadamente 60% de clastos de arenas gravosas pertenecientes a las facies Sh, se caracterizan por presentar 2 secuencias grano-decrecientes típicas de los flujos de detritos con una ligera imbricación en los clastos.

Esta secuencia corresponde al segundo evento del flujo de detritos, producto del desplazamiento hacia el Oeste del canal principal debido a la colmatación del mismo.

En el abanico medio se observan los afloramientos 26 y 27, con 2 secuencia grano-decrecientes hacia el tope que evidencian 2 eventos de cambio de energía separados por la facies Gm, la secuencia de la base correspondiente al primer evento, presenta una ligera imbricación de los clastos hacia el tope de la misma, se acota que estas secuencias pertenecen a un flujo de lodo proveniente de una quebrada adyacente a esta zona.

En el punto 3 ubicado en la zona proximal se encuentran una secuencia perteneciente a las arenas de la facies Sh con un contacto erosivo entre arenas lodosas de la facies F con laminación paralela y las arenas con gravas de las facies Gms con presencia de escombros (materia orgánica y restos de casas).

Por su parte el punto P ubicado un poco más al norte muestra una secuencia compuestas por las arenas de la facies Sh con laminación paralela y dos lentes de conglomerados evidenciando de nuevo la migración del canal hacia el Oeste.



### 13.6 VOLUMEN DE SUELO REMOVIDO Y DEPOSITADO

La cantidad de material desplazado durante el evento de 1999 alcanzó aproximadamente  $1,3 \times 10^6 \text{ m}^3$ , de los cuales solo  $8,6 \times 10^5 \text{ m}^3$  llegaron a ser depositados en el cono de Macuto lo que equivale a 63% del total.

Una parte de este material removido quedó atrapado y filtrado por la vegetación presente en las laderas, el que no fue depositado en los ríos y quebradas principales de la cuenca media, en donde la poca pendiente de esta permitió la generación de terrazas y zonas de acumulación.

En el ápice del abanico de Macuto se acumularon aproximadamente  $1,1 \times 10^4 \text{ m}^3$ , de material que generó terrazas fluviales nuevas por las grandes acumulaciones de bloques y sedimentos de variada granulometría, producto de la generación de diques naturales como restos árboles grandes, permitiendo la acumulación.

Otro resto más importante del material posiblemente más fino fue depositado en el mar y luego fue erosionado por corrientes marinas.

### 13.7 LITOLOGÍA CARACTERÍSTICA EN RÍO ESCONDIDO

De acuerdo a los resultados obtenidos mediante el análisis petrográfico de las muestras tomadas en la zona perteneciente al cauce de Río Escondido (cuenca media), se verificó una variación mineralógica y textural típica de los cinturones metamórficos con bajo grado de metamorfismo en la facies de los esquistos verdes. Tal y como menciona GRANDE (1997), es común la presencia en la secuencia sedimentaria: de sedimentos o rocas pelíticas; carbonáticas de la cuenca marina original; rocas ígneas de todo tipo intercaladas en la cuenca (algunas inyectadas plásticamente como las serpentinitas, otras formando parte del basamento antiguo. En fin, se pueden encontrar una gran variabilidad de rocas que han sufrido alteraciones composicionales y texturales, con la finalidad de alcanzar la estabilidad en las nuevas condiciones de presión y temperatura. A parte

en el caso de la zona estudiada, se obtuvo la clasificación de las rocas analizadas según los siguientes criterios:

- **Mineralógico–textural:** gneises, esquistos y anfibolitas.
- **Clases químicas:**
  - rocas cuarzo-feldespáticas (<30% de minerales máficos y micas)
  - rocas pelíticas (>30% de filosilicatos)
  - rocas básicas o máficas (>35% de minerales máficos)
- **Protolito:** ígneo-sedimentario o netamente sedimentario

De acuerdo a las observaciones de campo sumado a los análisis petrográficos de las muestras recolectadas en el tramo definido anteriormente, se tiene la siguiente descripción composicional-textural de Sur a Norte (es decir, en dirección aguas abajo): se tiene inicialmente un gneis (augengneis) plagioclásico epidótico de grano medio a fino, ligeramente bandeado, de protolito ígneo – sedimentario, que varía composicionalmente a gneis anfibólico biotítico de grano un poco más fino con abundantes vetas de cuarzo fracturadas, el cual muestra evidencias de un protolito máfico o ultramáfico debido al alto porcentaje de hornblenda, indicando una zona con mayor grado de metamorfismo (7-12 Kb de presión) típico de la zona de los esquistos verdes de alta P o anfibolita epidótica. La presencia de esfena en las muestras se puede interpretar como producto de la hidratación del óxido de hierro en las rocas ultramáficas GRANDE (1997). A partir de esta zona se observa un cambio composicional y textural bien marcado. Se observa una variación de la textura gneísica inicial a una esquistosa de grano medio (esquisto plagioclásico) con protolito sedimentario (calcáreo), perteneciente al metamorfismo de P intermedia (5-8 Kb), zona de la clorita. Esta roca se encuentra en contacto de falla con el gneis plagioclásico cuarzoso de grano más grueso, perteneciente al metamorfismo

de baja P ( $P < 5$  Kb), zona de la biotita. Entre ambas, se encuentra la cloritocita como un pequeño cuerpo alargado con 1 m de espesor, de grano muy fino compuesta prácticamente en su totalidad por clorita. A continuación, el gneis bandeado varía en composición a una roca plagioclásico cuarzoso con protolito sedimentario-ígneo, localizándose en el mismo rango de metamorfismo de bajo grado (con  $P < 5$  Kb), zona de la biotita del gneis plagioclásico epidótico descrito inicialmente.

De acuerdo a GRANDE (1997), la presencia de albita, minerales del grupo del epidoto y sericita, se debe a la descomposición de la plagioclasa cálcica, típica de las rocas máficas, debido a su inestabilidad en las condiciones de (P,T) de estas facies. La ausencia de la hornblenda primaria, pero no así de biotita, muscovita o clorita refleja las alteraciones menores que sufren las rocas graníticas durante el metamorfismo en esta facies. Los cristales pequeños de apatito presentes en las muestras analizadas, especialmente en la RE-14, indican la recristalización de los fosfatos amorfos sedimentarios.

### 13.8 ESTRUCTURAS

Según CANO & MELO (2001) a escala regional de la Cordillera de la Costa se puede aplicar el modelo de WILCOX (1973) para generar una posible interpretación al movimiento del sistema de fallas presentes en la región.

En la zona de estudio se tienen presentes patrones en el fallamiento con direcciones E-W,  $N45^{\circ}-75^{\circ}E$ ,  $N10^{\circ}E-10^{\circ}W$ ,  $N30^{\circ}-60^{\circ}W$ . En donde las fallas que poseen la dirección de E-W pueden relacionarse con el cizallamiento tipo D y las orientadas  $N30^{\circ}-60^{\circ}W$  pueden ser las fracturas R´.

## 14 CONCLUSIONES

Durante el evento torrencial que afectó la zona norte del país ocurrido en diciembre de 1999, los movimientos de masa asociados a la cuenca de San José de Galipán provocaron el desplazamiento de  $1,3 \times 10^6 \text{m}^3$  de suelo y en algunos casos parte de la roca alterada. De acuerdo a los cálculos realizados se estima que el área que ocupan estos movimientos de masa es de aproximadamente de  $8,6 \times 10^5 \text{m}^2$ .

De acuerdo a estos valores, la caída de bloques representa el movimiento con el mayor área ocupada, procedentes de dos zonas que se caracterizan por presentar altas pendientes y rocas gneísicas fuertemente diaclasadas producto del patrón de fallamientos que domina la zona:

- 1) Picacho de Galipán.
- 2) Confluencia del Río San José de Galipán y Río Escondido en la zona correspondiente al ápice del abanico de Macuto.

Como se puede observar en el mapa de ubicación de los movimientos, los bloques de mayor tamaño se encuentran acumulados principalmente en los valles angostos con forma de "V" del Picacho de Galipán, quebrada Los Perros y ápice del abanico; así como también en las zonas con disminución abrupta de la pendiente, como el observado en el poblado de San José de Galipán. Por esta razón, se concluye que la mayor parte de los bloques de gran tamaño depositados en el abanico de Macuto, son producto de la erosión de terrazas antiguas ubicadas a lo largo de toda la zona del ápice.

Sin embargo, los movimientos que aportaron el mayor volumen de material hacia el abanico de Macuto fueron:

- 1) Flujos de lodo ubicados principalmente en las laderas Oeste y Este de la cuenca baja y parte de la media, asociados a los suelos de composición laterítica con espesores pequeños de vegetación (30 a 40 cms).

2) Flujos de detritos procedentes principalmente de las laderas al Este de la cuenca media, asociados a rocas de composición gneísica y augengneísica en zonas cuyas pendientes de 40° a 70° coinciden con la foliación de la formación rocosa. Es por esto, que se encuentran relacionados con los deslizamientos planares que se observan en la cuenca alta, los cuales también generan este tipo de flujos en forma de depósitos laterales en las zonas con disminución de la pendiente.

La cuenca alta, además de los deslizamientos planares que solo se observan al Este, fue afectada por cárcavas de erosión por flujos concentrados, producto de la alteración antrópica de los suelos en las zonas de cultivo.

De todo el material removido en la cuenca, se determinó que el volumen de sedimentos depositados en la zona del abanico de Macuto fue de aproximadamente  $8,21 \times 10^5 \text{m}^3$ , es decir, un 63% de todo el material removido en la cuenca, de los cuales  $3,6 \times 10^4 \text{m}^3$  pertenecen al ápice y los  $7,85 \times 10^5 \text{m}^3$  restantes se encuentran distribuidos a lo largo del abanico proximal, medio y distal, sin tomar en cuenta el volumen represado por la vegetación en las laderas y el depositado en el mar o desplazado por las corrientes marinas.

En general, estos materiales presentan mal escogimiento debido a la heterogeneidad provocada por el medio de transporte, en este caso, los flujos de detritos, estableciéndose así un total de 4 facies sedimentarias definidas según sus características físicas y texturales: Gms, Gm, Sh y F, en donde las facies Gms y Gm son las indicadoras de los momentos de mayor energía, y la facies Sh las inundaciones posteriores. Por lo tanto, se concluye

que la zona de Macuto fue afectada por dos eventos de flujos torrenciales importantes.

Al observar la distribución de la facies Gm, se evidenció un desplazamiento del canal principal del flujo de detritos en sentido este-oeste, ocurrido por la colmatación del mismo. La dirección del desplazamiento del canal hacia el oeste y no hacia el este, se debe al hecho de que el cauce original del río fue desviado.

La litología encontrada en el tramo del cauce de Río Escondido en la zona de la cuenca media, presenta cuatro sub-unidades litológicas: gneis plagioclásico, gneis anfibólico, esquistos plagioclásico y cloritocita; las cuales evidencian la variación mineralógica y textural típica de los cinturones metamórficos en la facies de los esquistos verdes correspondientes a la zona de la clorita y zona de la biotita, de intermedia a baja P, respectivamente.

En cuanto a la geología estructural de la cuenca, el mapa correspondiente muestra que en un contexto local, la zona ha sido afectada principalmente por cuatro patrones de fallas con las siguientes orientaciones:

- 1) E-W (sistema de fallas de San Sebastián y falla de Macuto).
- 2) N30°-60°W (falla de Chacaito).
- 3) N10°E-10°W.
- 4) N45°-75°E.

En donde se puede observar que las fallas con orientación E-W como la falla de San Sebastián y de Macuto corresponden al cizallamiento tipo D, según el modelo de WILCOX (1973) y la falla de Chacaito con su orientación N40°-50°W corresponden a las fracturas tipo R' del mismo modelo.

## 15 RECOMENDACIONES

- Realizar controles de campo de las actuales zonas de acumulación de bloques en donde se coloquen marcas fácilmente localizables encima de las rocas y ubicarlos en mapas preferiblemente a escala 1:5.000 o por GPS (en los lugares que se pueda), con la finalidad de evaluar la capacidad de movimiento de dichos materiales durante momentos de lluvias excepcionales.
- Estudio más detallado de los perfiles de suelo para determinar las características físico-químicas del mismo, así como el grado de meteorización, para poder relacionar estos aspectos con la generación de movimientos de masa.
- Crear capas temáticas en mapas de la cuenca de las características de suelos y relacionarlo con las características litológicas y grado de meteorización para predecir posibles zonas de amenaza.
- Realizar mapas de amenaza para la cuenca del Río San José de Galipán para la cuenca alta, media y baja, debido a la presencia de grandes zonas pobladas que se pueden ver afectados.

## 16 BIBLIOGRAFÍA

- ANÓNIMO 1979. *A color illustrated guide to constituentes, textures, cements and porisites of sandstones and associated rocks*. U.S geological survey. Tulsa, Oklahoma, U.S.A. AAPG Memoria 28.
- ARANGUREN A. 1996. *Reconocimiento geológico de la Quebrada El Encantado, Parque Nacional El Ávila* Trabajo Especial de Grado, Departamento de Geología, Escuela de Geología, Minas y Geofísica, Universidad Central de Venezuela, Venezuela. Inédito. 103 p.
- AGUERREVERE S. E. & G. ZULOAGA. 1937. *Observaciones geológicas en la parte central de la Cordillera de la Costa, Venezuela, Bol. Geol. y Min., Caracas*.1(2-4):3-22.
- AGUIRRE J & MONCADA A 1999. *Regimenes en el flujo de barros y escombros. Ingeniería Hidráulica en México* . 14(1):5-12.
- ARISMENDI, J; SALCEDO, R & VARELA, D 2000. *Geomorfología actual y cobertura natural de la vertiente norte de la Cordillera de la Costa afectada por el evento hidrometeorológico de diciembre 1999, a partir de la interpretación de imágenes de satélite, Josea@fii.org , ramiros@fii.org , darvisv@fii.org* FIL-CPDI. Apartado 40.200- Caracas, 1040-A, Venezuela.
- ANBALAGAN, R & SING, B 2001. *Landslide Hazard and Risk Mapping in the Himalaya*. En *Landslide hazard mitigation in the Hindu-Kush-Hyimalayas*, pp. 163-201.



- AZPIRITXAGA I. 1979. *Estudio geológico de una zona ubicada en la parte central de la Cordillera de La Costa, flanco norte*. Trabajo Especial de Grado, Departamento de Geología, Escuela de Geología, Minas y Geofísica, Universidad Central de Venezuela, Venezuela. Inédito. 213p.
- BAENA J. 1998. *Reconocimiento geológico de la cuenca del río Tacamahaca, Parque Nacional El Ávila*. Trabajo Especial de Grado, Departamento de Geología, Escuela de Geología, Minas y Geofísica, Universidad Central de Venezuela, Venezuela. Inédito. 95 p.
- BARBOZA, L. & RODRIGUEZ, S. 2001. *Integración de la geología del estado Vargas y del flanco sur del macizo del Ávila al norte de Caracas*. Trabajo Especial de Grado, Departamento de Geología, Escuela de Geología, Minas y Geofísica, Universidad Central de Venezuela, Venezuela. Inédito, 319 p + anexos.
- BLAIR, T & McPHERSON, 1994. *Alluvial fans and their natural distinction from rivers based on morphology, hydraulic processes, sedimentary processes and facies assemblages*. Jour of Sed. Research , **A 64(3)**: 450-489.
- BLISSENBACH, E. 1954. *Geology of alluvial fans in semiarid regions*, Bull. of the G.S.A., 65: 175-189.
- BOGGS, S. Jr. 1995. *Principles of sedimentology and stratigraphy*. Ed. 2, Prentice Hall, N.J., 773 p.
- BOUSSINGAULT J. 1974. *Memorias*. J. A. Catalá Editor, Caracas, 315 p.
- BRANDES, H. 2000. *The Venezuela flash floods and debris flows of 15-16 December 1999*: Landslide News, Japan Landslide Soc., 13: 5-7.

- BULL, W.B. 1964. *Alluvial fans and near-surface subsidence in western Fresno County, California*. U.S. Geol. Surv., Prof. Pap., 437-A:A1-A71.
- CANO, B. & MELO, L. 2001. *Reconocimiento geológico entre las cuencas de Quebrada Seca y Río Care, estado Vargas*. Trabajo Especial de Grado, Departamento de Geología, Escuela de Geología, Minas y Geofísica, Universidad Central de Venezuela, Venezuela. Inédito, 154 p + anexos.
- CASTILLO, A & SUÁREZ, J. 2001. *Reconocimiento geológico de la región Anare - Osma, vertiente norte del macizo del Ávila, estado Vargas*. Trabajo Especial de Grado, Departamento de Geología, Escuela de Geología, Minas y Geofísica, Universidad Central de Venezuela, Venezuela. Inédito, 159 p + anexos.
- COLLINSON, J.D. 1996. *Alluvial Sediments*. In: Reading, H. G. (ed.) *Sedimentary environments: Processes, facies and stratigraphy*. Blackwell Sciences, Oxford, pp. 37-82.
- COUSSOT, P 1996. *Les laves torrentielles, connaissances à l' usage du praticien*. 1era.Ed., Cemagref, Saint-Martin, 177p.
- COSTA, J.E. 1984. *Physical geomorphology of debris flows*. In: Costa, J.E., and Fleisher, P.J.eds. *Developments and Applications of Geomorphology*. Berlin, Springer-Verlag, pp. 268-317.
- COSTA, J.E. 1988. *Rheologic, geomorphic and sedimentologic differentiation of water floods, hiperconcentrated flows and debris flows*. En: V.R. Baker, R.C. Kochel & P.C. Patton eds., *Flood Geomorphology*. Wiley, N.Y., pp 113-121.
- DENGO G. 1951. *Informe geológico sobre el proyecto de autopista Caracas - La Guaira*. Rev. Fomento, Caracas, 9-10(69): 133-154.

- DIKAU, R ., SCHROTT, L & IBSEN. 1996. *Landslide recognition: Identification, movement and causes*. Publication of the International Association of Geomorphologist, N 5, Wiley, 251 p.
- FANTI O., L. FRONTADO, & A. VECCHIO. 1980. *Tectónica y sismicidad de área de Caracas y sus alrededores*. . Trabajo Especial de Grado, Departamento de Geología, Escuela de Geología, Minas y Geofísica, Universidad Central de Venezuela, Venezuela. Inédito. 132p.
- FOLK, R. L. 1953. *The distinction between grain size and mineral composition in sedimentary rock nomenclature*. Jour. Geol., **62**: 334-359.
- GRIJALVA, J 2003. *Ambientes fluviales*. Universidad de Sonora. Disponible: <http://www.geologia.uson.mx/academicos/grijalva/ambientesfluviales/sistemasebanics>. [Consulta : 2003, mayo 25]
- HERNÁNDEZ, David P. 2000. *Procesos geomórfico-fluviales asociados al evento catastrófico del estado Vargas, Venezuela, Diciembre 1999*. Ministerio del Ambiente y los Recursos Naturales.
- HERNANDEZ, E. 2000. *Debris and mud Flows, Vargas State, Venezuela, Store of 15 and 16 December 1999*. Watershed Management Unit, College of Forestry and Environmental Sciences, University of Andes. Mérida, Venezuela.
- HOOKE, R.L. 1967. *Processes on arid-region alluvial fans*. Jour. of Geol., **75**: 438-460.
- HUBER, O. 1984. *Mapa de vegetación de Venezuela*. Oscar Todtmann eds, Caracas, s/p.

- HÜBL, J & STEINWENDTNER, H. 2001. *Debris Flow hazard assessment and risk mitigation*. FELSBAU 18.
- HUMBOLDT A. 1991. *Viaje a las regiones equinocciales del viejo continente*. Monte Ávila Editores, Caracas, Tomo II, 458 p.
- HUTCHINSON J. N. 1968. *Mass Movement*. Encyclopedia of Geomorphology. Reinhold New York, pp. 688-695.
- HUTCHINSON J.N. 1988. *Morphology and geotechnical parameters of landslides in relation to geology and hydrogeology*. Fifth International Symposium on landslides, Lausanne, pp. 3-35.
- JOHNSON, A.M. 1970. *Formation of debris flow deposits*. In: *Physical Processes in Geology*. San Francisco, Freeman Cooper, pp. 433-448.
- JOHNSON, A.M. 1984.. *Debris flow*. En: *Slope instability*. (Brunsden, D & D.B. Prior, eds). Wiley N.Y. pp 257-361.
- JULIEN, P & LEÓN, C. 2000. *Mud floods, mudflows and debris flows classification, rheology and structural design*. Colorado State University, Fort Collins. CD de la SVG- Sociedad Venezolana de Geólogos. Foro litoral central: Geología, geomorfología y Procesos asociados
- KERR, P 1959. *Optical mineralogy*. 3<sup>rd</sup> edition. Mc Graw-Hill Company INC. New York.
- KRUMBEIN, W.C. 1934. *Size frequency distributions of sediments*. Jour. Sed. Petrol., **4**: 65-77.

\_\_\_\_\_ 1941. *Measurement and geological significance of shape and roundness of sedimentary particles*: Jour. Sed. Petrol., **11**: 64-72.

\_\_\_\_\_ & L.L. SLOSS 1963. *Stratigraphy and sedimentation*. W.H. Freeman, San Francisco, 600 p.

\_\_\_\_\_ & L.L. SLOSS 1963. *Estratigrafía y sedimentología*. 2<sup>da</sup> edición. UTEHA. México D.F. 479 p.

LA FORTUNE, L 2002. *Sedimentación de abanicos aluviales en el Litoral Central: Los Corales*. Trabajo Especial de Grado, Departamento de Geología, Escuela de Geología, Minas y Geofísica, Universidad Central de Venezuela, Venezuela. Inédito, 234 p + anexos.

LAWSON, A.C. 1913. *The petrographic designation of alluvial fan formations*. Univ. Calif. Pub., Dept. Geology, Bull. **7**: 325-334.

MAQUAIRE, O. 2002. *Mémoire de reserche, Aléas geomorphologiques ( Mouvents de terrain)*. Maître de Conférences-Faculté de Géographie : Université Louis Pasteur. Strasbourg.

MELO, L. 2002. *Landslide hazard zonation map (1:25.000 scale) in San Jose de Galipan Basin, Avila Range, Venezuela*. Venezuelan Foundation for Seismological Research, FUNVISIS. Volcanology and Sabo Engineering Course. Japan International Cooperation Agency (JICA).

MENÉNDEZ A. 1966. *Tectónica de la parte central de las montañas occidentales del Caribe, Venezuela*. Bol. de Geol. 8(15):154-155.

MORRIS, G .1997. *Reservoir Sedimentation Handbook*. Editorial Mc Graw- Hill, New York, 1000 p.

NAVARRO, L 1997. *Guía de sedimentología*. Inédito. Escuela de Geología, Minas y Geofísica. Departamento de Geología.

NIETO, G 2003. *Geología de la cuenca San José de Galipán y la Quebrada Alcantarilla, flanco Norte del Ávila, estado Vargas*. Trabajo Especial de Grado, Departamento de Geología, Escuela de Geología, Minas y Geofísica, Universidad Central de Venezuela, Venezuela. Inédito, 145 p + anexos.

O'BRIEN, J; JULIEN P &. FULLERTON, W.T. 1993. *Two-dimensional water flood and mudflow simulation*, J. of Hyd. Eng., ASCE, 119(2), pág 244-259.

OSTOS M. 1990. *Evolución tectónica del margen sur-central del Caribe basado en datos geoquímicos*. Geos, Caracas, (30): 1-294.

\_\_\_\_\_. & E. Navarro. 1986. Faja de Villa de Cura. ¿Realmente un complejo de arco de isla alóctono?. *Mem. VI Congreso Geológico Venezolano*, Caracas, 10: 6615-6637.

\_\_\_\_\_. 1982. *Geología de una zona ubicada entre la autopista Caracas-La Guaira y el estribo Galindo, Parque Nacional El Ávila, D.F.* UCV. Escuela de Geología, Trabajo de ascenso. Inédito. 279 p.

HUNGR, O 2004. *Classification and terminology*. Capítulo 2 de Debris flow and debris avalanches: The State of the Art. Springer-Verlag.

PARISE, W. 2001. *Landslide mapping techniques and their use in the assesment of the landslide hazard*. Elsevier science Ltd. Vol 26, N° 9, pp 697-703.

PHILIPS, A. 1988. *Earth surface procsses*. Blockwell Science. pp 211-226.

- POL, J. 2003. *Les Laves Torrentielles de Decembre 1999 Sur la Côte Venezuelienne: Aleas Hydrogeomorphologiques, Analyse et Representation, aplicacion au bassin experimental du San José de Galipán, Etat de Vargas, Venezuela. Spécialité 3 : Processus de transferts à l'interface sol/atmosphère. Inédito. Université Louis Pasteur, Strasbourg.*
- POWERS, M 1953. *A new roundness scale for sedimentary particles.* Jour. Sed. Petrol, volumen 23. pp 117-119.
- REINECK, H & Sing, I 1973. *Depositional sedimentary environments.* Springer-Verlag. New York. 440 p.
- RÍOS D. 1989. *Geología de un segmento de la Cordillera de la Costa entre Macuto y Naiguatá y los Ocumitos-Turgua, Distrito Federal y estado Miranda.* Trabajo Especial de Grado, Departamento de Geología, Escuela de Geología, Minas y Geofísica, Universidad Central de Venezuela, Venezuela. 283 p.
- RODINE, J.D. & A.M. JOHNSON 1976. *The ability of debris heavily freighted with coarse clastic materials to flow on gentle slopes.* Sedimentology. **23**: 213-34.
- RODRIGUEZ, J; URBANI, F & AUDEMARD, F. 2002. *El macizo del Ávila, geología y procesos de agradación ocurridos en diciembre 1999.* CD GEOS 35. pp. 4-12.
- RODRIGUEZ, J; URBANI, F; AUDEMARD, F & STOCKHAUSSEN, H. 2000. *La geología del macizo del Ávila y los deslizamientos ocurridos en diciembre 1999.* FUNVISIS-KANAGAGUA UNIVERSITY.
- RÖHL, E. 1950. *Los Diluvios en las Montañas de la Cordillera de la Costa.* Bol. de la Academia de Ciencias Físicas, Matemáticas y Naturales, Venez., **38**: 1-28.

- SABINO I. 1995. *Geología del flanco sur del pico Naiguatá, Parque Nacional El Ávila, estado Miranda, Venezuela Caracas*. Trabajo Especial de Grado, Departamento de Geología, Escuela de Geología, Minas y Geofísica, Universidad Central de Venezuela, Venezuela. 209 p.
- SALCEDO D. 2000. *Los flujos torrenciales catastróficos de diciembre de 1999, en el estado Vargas y en el Área Metropolitana de Caracas*. XVI Seminario Venezolano de Geotecnia. Calamidades geotécnicas urbanas con visión al siglo XXI. Caracas, 127-193
- SANCIO R. 2000. *Algunos aspectos científicos relacionados con el fenómeno hidrometeorológico de diciembre de 1999 en el estado Vargas*. Los aludes torrenciales de diciembre de 1999 en Venezuela, Jornadas de Investigación de la Facultad de Ingeniería, UCV, Caracas.
- SARDI, V. 2000. *Inundaciones del Litoral Central de Venezuela – Escala de magnitudes. Los aludes torrenciales de diciembre de 1999 en Venezuela*, Jornadas de Investigación de la Facultad de Ingeniería, UCV, Caracas.
- SINGER, A 2000. *Áreas fuente, trayectorias y sectores de expansión de los aludes torrenciales ocurridos en el litoral central los días 15 y 16 de diciembre de 1999*. Foro Litoral Central: Geología, geomorfología y procesos asociados. Sociedad Venezolana de Geólogos. (CD ROM).
- SUÁREZ, D J 1999. *Control de erosión en zonas tropicales*. Ediciones Universidad Central de Santander, Bucaramanga Colombia, 555 p.



- SUÁREZ, D J 2001. *Control de erosión en zonas tropicales*. 2<sup>da</sup> Edición. Ediciones Universidad Central de Santander, Bucaramanga Colombia, 555 p.
- SKEMPTON A.W. & HUTCHINSON J.N. 1969. *Stability of Natural Slopes and Embankment Foundations*. Seventh International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering Ciudad de Mexico. State of the art. Volume 2, pp. 291-340.
- TROXELL, H.C. 1942. *Floods of March 1938 in southern California*. U.S. Geology Surv. Water-Supply Paper 844, 399p.
- URBANI, F 2000. *Revisión de las unidades de las rocas ígneas y metamórficas de la cordillera de la costa, Venezuela*. GEOS 33. pp 1-170.
- URBANI, F. 2002-a. *Consideraciones geológicas de la catástrofe del estado Vargas de diciembre de 1999*. GEOS 35, p 13-22.
- URBANI, F. 2002-b. *El río Miguelena de Camurí Grande, estado Vargas: Una ventana a la geología de la Cordillera de la Costa*. Guía de Excursión. Ediciones Sociedad Venezolana de Geólogos. Caracas.
- UZCÁTEGUI R. 1997. *Geología del flanco sur de la Silla de Caracas, Parque Nacional El Ávila*. Trabajo Especial de Grado, Departamento de Geología, Escuela de Geología, Minas y Geofísica, Universidad Central de Venezuela, Venezuela. 104 p.
- VAUGHAN, F.E. 1922. *Geology of the San Bernardino Mountains north of San Gorgonio pass, California*. Calif. Univ., Dept. Geol. Sci., Bull, **13**(9): 319-411.

- VARNES D.J. 1958. *Landslides types and processes*. Special report 29: Landslides and engineering practice (E.B. Eckel, ed.) HRB, National Research Council, Washington, D.C., pp. 20-47.
- VARNES D.J. 1978. *Slope movement types and processes*. Special report 176: Landslides: Analysis and control (R.L. Schuster and R.J. Krizek, eds.), TRB, National Research Council, Washington, D.C., pp.11-33.
- WALKER, R & JAMES, N. 1992. *Facies Models, Response to sea level change*. Geological Association of Canada.
- WAN, X & CHIEN, N. 1989. *Turbulence characteristics of sediment-laden flow*. J. Hydraulic Engineering, ASCE pp 781-800.
- WEHRMANN, M. 1972. *Geología de la región Guatire-Colonia Tovar*. Bol. Geol., Public.Esp. 5 (4): 2093-2121.
- WIECZORECK, G. et al. 1997. *Debris-Flow hazards migration: mechanics production and assessment*. ASCE. New York.
- WIECZORECK, G. et al. 2000. *Trabajo fotográfico de campo realizado en el estado Vargas USGS-MARN*. CD GEOS 35.
- WIECZORECK, G. et al. 2000. *Debris-Flow hazards migration: mechanics, prediction, and assessment. Proceeding of the second International Conference on Debris-Flow hazards mitigation/Taipei/Taiwan/16-18 August 2000*. Ediciones A.A Bakelma, Rotterdam/Brookfield, 608 p.
- WIECZORECK, G. et al. 2002 USGS, *Science for a changing world. Debris-Flow and flooding deposits in coastal Venezuela asociated wiht the storm of december 14-16, 1999*. Geologic Investigations Series Map 1-2772.

WILCOX R., T. HARDING & D. SEELY. 1973. *Basic wrench tectonics*. Amer. Assoc. Petro. Geol. Bull. **Vol. 57, N° 1**, 74-96.

WOLMAN, M. 1954. *A method of sampling coarse river-bed material*. American Geophysical Union, Vol 35, N°6. pp 951-956.

ZINCK, J (1997, septiembre 24-26). *Riesgos ambientales. Enfoque para la modelización de la erosión por cárcavas y movimientos de masa*. Ponencia presentada en el 50 Aniversario de la Sociedad Española de la Ciencia del Suelo. pp 283-297.

ZINGG, T H. 1954. *Bieträge zur schotterraanalyse: Schweiz, Mineralog. Petrog. Mitt*, **15**: 39-140.

**ANEXO 1**

- Mapa de sedimentos en el cono de Macuto. Escala 1:5.000.
- Mapa geológico-estructural de la cuenca de San José de Galipán. Escala 1:5.000.
- Mapa de la geodinámica superficial de la cuenca de San José de Galipán. Escala 1:5.000.







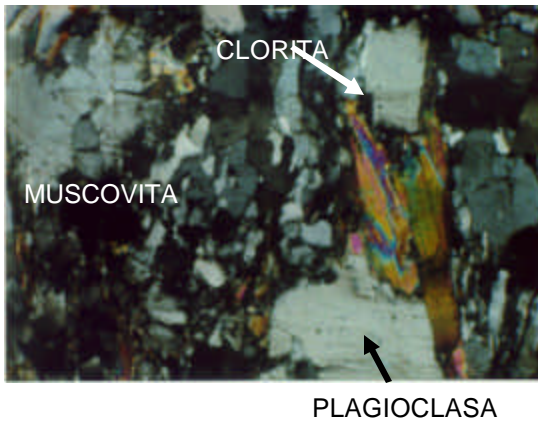
**ANEXO 2**

- Fotografías de secciones finas vistas en el microscopio petrográfico.



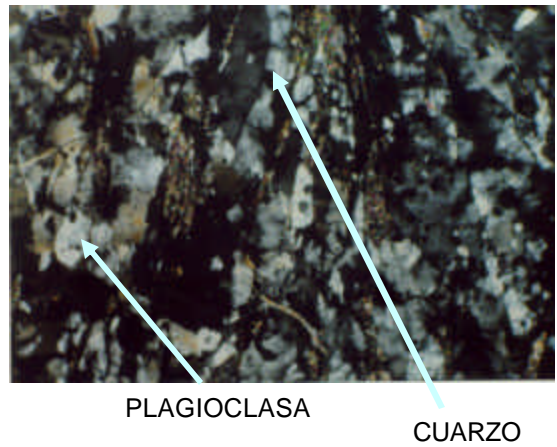
**Gneis plagioclásico**

RE-14



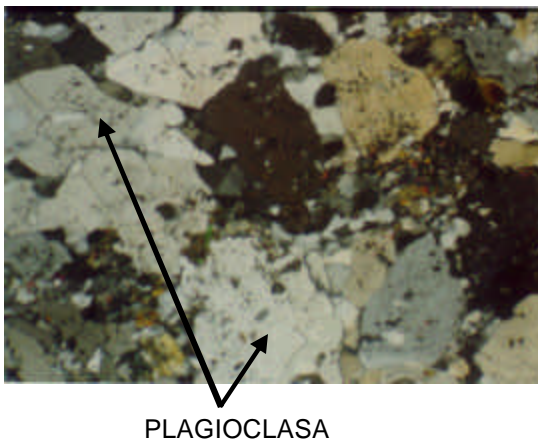
**Gneis plagioclásico**

RE-17



**Gneis plagioclásico**

RE-10



**Cloritocita**

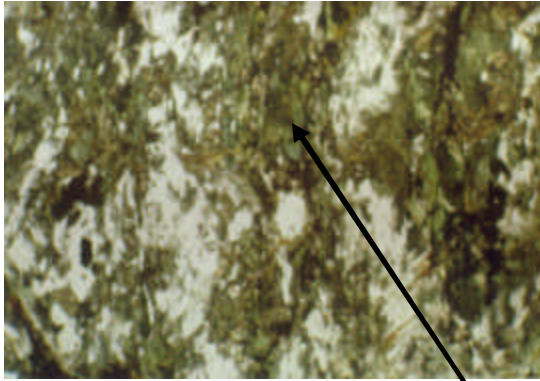
RE-15



La raya negra representa una escala de aproximadamente 2,26 mm.

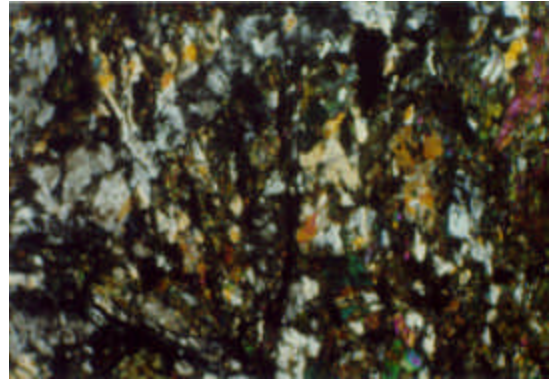
**Gneis anfibólico**

RE-24



**Gneis anfibólico**

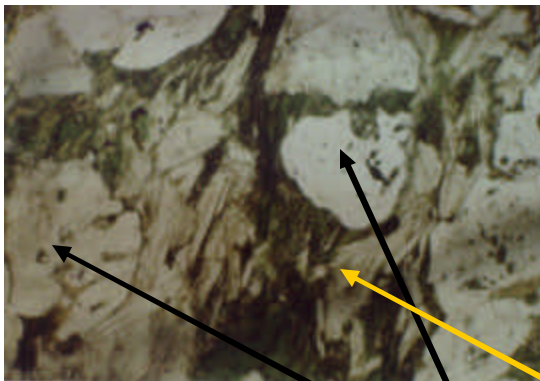
RE-24



HORBLENDA

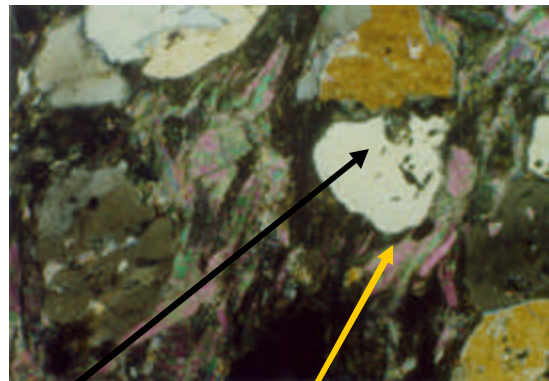
**Esquisto plagioclásico**

RE-13



**Esquisto plagioclásico**

RE-13



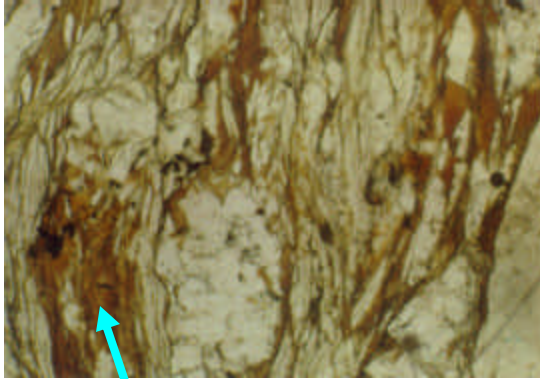
PLAGIOCLASA

MUSCOVITA

La raya negra representa una escala de aproximadamente 2,26 mm.

**Esquisto plagioclásico**

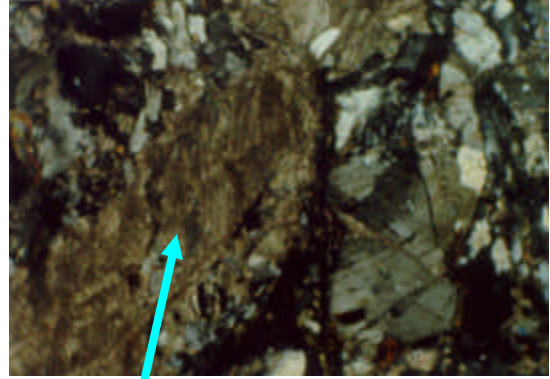
RE-18



BIOTITA

**Esquisto plagioclásico**

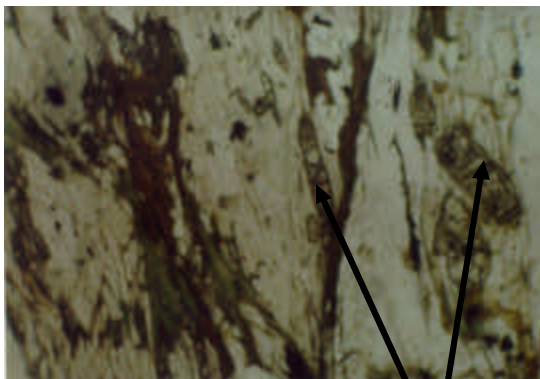
RE-18



CALCITA

**Esquisto plagioclásico**

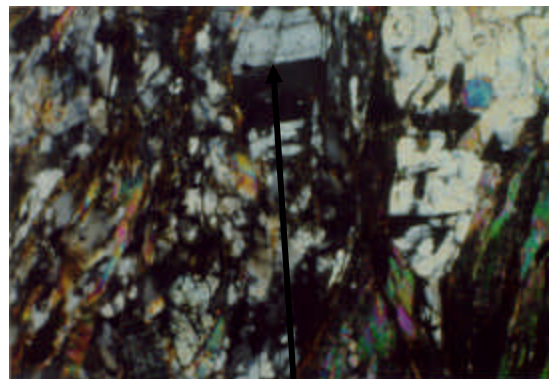
RE-26



EPIDOTO

**Esquisto plagioclásico**

RE-26



PLAGIOCLASA

La raya negra representa una escala de aproximadamente 2,26 mm.

### ANEXOS 3

- **Tabla A.** Espesores en cada uno de los puntos estudiados en el abanico de Macuto.
- **Tabla B.** Percentiles, en donde el valor  $\phi$  es el logaritmo de base dos negativo del diámetro (mm) de la partícula. FRIEDMAN (1979).
- **Tabla C.** Medias y medianas de los sedimentos estudiados de la cuenca de San José de Galipán.
- **Tabla D.** Escogimiento, Curtosis y asimetría obtenida en los sedimentos estudiados de la cuenca de San José de Galipán.
- **Tabla E.** Modalidad obtenida en los sedimentos estudiados de la cuenca de San José de Galipán.
- **Tabla F.** Diaclasamiento en el ápice del abanico de Macuto.
- **Tabla G.** Diaclasamiento en quebradas cercanas al ápice y en la confluencia.
- **Tabla H.** Diaclasamiento en el tramo de Río Escondido ubicado en la cuenca media.
- **Tabla I.** Diaclasamiento en la cuenca alta.
- **Tabla J.** Características morfológicas de los sedimentos estudiados en el abanico de Macuto.
- **Tabla K.** Porcentaje de gravas-arenas y limos para cada sedimento estudiado de la cuenca.

Tabla A. Espesores en cada uno de los puntos estudiados en el abanico de Macuto.

PUNTO	ESPESOR DE SEDIMENTO (m.)	PUNTO	ESPESOR DE SEDIMENTO (m.)	PUNTO	ESPESOR DE SEDIMENTO (m.)
1	2,5	21	4	41	1,3
2	6	22	4,25	42	2,1
3	3	23	5	43	1,8
4	4	24	2,1	44	1,7
5	3	25	2,3	45	2,6
6	2,63	26	3,5	46	3
7	3	27	3	47	3
8	3,8	28	2,28	48	3
9	3,2	29	2,7	49	3
10	4	30	2,3	50	3
11	3,2	31	1,8	51	2,6
12	3,2	32	2,2	52	3
13	3,6	33	2,2	53	3,3
14	3,2	34	2,2	54	3,7
15	2,77	35	3	55	2,4
16	4,8	36	2,46	56	2,4
17	2,66	37	2,2	57	2,4
18	4	38	2,6	N	5,5
19	3,2	39	1,8	I	2,85
20	3,15	40	1	U	3,4

Tabla B. Percentiles, en donde el valor  $\phi$  es el logaritmo de base dos negativo del diámetro (mm) de la partícula. FRIEDMAN (1979).

MUESTRA	$\phi$ 5	$\phi$ 16	$\phi$ 25	$\phi$ 50	$\phi$ 75	$\phi$ 84	$\phi$ 95	MUESTRA	$\phi$ 5	$\phi$ 16	$\phi$ 25	$\phi$ 50	$\phi$ 75	$\phi$ 84	$\phi$ 95
MAC01	-0,90	-0,20	0,13	1,12	2,10	2,60	3,81								
MAC02	-1,31	-1,03	-0,81	0,00	1,60	2,31	3,95	MAC29	-2,72	-2,01	-1,61	-0,20	0,99	1,50	2,95
MAC03	-2,90	-2,63	-2,39	-1,42	0,38	2,01	4,09	MAC30	-2,48	-1,51	-1,09	-0,19	0,89	1,52	3,51
MAC04	1,67	1,98	2,20	2,70	3,33	3,63	4,19	MAC31	-2,89	-2,65	-2,31	-1,00	0,32	1,06	2,85
MAC05	1,65	2,08	2,31	2,92	3,51	3,80	4,25	MAC32	-2,90	-2,70	-2,50	-1,38	0,39	1,10	2,91
MAC06	-2,31	-0,95	-0,20	1,01	1,92	2,40	3,47	MAC33	0,60	0,90	1,12	1,77	2,55	2,99	3,70
MAC07	-2,90	-2,72	-2,55	-1,19	1,01	1,65	3,00	MAC34	-2,90	-2,50	-2,20	-1,20	0,28	1,00	2,50
MAC08	-2,79	-2,10	-1,50	-0,16	1,40	1,82	2,30	MAC35	-2,25	-1,50	-1,01	0,00	1,00	1,50	2,62
MAC09	-1,60	-0,87	-0,21	0,90	1,42	1,76	2,42	MAC36	-2,80	-2,29	-1,79	-0,07	1,80	2,60	3,90
MAC10	-2,37	-1,83	-1,47	-0,61	0,60	1,00	1,57	MAC37	-2,90	-2,50	-2,12	-0,83	0,60	1,40	3,43
MAC11	0,22	0,82	1,10	1,78	2,40	2,72	3,33	MAC38	-2,20	-1,10	-0,70	0,11	1,08	1,69	3,56
MAC12	-0,30	0,57	0,85	1,52	2,27	2,63	3,50	MAC39	-2,70	-0,92	-0,37	0,59	1,61	2,25	3,54
MAC13	-2,85	-2,50	-2,19	-1,01	0,52	1,29	3,01	MAC40	-2,81	-2,42	-2,11	-1,20	0,40	1,22	3,48
MAC14	-2,83	-2,48	-2,12	-1,23	-0,05	0,66	3,00	MAC41	-2,85	-2,50	-2,20	-1,15	0,30	1,00	2,65
MAC15	-2,90	-2,70	-2,48	-1,25	1,28	2,30	3,82	MAC42	-2,90	-2,78	-2,59	-1,35	0,29	1,20	2,52
MAC16	-2,92	-2,80	-2,72	-2,09	-0,40	0,93	3,59	MAC43	-2,95	-2,80	-2,70	-2,02	-0,12	0,90	2,46
MAC17	-2,90	-2,75	-2,53	-1,02	0,89	2,20	3,85	MAC44	-2,91	-2,78	-2,59	-1,49	-0,13	0,50	1,70
MAC18	-2,92	-2,74	-2,60	-0,26	1,79	2,90	4,10	MAC45	-2,92	-2,88	-2,78	-2,30	-0,18	0,79	2,23
MAC19	0,65	1,50	1,88	2,82	3,72	4,00	4,32	MAC46	-2,90	-2,80	-2,61	-1,65	0,09	0,85	2,65
MAC20	-2,22	-1,21	-0,58	1,00	2,52	3,32	4,10	MAC47	-2,50	-1,80	-1,21	0,88	1,88	2,29	3,09
MAC21	-0,58	0,30	0,53	1,32	2,11	2,50	3,52	MAC48	-2,90	-2,71	-2,50	-1,10	0,78	1,30	2,50
MAC22	2,56	3,42	3,60	3,91	4,20	4,30	4,42	MAC49	-2,69	-1,60	-1,00	0,38	1,50	2,46	3,21
MAC23	-2,70	-2,15	-1,73	-0,65	0,71	1,41	2,98	RE01	-2,79	-2,73	-2,55	-1,19	0,80	1,84	3,60
MAC24	-2,50	-0,79	-0,18	0,88	1,68	2,08	2,94	RE02	-2,72	-2,15	-1,65	-0,53	0,95	1,44	3,01
MAC26	1,61	2,45	2,72	3,31	3,89	4,11	4,33	SJ0625	-2,85	-2,20	-1,58	-0,24	0,86	1,32	2,52
MAC27	-1,70	-0,11	0,45	1,31	2,20	2,61	3,50	SJ1025	-2,82	-2,48	-2,10	-0,70	1,15	1,90	3,19
MAC28	-0,72	0,67	1,00	1,89	2,80	3,20	3,90	SJ0226	-2,82	-2,50	-1,70	0,20	2,20	3,00	3,86

Tabla C. Medias y medianas de los sedimentos estudiados de la cuenca de San José de Galipán.

MUESTRA	Md $\phi$	TAMAÑO DE GRANO	MZ	TAMAÑO DE GRANO
MAC01	1,12	Arenas medias	1,17	Arenas medias
MAC02	0,00	Arenas gruesas	0,43	Arenas gruesas
MAC03	-1,42	Gránulos	-0,68	Arenas muy gruesas
MAC04	2,70	Arenas finas	2,77	Arenas finas
MAC05	2,92	Arenas finas	2,93	Arenas finas
MAC06	1,01	Arenas medias	0,82	Arenas gruesas
MAC07	-1,19	Gránulos	-0,75	Arenas muy gruesas
MAC08	-0,16	Arenas muy gruesas	-0,15	Arenas muy gruesas
MAC09	0,90	Arenas gruesas	0,60	Arenas gruesas
MAC10	-0,61	Arenas muy gruesas	-0,48	Arenas muy gruesas
MAC11	1,78	Arenas medias	1,77	Arenas medias
MAC12	1,52	Arenas medias	1,57	Arenas medias
MAC13	-1,01	Gránulos	-0,74	Arenas muy gruesas
MAC14	-1,23	Gránulos	-1,02	Arenas muy gruesas
MAC15	-1,25	Gránulos	-0,55	Arenas muy gruesas
MAC16	-2,09	Gránulos	-1,32	Gránulos
MAC17	-1,02	Arenas muy gruesas	-0,52	Arenas muy gruesas
MAC18	-0,26	Arenas muy gruesas	-0,03	Arenas gruesas
MAC19	2,82	Arenas finas	2,77	Arenas finas
MAC20	1,00	Arenas finas	1,04	Arenas medias
MAC21	1,32	Arenas finas	1,37	Arenas medias
MAC22	3,91	Arenas muy finas	3,88	Arenas muy finas
MAC23	-0,65	Arenas muy gruesas	-0,46	Arenas muy gruesas
MAC24	0,88	Arenas gruesas	0,72	Arenas gruesas
MAC26	3,31	Arenas muy finas	3,29	Arenas muy finas
MAC27	1,31	Arenas medias	1,27	Arenas medias
MAC28	1,89	Arenas medias	1,92	Arenas medias
MAC29	-0,20	Arenas muy gruesas	-0,24	Arenas muy gruesas
MAC30	-0,19	Arenas muy gruesas	-0,06	Arenas gruesas
MAC31	-1,00	Arenas muy gruesas	-0,86	Arenas gruesas
MAC32	-1,38	Gránulos	-0,99	Arenas muy gruesas
MAC33	1,77	Arenas medias	1,89	Arenas medias
MAC34	-1,20	Gránulos	-0,90	Arenas muy gruesas
MAC35	0,00	Arenas gruesas	0,00	Arenas gruesas
MAC36	-0,07	Arenas muy gruesas	0,08	Arenas gruesas
MAC37	-0,83	Arenas muy gruesas	-0,64	Arenas muy gruesas
MAC38	0,11	Arenas medias	0,23	Arenas gruesas
MAC39	0,59	Arenas gruesas	0,64	Arenas gruesas
MAC40	-1,20	Gránulos	-0,80	Arenas muy gruesas
MAC41	-1,15	Gránulos	-0,88	Arenas muy gruesas
MAC42	-1,35	Gránulos	-0,98	Arenas muy gruesas
MAC43	-2,02	Gránulos	-1,31	Gránulos
MAC44	-1,49	Gránulos	-1,26	Gránulos
MAC45	-2,30	Guijarros	-1,46	Gránulos
MAC46	-1,65	Gránulos	-1,20	Gránulos
MAC47	0,88	Arenas gruesas	0,46	Arenas gruesas
MAC48	-1,10	Gránulos	-0,84	Arenas muy gruesas
MAC49	0,38	Arenas gruesas	0,41	Arenas gruesas
RE01	-1,19	Gránulos	-0,69	Arenas muy gruesas
RE02	-0,53	Arenas muy gruesas	-0,41	Arenas muy gruesas
SJ0625	-0,24	Arenas muy gruesas	-0,37	Arenas muy gruesas
SJ1025	-0,70	Arenas muy gruesas	-0,43	Arenas muy gruesas
SJ0226	0,20	Arenas gruesas	0,23	Arenas gruesas

Tabla D. Escogimiento, Curtosis y asimetría obtenida en los sedimentos estudiados de la cuenca de San José de Galipán.

MUESTRA	s 1	Escogimiento	KG	Kurtosis	SKI	Asimetría
MAC01	1,41	Mal escogido	0,98	Mesocúrtica	0,10	Casi asimétrica
MAC02	1,63	Mal escogido	0,89	Platicúrtica	0,44	Muy asimétrica hacia tamaños finos
MAC03	2,22	Muy mal escogido	1,03	Mesocúrtica	0,53	Muy asimétrica hacia tamaños finos
MAC04	0,79	Moderadamente escogido	0,91	Mesocúrtica	0,15	Asimétrica hacia tamaños finos
MAC05	0,82	Moderadamente escogido	0,89	Platicúrtica	0,02	Casi asimétrica
MAC06	1,71	Mal escogido	1,12	Leptucúrtica	-0,16	Asimétrica hacia tamaños gruesos
MAC07	1,99	Mal escogido	0,68	Platicúrtica	0,36	Muy asimétrica hacia tamaños finos
MAC08	1,75	Mal escogido	0,72	Platicúrtica	-0,01	Casi asimétrica
MAC09	1,27	Mal escogido	1,01	Mesocúrtica	-0,29	Asimétrica hacia tamaños gruesos
MAC10	1,30	Moderadamente escogido	0,78	Platicúrtica	0,12	Asimétrica hacia tamaños finos
MAC11	0,95	Moderadamente escogido	0,98	Mesocúrtica	-0,01	Casi asimétrica
MAC13	1,84	Mal escogido	0,89	Platicúrtica	0,29	Asimétrica hacia tamaños finos
MAC14	1,67	Mal escogido	1,15	Leptucúrtica	0,33	Muy asimétrica hacia tamaños finos
MAC15	2,27	Muy mal escogido	0,73	Platicúrtica	0,46	Muy asimétrica hacia tamaños finos
MAC16	1,92	Mal escogido	1,15	Leptucúrtica	0,68	Muy asimétrica hacia tamaños finos
MAC17	2,26	Muy mal escogido	0,81	Platicúrtica	0,37	Muy asimétrica hacia tamaños finos
MAC18	2,47	Muy mal escogido	0,66	Muy Platicúrtica	0,18	Asimétrica hacia tamaños finos
MAC19	1,18	Mal escogido	0,82	Platicúrtica	-0,12	Asimétrica hacia tamaños gruesos
MAC20	2,09	Muy mal escogido	0,84	Platicúrtica	0,00	Casi asimétrica
MAC21	1,17	Mal escogido	1,06	Mesocúrtica	0,07	Casi asimétrica
MAC22	0,50	Moderadamente bien escogido	1,27	Leptucúrtica	-0,28	Asimétrica hacia tamaños gruesos
MAC23	1,75	Mal escogido	0,95	Mesocúrtica	0,22	Asimétrica hacia tamaños finos
MAC24	1,54	Mal escogido	1,20	Leptucúrtica	-0,20	Asimétrica hacia tamaños gruesos
MAC26	0,83	Moderadamente escogido	0,95	Mesocúrtica	-0,14	Asimétrica hacia tamaños gruesos
MAC27	1,47	Mal escogido	1,22	Leptucúrtica	-0,10	Asimétrica hacia tamaños gruesos
MAC28	1,33	Mal escogido	1,05	Mesocúrtica	-0,05	Casi asimétrica
MAC29	1,74	Mal escogido	0,89	Platicúrtica	0,04	Casi asimétrica
MAC30	1,67	Mal escogido	1,24	Leptucúrtica	0,18	Asimétrica hacia tamaños finos
MAC31	1,80	Mal escogido	0,89	Platicúrtica	0,23	Asimétrica hacia tamaños finos
MAC32	1,83	Mal escogido	0,82	Platicúrtica	0,39	Muy asimétrica hacia tamaños finos
MAC33	0,99	Moderadamente escogido	0,89	Platicúrtica	0,21	Asimétrica hacia tamaños finos
MAC34	1,69	Mal escogido	0,89	Platicúrtica	0,31	Muy asimétrica hacia tamaños finos
MAC35	1,49	Mal escogido	0,99	Mesocúrtica	0,04	Casi asimétrica
MAC36	2,24	Muy mal escogido	0,76	Platicúrtica	0,14	Asimétrica hacia tamaños finos
MAC37	1,93	Mal escogido	0,95	Mesocúrtica	0,24	Asimétrica hacia tamaños finos
MAC38	1,57	Mal escogido	1,33	Leptucúrtica	0,17	Asimétrica hacia tamaños finos
MAC39	1,74	Mal escogido	1,29	Leptucúrtica	0,00	Casi asimétrica
MAC40	1,86	Mal escogido	1,03	Mesocúrtica	0,41	Muy asimétrica hacia tamaños finos
MAC41	1,71	Mal escogido	0,90	Platicúrtica	0,31	Muy asimétrica hacia tamaños finos
MAC42	1,82	Mal escogido	0,77	Platicúrtica	0,35	Muy asimétrica hacia tamaños finos
MAC43	1,74	Mal escogido	0,86	Platicúrtica	0,62	Muy asimétrica hacia tamaños finos
MAC44	1,52	Mal escogido	0,77	Platicúrtica	0,30	Asimétrica hacia tamaños finos
MAC45	1,70	Mal escogido	0,81	Platicúrtica	0,72	Muy asimétrica hacia tamaños finos
MAC46	1,75	Mal escogido	0,84	Platicúrtica	0,46	Muy asimétrica hacia tamaños finos
MAC47	1,87	Mal escogido	0,74	Platicúrtica	-0,26	Asimétrica hacia tamaños gruesos
MAC48	1,82	Mal escogido	0,67	Muy Platicúrtica	0,27	Asimétrica hacia tamaños finos
MAC49	1,91	Mal escogido	0,97	Mesocúrtica	-0,01	Casi asimétrica
RE01	2,11	Muy mal escogido	0,78	Platicúrtica	0,41	Muy asimétrica hacia tamaños finos
RE02	1,77	Mal escogido	0,90	Platicúrtica	0,17	Muy asimétrica hacia tamaños finos
SJ0625	1,69	Mal escogido	0,90	Platicúrtica	-0,04	Casi asimétrica
SJ1025	2,01	Muy mal escogido	0,76	Platicúrtica	0,24	Asimétrica hacia tamaños finos
SJ0226	2,39	Muy mal escogido	0,70	Platicúrtica	0,06	Casi asimétrica



Tabla E. Modalidad obtenida en los sedimentos estudiados de la cuenca de San José de Galipán.

MUESTRAS UNIMODALES		MUESTRAS BIMODALES			MUESTRAS POLIMODALES			
MAC01	Arena media	MAC02	Arena muy gruesa	Limo grueso	MAC03	Gránulo	Limo grueso	Arena fina
MAC04	Arena muy fina	MAC07	Gránulo	Arena media	MAC15	Gránulo	Arena media	Limo grueso
MAC05	Arena muy fina	MAC08	Arena fina	Arena muy gruesa	MAC18	Guijarro	Arena media	Limo grueso
MAC06	Arena media	MAC09	Arena media	Arena muy gruesa	MAC42	Guijarro	Arena gruesa	Arena fina
MAC11	Arena fina	MAC10	Arena muy gruesa	Arena media	SJ0226	Guijarro	Arena media	Arena muy fina
MAC12	Arena media	MAC14	Gránulo	Limo grueso				
MAC13	Gránulo	MAC16	Gránulo	Limo grueso				
MAC19	Limos gruesos	MAC17	Guijarro	Limo grueso				
MAC21	Arena media	MAC20	Arena media	Limo grueso		ABANICO DISTAL		
MAC22	Limos gruesos	MAC31	Guijarro	Arena muy gruesa		ABANICO MEDIO		
MAC23	Gránulo	MAC36	Gránulo	Limo grueso		ABANICO PROXIMAL		
MAC24	Arena media	MAC37	Gránulo	Limo grueso		CONFLUENCIA		
MAC26	Limos gruesos	MAC38	Arena gruesa	Limo grueso		DRENAJES CUENCA MEDIA		
MAC27	Arena media	MAC39	Arena gruesa	Gránulo				
MAC28	Arena fina	MAC40	Gránulo	Limo grueso				
MAC29	Arena gruesa	MAC43	Guijarro	Arena media				
MAC30	Arena gruesa	MAC47	Arena media	Gránulo				
MAC32	Guijarro	MAC48	Guijarro	Arena media				
MAC33	Arena media	MAC49	Arena media	Arena muy fina				
MAC34	Gránulo	RE01	Gránulo	Arena muy fina				
MAC35	Arena gruesa	RE02	Arena muy gruesa	Arena media				
MAC41	Arena fina							
MAC44	Guijarro							
MAC45	Guijarro							
MAC46	Guijarro							
SJ0625	Arena gruesa							
SJ1025	Gránulo							

Tabla F. Diaclasamiento en el ápice del abanico de Macuto.

Ápice del cono de Macuto				
Numero de Afloramiento	rumbo	buzamiento	Frecuencia diaclasas/m	Tipo de roca
P0	N85W	90	1	Gneiss bandeado
P1	N15W	5N	5	Gneiss bandeado
P1	N19W	85S	5	Gneiss bandeado
P1	N82W	75N	1	Gneiss bandeado
P2	N80E	56N	1	Gneiss bandeado
P2	N20W	90	8	Gneiss bandeado
P2	N-S	90	8	Gneiss bandeado
P3	N-S	90	12	Gneiss bandeado
P4	N20W	60S	10	Gneiss bandeado
P4	N65 E	90	3	Gneiss bandeado
P5	N10E	90	9	Gneiss bandeado
P6	N40W	50N	3	Gneiss bandeado
P6	N70W	90	3	Gneiss bandeado
P7	N45W	90	4	Gneiss bandeado
P7	N85E	35N	4	Gneiss bandeado
P7	N10W	56N	3	Gneiss bandeado
P7	N50E	35N	5	Gneiss bandeado
P8	N80E	80N	2	Gneiss bandeado
P8	N45E	45N	4	Gneiss bandeado
P9	N60E	52N	4	Gneiss bandeado
P9	N55W	90	2	Gneiss bandeado
P9	N30W	90	3	Gneiss bandeado
P10	N15W	65S	3	Gneiss bandeado
P10	N40W	60N	4	Gneiss bandeado
P11	N20W	80N	1	Gneiss bandeado
P11	N80E	64S	4	Gneiss bandeado
P12	N20W	75N	1	Gneiss bandeado
P12	N15W	70N	5	Gneiss bandeado
P14	N70W	65S	8	Gneiss bandeado
P14	N10E	72S	15	Esquisto micáceo
P15	E-W	75N	8	Esquisto micáceo
P15	N15W	75N	4	Esquisto micáceo
P15	N30W	65N	6	Esquisto micáceo
P16	N10E	90	2	Esquisto micáceo

Tabla G. Diaclasamiento en quebradas cercanas al ápice y en la confluencia.

<b>Quebrada Cangrejo</b>				
<b>Numero de Afloramiento</b>	<b>rumbo</b>	<b>buzamiento</b>	<b>Frecuencia diaclasas/m</b>	<b>Tipo de roca</b>
Pc3	N50W	80N	5	Gneis
Pc3	N34E	90N	4	Gneis
Pc3	N15W	46N	3	Gneis
Pc4	N60W	56N	2	Gneis
Pc4	N50W	90N	2	Gneis
Pc4	N20E	90N	2	Gneis
Pc5	N21W	90N	5	Gneis
Pc7	N54E	21S	5	Gneis
Pc7	N16W	56S	5	Gneis
Pc7	N45W	70S	2	Gneis
Pc8	N64W	90N	8	Gneis
Pc8	N31W	57S	6	Gneis
Pc8	N40W	90N	2	Gneis
Pc8	N20W	90N	2	Gneis
Pc9	N40E	70N	6	Gneis
Pc9	N35W	50S	6	Gneis
<b>Confluencia entre río Escondido y San José de Galipán</b>				
<b>Numero de Afloramiento</b>	<b>rumbo</b>	<b>buzamiento</b>	<b>Frecuencia diaclasas/m</b>	<b>Tipo de roca</b>
0	N76E	60N	5	Augengneiss bandeado
0	N10W	71N	5	Augengneiss bandeado
0	N75W	5N	2	Augengneiss bandeado
0	N14W	85S	5	Augengneiss bandeado
3	N66W	45S	4	Augengneiss bandeado
7	N16E	15N	4	Augengneiss bandeado
7	N20W	90N	5	Augengneiss bandeado
7	N15W	90N	5	Augengneiss bandeado
8	N10W	90N	9	Augengneiss bandeado
8	N11W	20S	4	Augengneiss bandeado
9	N10W	80N	8	Augengneiss bandeado
9	N15W	12N	10	Augengneiss bandeado
10.5	N10W	70N	3	Augengneiss bandeado
10.2	N15W	31S	4	Augengneiss bandeado
10.2	N20W	75S	2	Augengneiss bandeado
10.5	N10W	35S	3	Augengneiss bandeado

Tabla H. Diaclasamiento en el tramo de Río Escondido ubicado en la cuenca media.

Río Escondido				
Numero de Afloramiento	rumbo	buzamiento	Frecuencia diaclasas/m	Tipo de roca
0	N42E	73S	4	Gneis
0	N16E	61S	10	Gneis
0	N25E	89N	5	Gneis
6	N20W	90N	2	Gneis
8	N16E	90N	2	Gneis
8	N8E	12N	2	Gneis
8	N20W	90N	2	Gneis
14	N22W	90N	2	Gneis
14	N71E	10N	2	Gneis
16	N20W	51N	2	Gneis
18	N5W	50N	10	Esquisto
20	N50E	78N	2	Gneis
20	N70E	75N	2	Gneis
20	N60E	80N	2	Gneis
35	N20W	90N	2	Gneis
36	N10W	80N	3	Gneis
36	N70E	30S	5	Gneis
Río San José de Galipán (cuenca media)				
Numero de Afloramiento	rumbo	buzamiento	Frecuencia diaclasas/m	Tipo de roca
1	N5E	85S	11	Esquisto cuarzo-micáceo clorítico
1	N-S	80N	9	Esquisto cuarzo-micáceo clorítico
1	N64E	61N	2	Esquisto cuarzo-micáceo clorítico
3	N76W	72N	3	Gneiss bandeado
3	N9W	55S	6	Gneiss bandeado
3	N80E	63S	3	Gneiss bandeado
3	N8W	42N	4	Gneiss bandeado
4	N10E	90N	3	Gneiss bandeado
4	N15E	40N	3	Gneiss bandeado
8	N5E	39S	1	Gneiss bandeado
8	N10W	80N	1	Gneiss bandeado
8	N70W	61S	1	Gneiss bandeado

Tabla I. Diaclasamiento en la cuenca alta.

San Antonio de Galipán (cuenca alta)				
Numero de Afloramiento	rumbo	buzamiento	Frecuencia diaclasas/m	Tipo de roca
G1	N55W	90N	7	Gneis
G1	N85E	50N	5	Gneis
G1	N45E	90N	5	Gneis
G4	N-S	90N	1	Gneis
G4	N40E	90N	1	Gneis
G5	N25E	90N	4	Gneis
G5	N45E	90N	4	Gneis
G5	N45W	90N	4	Gneis
G5	N86W	90N	4	Gneis
G5	N80E	25N	8	Gneis
G8	N80E	32N	4	Gneis
G8	N50E	71S	6	Gneis
G8	E-W	80N	3	Gneis
Fila Maestra				
Numero de Afloramiento	rumbo	buzamiento	Frecuencia diaclasas/m	Tipo de roca
G11	N12E	75N	9	Esquisto epidótico-micáceo-cuarzoso-plagioclásico
G11	N14W	65N	7	Esquisto epidótico-micáceo-cuarzoso-plagioclásico
G11	N75W	74S	8	Esquisto epidótico-micáceo-cuarzoso-plagioclásico
G12	N15W	90N	5	Esquisto epidótico-micáceo-cuarzoso-plagioclásico
G12	N80W	66N	10	Esquisto epidótico-micáceo-cuarzoso-plagioclásico
G16	N75W	40N	3	Esquisto epidótico
G16	N5E	80N	8	Esquisto epidótico
G16	N54W	50S	6	Esquisto epidótico
G19	N35E	90N	10	Esquisto anfibólico-plagioclásico
G20	N10E	65N	5	Esquisto cuarzo-micáceo
G21	N-S	53W	14	Metatonalita
G21	N70W	80S	15	Metatonalita
G21	N60W	30S	13	Metatonalita
G23	N31W	5N	10	Esquisto cuarzo-micáceo
G23	N10E	70S	18	Esquisto cuarzo-micáceo
G23	E-W	85S	15	Esquisto cuarzo-micáceo

Tabla J. Características morfológicas de los sedimentos analizados.

<b>MAC06</b>																				
Composición mineral en %			Redondez %				Esfericidad				Forma %									
Cuarzo	Feldesp.	Frag. de roc.	R	Sr	Sa	A	0,9	0,7	0,5	0,3	Tab	Disc	Esf	Cub	Cil	Ovo	Eli	Pris T	Pris I	Irr
52	1	36	10	21	32	37	29	10	19	42	19	11	14	8	7	2	15	5		19
<b>MAC07</b>																				
Composición mineral en %			Redondez %				Esfericidad				Forma %									
Cuarzo	Feldesp.	Frag. de roc.	R	Sr	Sa	A	0,9	0,7	0,5	0,3	Tab	Disc	Esf	Cub	Cil	Ovo	Eli	Pris T	Pris I	Irr
28	3	69		28	31	41			13	87	44	15			10			5		26
<b>MAC08</b>																				
Composición mineral en %			Redondez %				Esfericidad				Forma %									
Cuarzo	Feldespato	Frag. de roc.	R	Sr	Sa	A	0,9	0,7	0,5	0,3	Tab	Disc	Esf	Cub	Cil	Ovo	Eli	Pris T	Pris I	Irr
26		63	1	23	50	26			25	75	31	3	7	1	7				1	50
<b>MAC09</b>																				
Composición mineral en %			Redondez %				Esfericidad				Forma %									
Cuarzo	Feldesp.	Frag. de roc.	R	Sr	Sa	A	0,9	0,7	0,5	0,3	Tab	Disc	Esf	Cub	Cil	Ovo	Eli	Pris T	Pris I	Irr
30	0	56		1	73	16				100	73	10								17
<b>MAC10</b>																				
Composición mineral en %			Redondez %				Esfericidad				Forma %									
Cuarzo	Feldespato	Frag. de roc.	R	Sr	Sa	A	0,9	0,7	0,5	0,3	Tab	Disc	Esf	Cub	Cil	Ovo	Eli	Pris T	Pris I	Irr
20	0	69		25	75				11	89	45	32,5		17,5	5					
<b>MAC11</b>																				
Composición mineral en %			Redondez %				Esfericidad				Forma %									
Cuarzo	Feldesp.	Frag. de roc.	R	Sr	Sa	A	0,9	0,7	0,5	0,3	Tab	Disc	Esf	Cub	Cil	Ovo	Eli	Pris T	Pris I	Irr
76				56	44		2	8	40	50	25			20	10		15			30
<b>MAC12</b>																				
Composición mineral en %			Redondez %				Esfericidad				Forma %									
Cuarzo	Feldespato	Frag. de roc.	R	Sr	Sa	A	0,9	0,7	0,5	0,3	Tab	Disc	Esf	Cub	Cil	Ovo	Eli	Pris T	Pris I	Irr
37	9	21		10	50	40		6	22	72	8	3	18		7		18			46

Continuación tabla J.

Composición mineral en %			Redondez %				Esfericidad				Forma %									
Cuarzo	Feldespato	Frag. de roc.	R	Sr	Sa	A	0,9	0,7	0,5	0,3	Tab	Disc	Esf	Cub	Cil	Ovo	Eli	Pris T	Pris I	Irr
10	1	84	5	58	37			20	80	43	6	9		11		2				29
<b>MAC15</b>																				
Composición mineral en %			Redondez %				Esfericidad				Forma %									
Cuarzo	Feldespato	Frag. de roc.	R	Sr	Sa	A	0,9	0,7	0,5	0,3	Tab	Disc	Esf	Cub	Cil	Ovo	Eli	Pris T	Pris I	Irr
6	3	88	1	6	69	24	1	1	11	87	50	2	5				2			41
<b>MAC16</b>																				
Composición mineral en %			Redondez %				Esfericidad				Forma %									
Cuarzo	Feldespato	Frag. de roc.	R	Sr	Sa	A	0,9	0,7	0,5	0,3	Tab	Disc	Esf	Cub	Cil	Ovo	Eli	Pris T	Pris I	Irr
2		98	0	6	44	50			8	92	77		1		3					19
<b>MAC17</b>																				
Composición mineral en %			Redondez %				Esfericidad				Forma %									
Cuarzo	Feldespato	Frag. de roc.	R	Sr	Sa	A	0,9	0,7	0,5	0,3	Tab	Disc	Esf	Cub	Cil	Ovo	Eli	Pris T	Pris I	Irr
4		95		3	91	6			3	97	80		1							19
<b>MAC18</b>																				
Composición mineral en %			Redondez %				Esfericidad				Forma %									
Cuarzo	Feldespato	Frag. de roc.	R	Sr	Sa	A	0,9	0,7	0,5	0,3	Tab	Disc	Esf	Cub	Cil	Ovo	Eli	Pris T	Pris I	Irr
		99		11	82	3			8	92	61									39
<b>MAC21</b>																				
Composición mineral en %			Redondez %				Esfericidad				Forma %									
Cuarzo	Feldesp.	Frag. de roc.	R	Sr	Sa	A	0,9	0,7	0,5	0,3	Tab	Disc	Esf	Cub	Cil	Ovo	Eli	Pris T	Pris I	Irr
49	1	39	2	36	60	3	10	25	38	27	38	15	1	2	3			#REF!	20	20
<b>MAC20</b>																				
Composición mineral en %			Redondez %				Esfericidad				Forma %									
Cuarzo	Feldespato	Frag. de roc.	R	Sr	Sa	A	0,9	0,7	0,5	0,3	Tab	Disc	Esf	Cub	Cil	Ovo	Eli	Pris T	Pris I	Irr
2	2	96		1	86	13			8	92	96		1	2						1

Continuación Tabla J.

Composición mineral en %			Redondez %				Esfericidad				Forma %										
Cuarzo	Feldespato	Frag. de roc.	R	Sr	Sa	A	0,9	0,7	0,5	0,3	Tab	Disc	Esf	Cub	Cil	Ovo	Eli	Pris T	Pris I	Irr	
<b>MAC24</b>																					
11	6	78	2	11	66	21		2	31	67	20		5				2			73	
<b>MAC25</b>																					
13		86	1	10	57	32	1	2	7	91	57	5	4	9	9		1			15	
<b>MAC27</b>																					
43	2	19	13	32	45	10			20	80	34	12	8	15	16					15	
<b>MAC31</b>																					
3		97		15	63	22			5	95	39	15	4	15	15					12	
<b>MAC38</b>																					
23	76	1		26	45	29	15	15	22	49	40	18	14		1		7			20	
<b>MAC42</b>																					
22	3	73	4	50	43	3	16	21	26	37	25	12	7	13	12			3		29	
<b>MAC44</b>																					
36		64	6	35	55	4	11	21	34	34	18	17		15	8			10	32		



Continuación tabla J.

<b>MAC45</b>																					
Composición mineral en %			Redondez %				Esfericidad				Forma %										
Cuarzo	Feldesp.	Frag. de roc.	R	Sr	Sa	A	0,9	0,7	0,5	0,3	Tab	Disc	Esf	Cub	Cil	Ovo	Eli	Pris T	Pris I	Irr	
18	2	79	17	33	36	14	6	15	31	48	26	18	1	8	10			6	27	4	
<b>MAC46</b>																					
Composición mineral en %			Redondez %				Esfericidad				Forma %										
Cuarzo	Feldesp.	Frag. de roc.	R	Sr	Sa	A	0,9	0,7	0,5	0,3	Tab	Disc	Esf	Cub	Cil	Ovo	Eli	Pris T	Pris I	Irr	
16	0,5	83	6	37	51	6	12	15	41	31	25	23	6	6	12				17	11	
<b>SJ/06/25/06/03</b>																					
Composición mineral en %			Redondez %				Esfericidad				Forma %										
Cuarzo	Feldesp.	Frag. de roc.	R	Sr	Sa	A	0,9	0,7	0,5	0,3	Tab	Disc	Esf	Cub	Cil	Ovo	Eli	Pris T	Pris I	Irr	
12	0,2	83		43	52	5	2	12	24	62	29	19	4	1	14			4	14	16	
<b>SJ/10/25/06/03</b>																					
Composición mineral en %			Redondez %				Esfericidad				Forma %										
Cuarzo	Feldesp.	Frag. de roc.	R	Sr	Sa	A	0,9	0,7	0,5	0,3	Tab	Disc	Esf	Cub	Cil	Ovo	Eli	Pris T	Pris I	Irr	
11	3	85	5	54	40	1	2	2	45	51	22	21	1	1	17	10		9	9	10	
<b>RE01</b>																					
Composición mineral en %			Redondez %				Esfericidad				Forma %										
Cuarzo	Feldesp.	Frag. de roc.	R	Sr	Sa	A	0,9	0,7	0,5	0,3	Tab	Disc	Esf	Cub	Cil	Ovo	Eli	Pris T	Pris I	Irr	
13	1	80		26	60	14	8	10	18	64	23	11	10	7	8	3	5	5		28	
<b>MAC01</b>																					
Composición mineral en %			Redondez %				Esfericidad				Forma %										
Cuarzo	Feldesp.	Frag. de roc.	R	Sr	Sa	A	0,9	0,7	0,5	0,3	Tab	Disc	Esf	Cub	Cil	Ovo	Eli	Pris T	Pris I	Irr	
31		54	9	19	38	34		1	31	68											

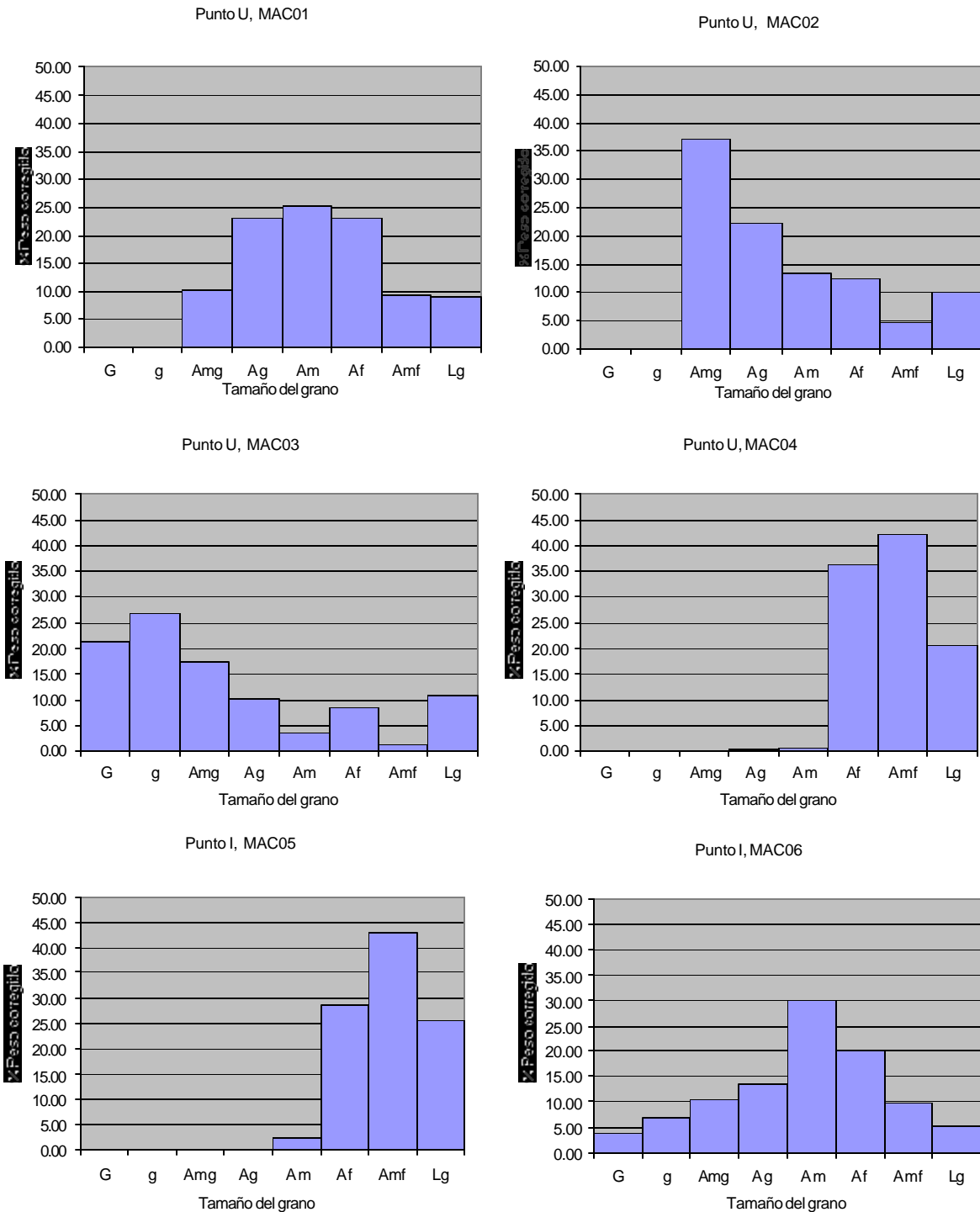
Tabla K. Porcentaje de gravas-arenas y limos para cada sedimento de la cuenca.

<b>MAC01</b> gravas 0 arenas 91 limos 9	<b>MAC09</b> gravas 6 arenas 93 limos 1	<b>MAC17</b> gravas 43 arenas 49 limos 9	<b>MAC25</b> gravas 47 arenas 50 limos 2	<b>MAC33</b> gravas 0 arenas 91 limos 9	<b>MAC41</b> gravas 3 arenas 77 limos 20	<b>MAC49</b> gravas 17 arenas 80 limos 2
<b>MAC02</b> gravas 0 arenas 90 limos 10	<b>MAC10</b> gravas 23 arenas 76 limos 1	<b>MAC18</b> gravas 39 arenas 49 limos 12	<b>MAC26</b> gravas 0 arenas 57 limos 43	<b>MAC34</b> gravas 42 arenas 56 limos 2	<b>MAC42</b> gravas 48 arenas 51 limos 2	<b>RE01</b> gravas 44 arenas 49 limos 6
<b>MAC03</b> gravas 48 arenas 41 limos 11	<b>MAC11</b> gravas 0 arenas 96 limos 3	<b>MAC19</b> gravas 0 arenas 67 limos 33	<b>MAC27</b> gravas 6 arenas 89 limos 6	<b>MAC35</b> gravas 16 arenas 83 limos 2	<b>MAC43</b> gravas 57 arenas 40 limos 2	<b>RE02</b> gravas 28 arenas 68 limos 4
<b>MAC04</b> gravas 0 arenas 79 limos 21	<b>MAC12</b> gravas 1 arenas 94 limos 6	<b>MAC20</b> gravas 13 arenas 73 limos 14	<b>MAC28</b> gravas 2 arenas 87 limos 11	<b>MAC36</b> gravas 29 arenas 60 limos 11	<b>MAC44</b> gravas 49 arenas 49 limos 2	<b>SJ0625</b> gravas 25 arenas 72 limos 2
<b>MAC05</b> gravas 0 arenas 74 limos 26	<b>MAC13</b> gravas 40 arenas 56 limos 4	<b>MAC21</b> gravas 1 arenas 93 limos 6	<b>MAC29</b> gravas 23 arenas 73 limos 4	<b>MAC37</b> gravas 38 arenas 56 limos 6	<b>MAC45</b> gravas 59 arenas 39 limos 2	<b>SJ1025</b> gravas 38 arenas 58 limos 3
<b>MAC06</b> gravas 11 arenas 84 limos 5	<b>MAC14</b> gravas 44 arenas 52 limos 4	<b>MAC22</b> gravas 0 arenas 18 limos 82	<b>MAC30</b> gravas 16 arenas 78 limos 6	<b>MAC38</b> gravas 10 arenas 84 limos 7	<b>MAC46</b> gravas 53 arenas 44 limos 3	<b>SJ0226</b> gravas 27 arenas 64 limos 9
<b>MAC07</b> gravas 45 arenas 52 limos 3	<b>MAC15</b> gravas 46 arenas 46 limos 8	<b>MAC23</b> gravas 31 arenas 66 limos 3	<b>MAC31</b> gravas 40 arenas 57 limos 3	<b>MAC39</b> gravas 11 arenas 82 limos 6	<b>MAC47</b> gravas 21 arenas 76 limos 4	
<b>MAC08</b> gravas 25 arenas 74 limos 2	<b>MAC16</b> gravas 61 arenas 32 limos 6	<b>MAC24</b> gravas 11 arenas 86 limos 3	<b>MAC32</b> gravas 47 arenas 50 limos 3	<b>MAC40</b> gravas 42 arenas 53 limos 5	<b>MAC48</b> gravas 44 arenas 54 limos 2	

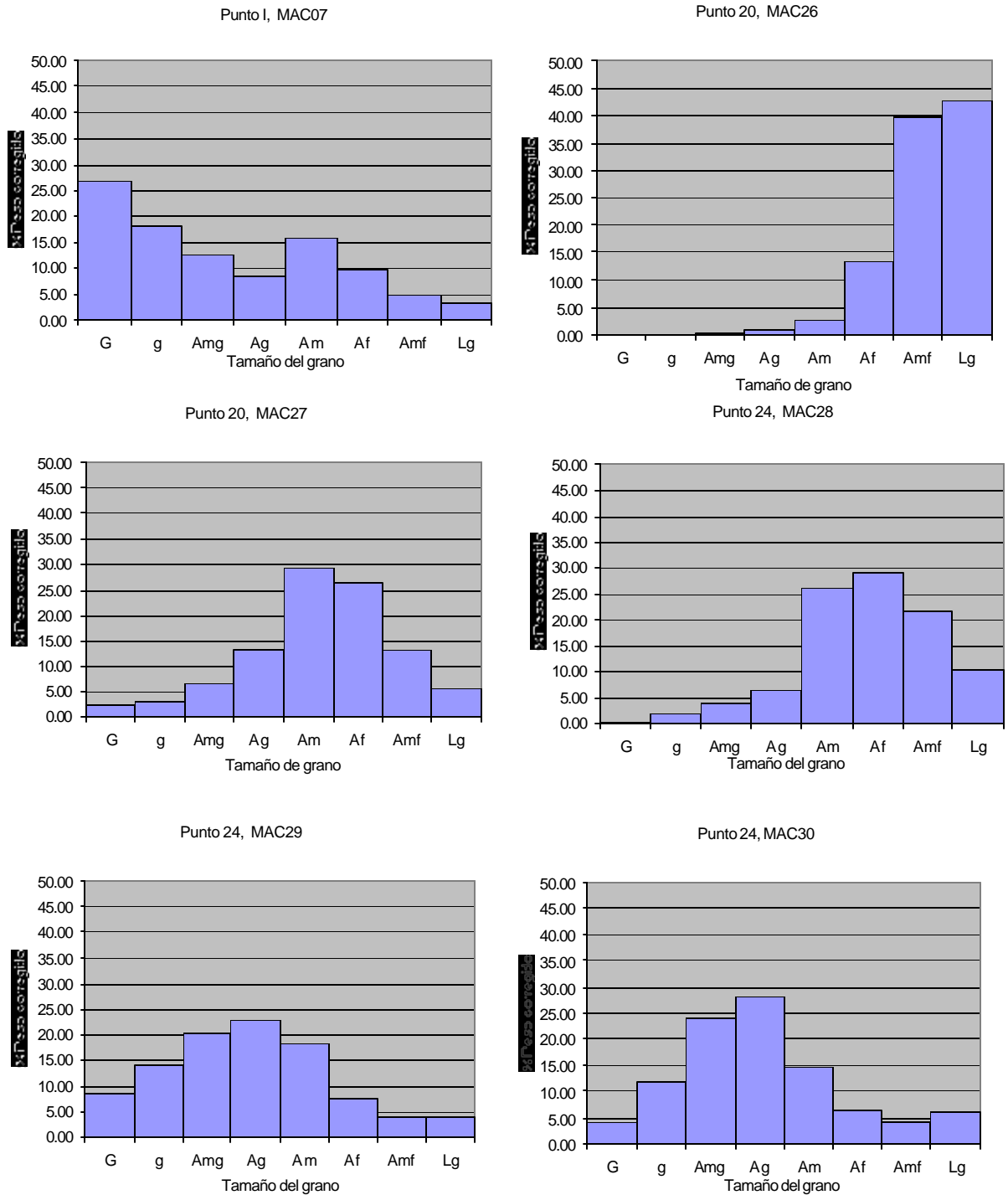
**ANEXOS 4**

- **Gráfica A.** Tablas de histogramas de frecuencia para los tamaños de granos en el área del cono de Macuto.
- **Gráfica B.** Tablas de histogramas de frecuencia para los tamaños de granos en el área del cono de Macuto.
- **Gráfica C.** Tablas de histogramas de frecuencia para los tamaños de granos en el área de la cabecera del cono de Macuto.
- **Gráfica D.** Tablas de histogramas de frecuencia para los tamaños de granos en el área de la cabecera del cono de Macuto.
- **Gráfica E.** Tablas de histogramas de frecuencia para los tamaños de granos en el área del cono de Macuto.
- **Gráfica F.** Tablas de histogramas de frecuencia para los tamaños de granos en los tributarios más cercanos al cono de Macuto.
- **Gráfica G.** Tablas de histogramas de frecuencia para los tamaños de granos en los tributarios más cercanos al cono de Macuto.
- **Gráfica H.** Tablas de histogramas de frecuencia para los tamaños de granos en el área del cono de Macuto.
- **Gráfica I.** Tablas de histogramas de frecuencia para los tamaños de granos en el área de la cuenca media.

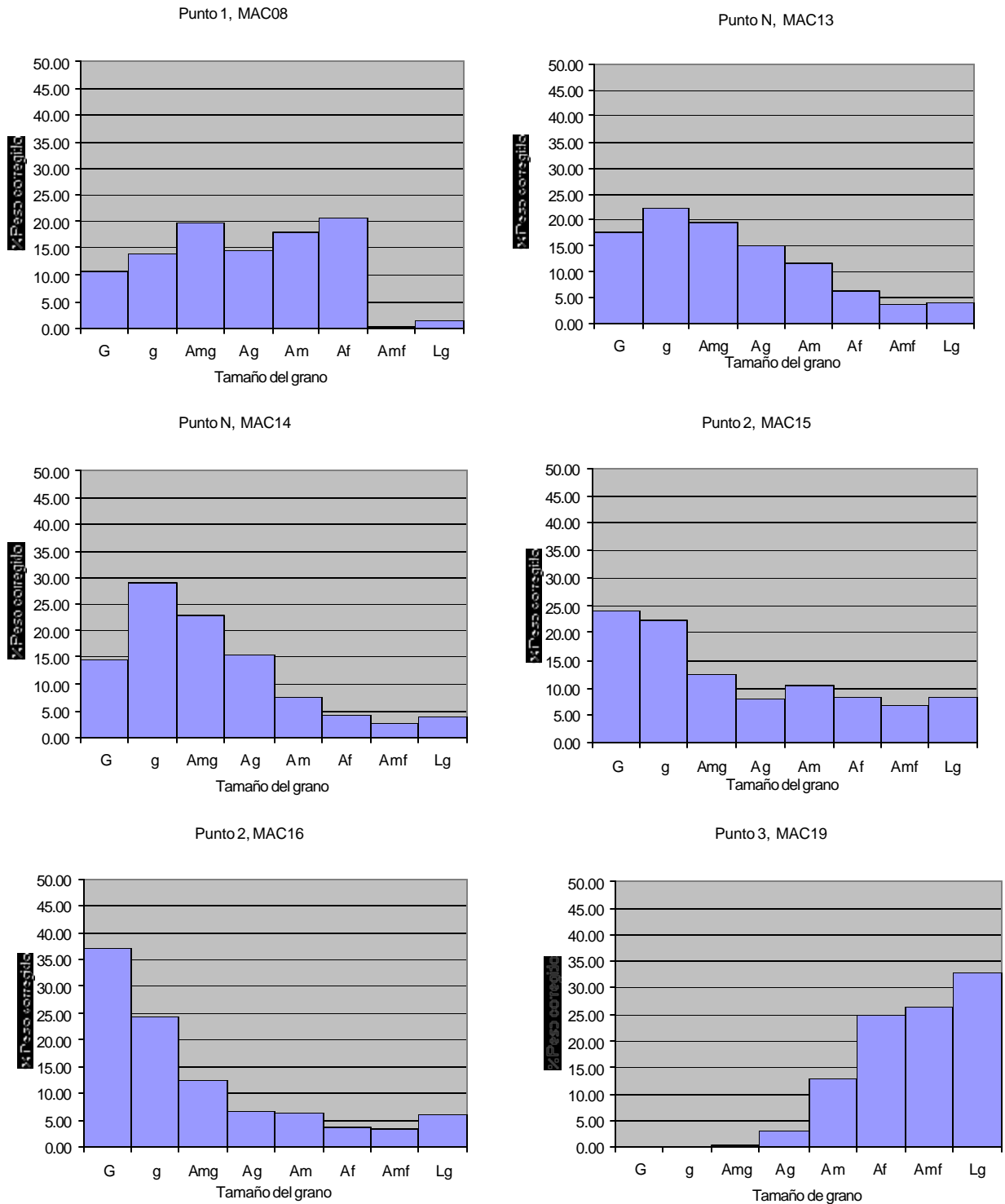
Gráfica A. Tablas de histogramas de frecuencia para los tamaños de granos en el área del cono de Macuto.



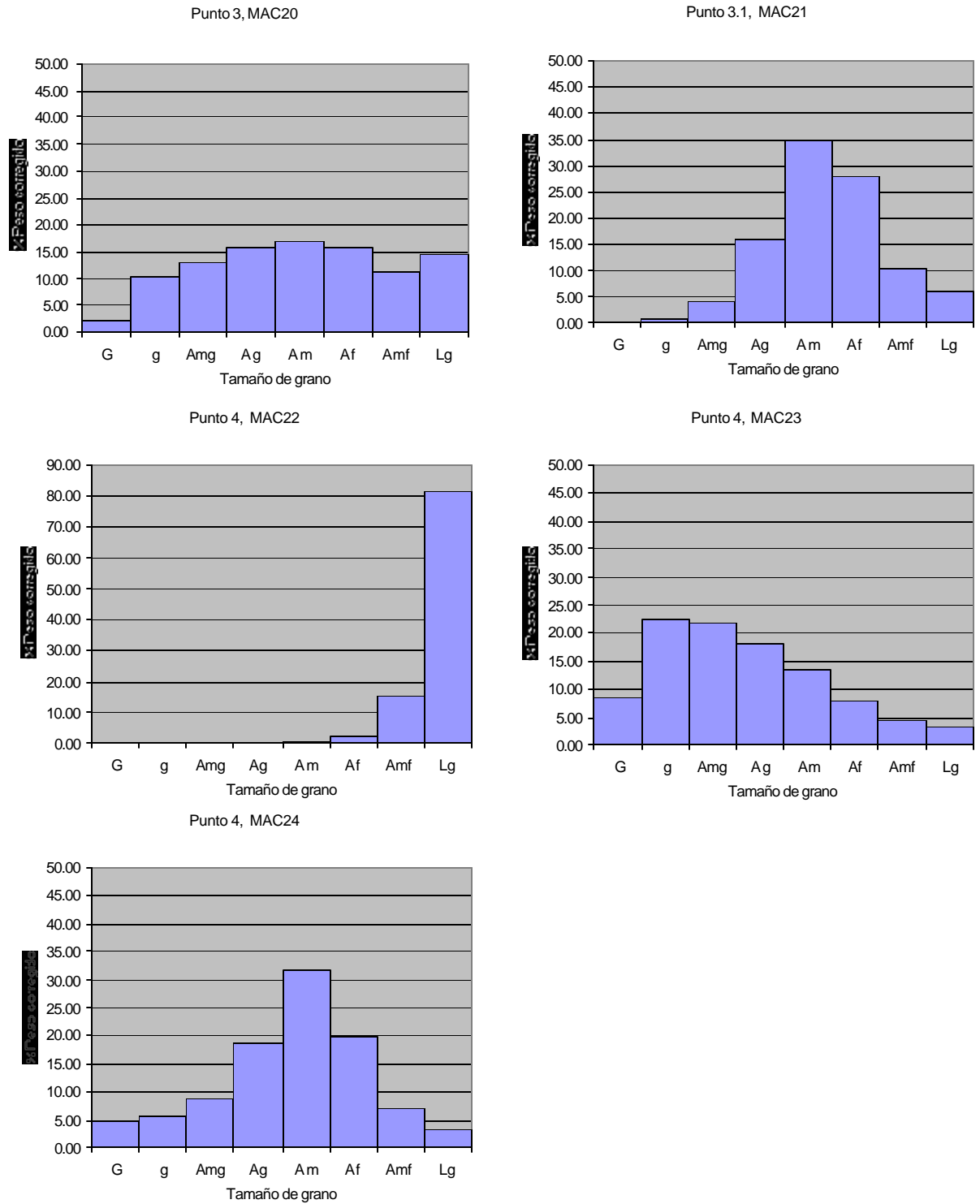
Gráfica B. Tablas de histogramas de frecuencia para los tamaños de granos en el área del cono de Macuto.



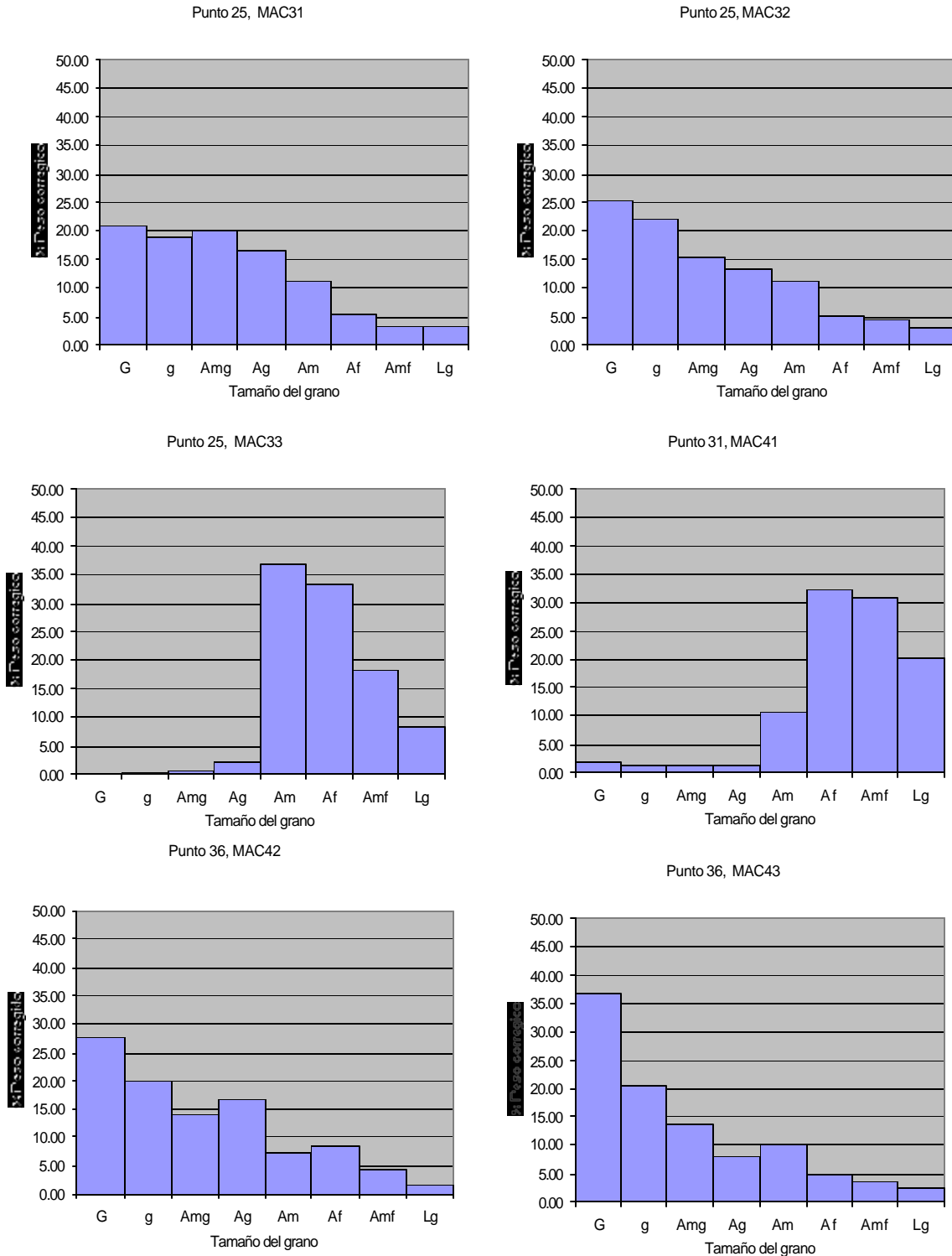
Gráfica C. Tablas de histogramas de frecuencia para los tamaños de granos en el área de la cabecera del cono de Macuto.



Gráfica D. Tablas de histogramas de frecuencia para los tamaños de granos en el área de la cabecera del cono de Macuto.

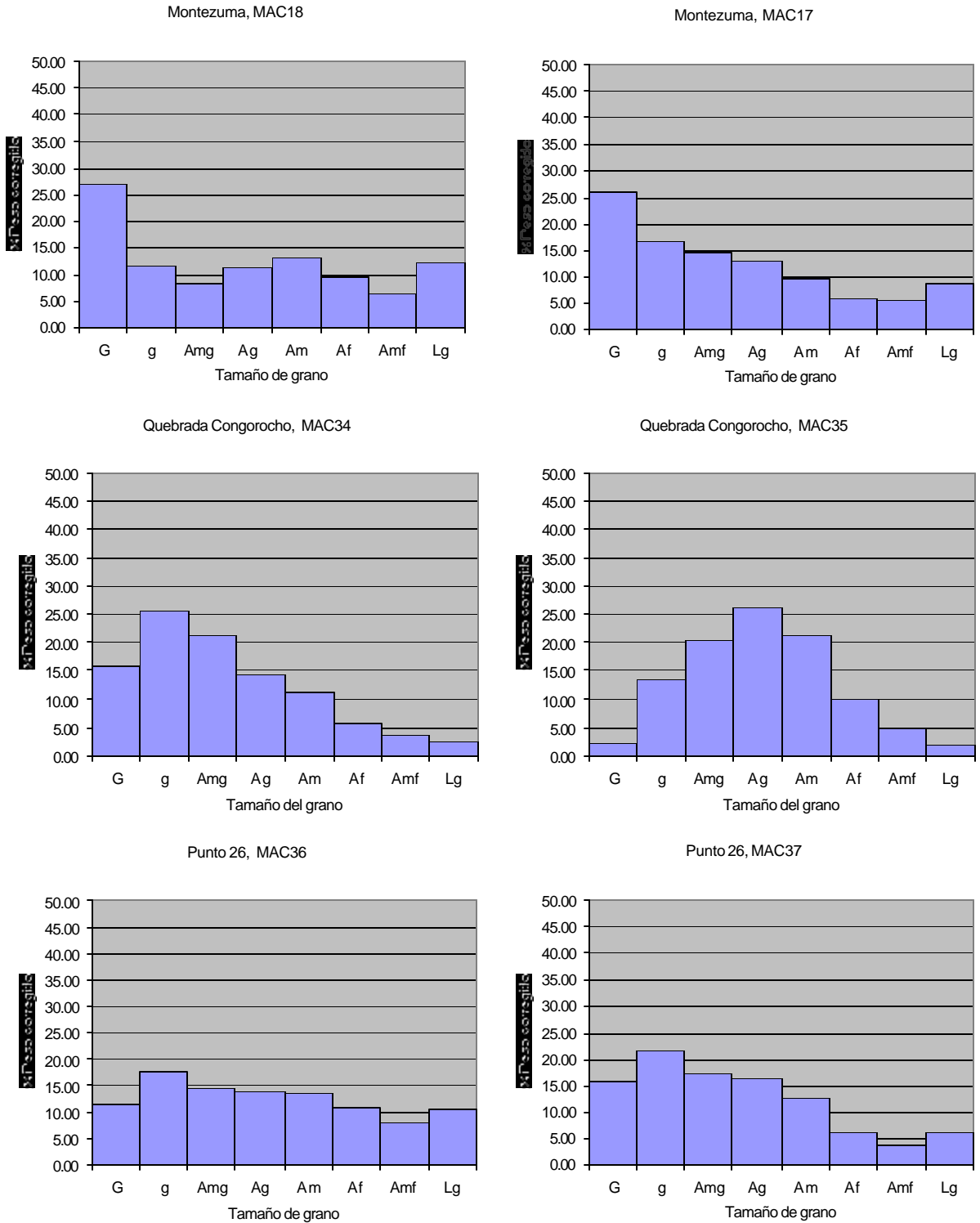


Gráfica E. Tablas de histogramas de frecuencia para los tamaños de granos en el área del cono de Macuto.

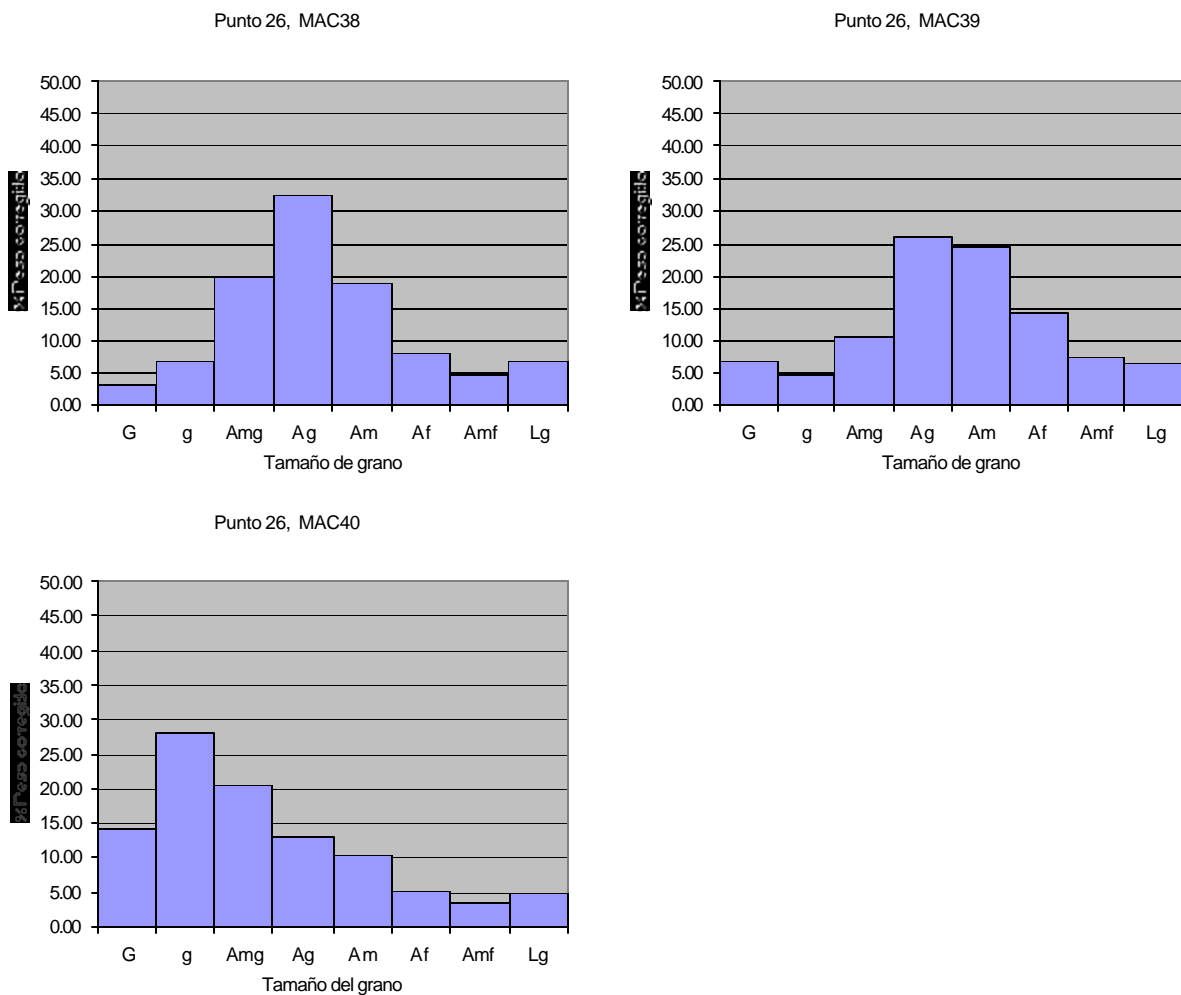




Gráfica F. Tablas de histogramas de frecuencia para los tamaños de granos en los tributarios más cercanos al cono de Macuto.

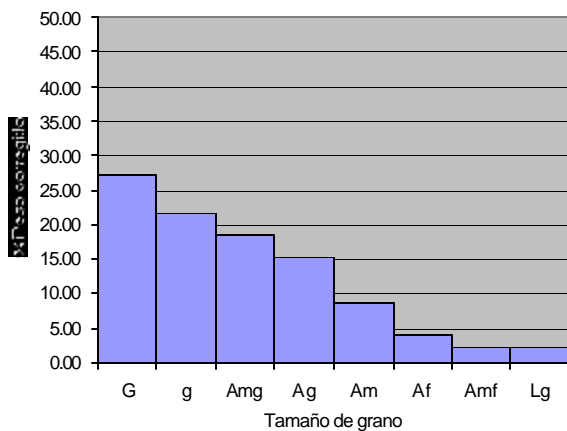


Gráfica G. Tablas de histogramas de frecuencia para los tamaños de granos en los tributarios más cercanos al cono de Macuto.

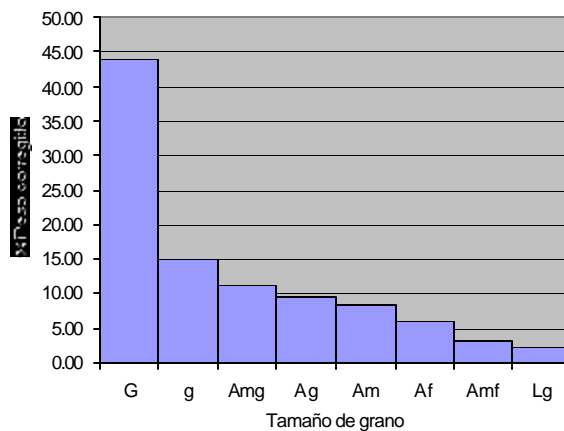


Gráfica H. Tablas de histogramas de frecuencia para los tamaños de granos en el área del cono de Macuto.

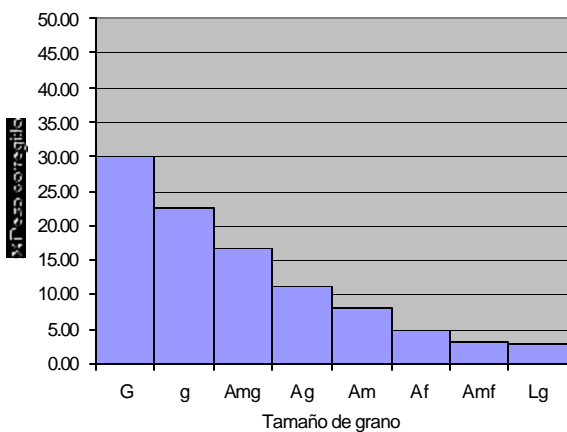
Punto 36, MAC44



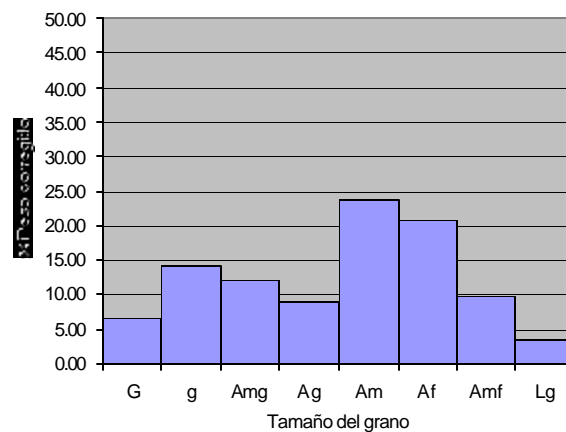
Punto 39, MAC45



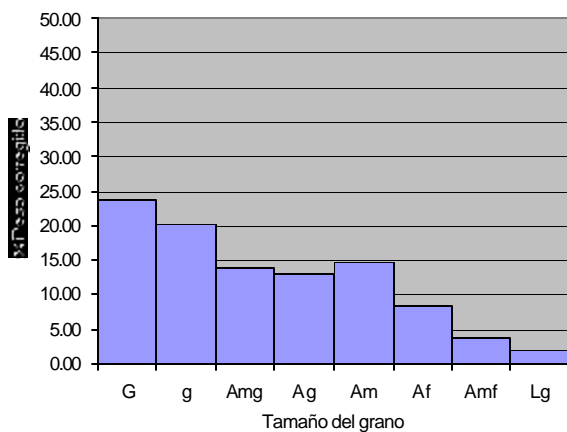
Punto 39, MAC46



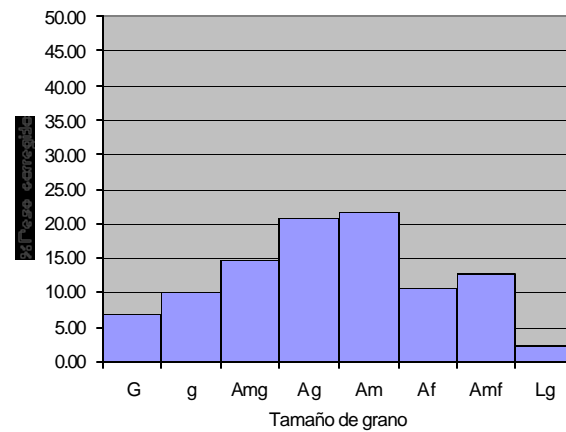
Punto 40, MAC47



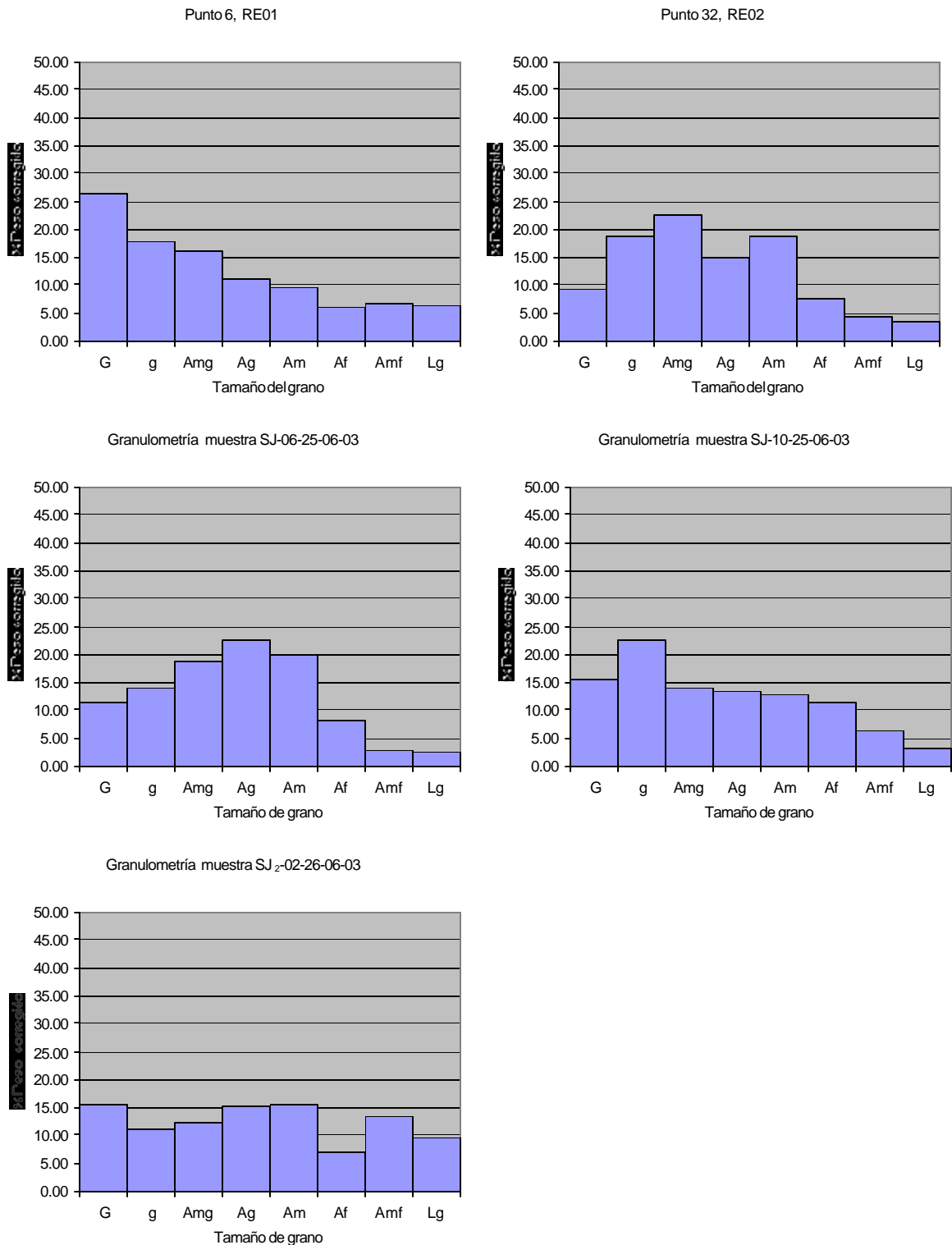
Punto 40, MAC48



Punto 40, MAC49



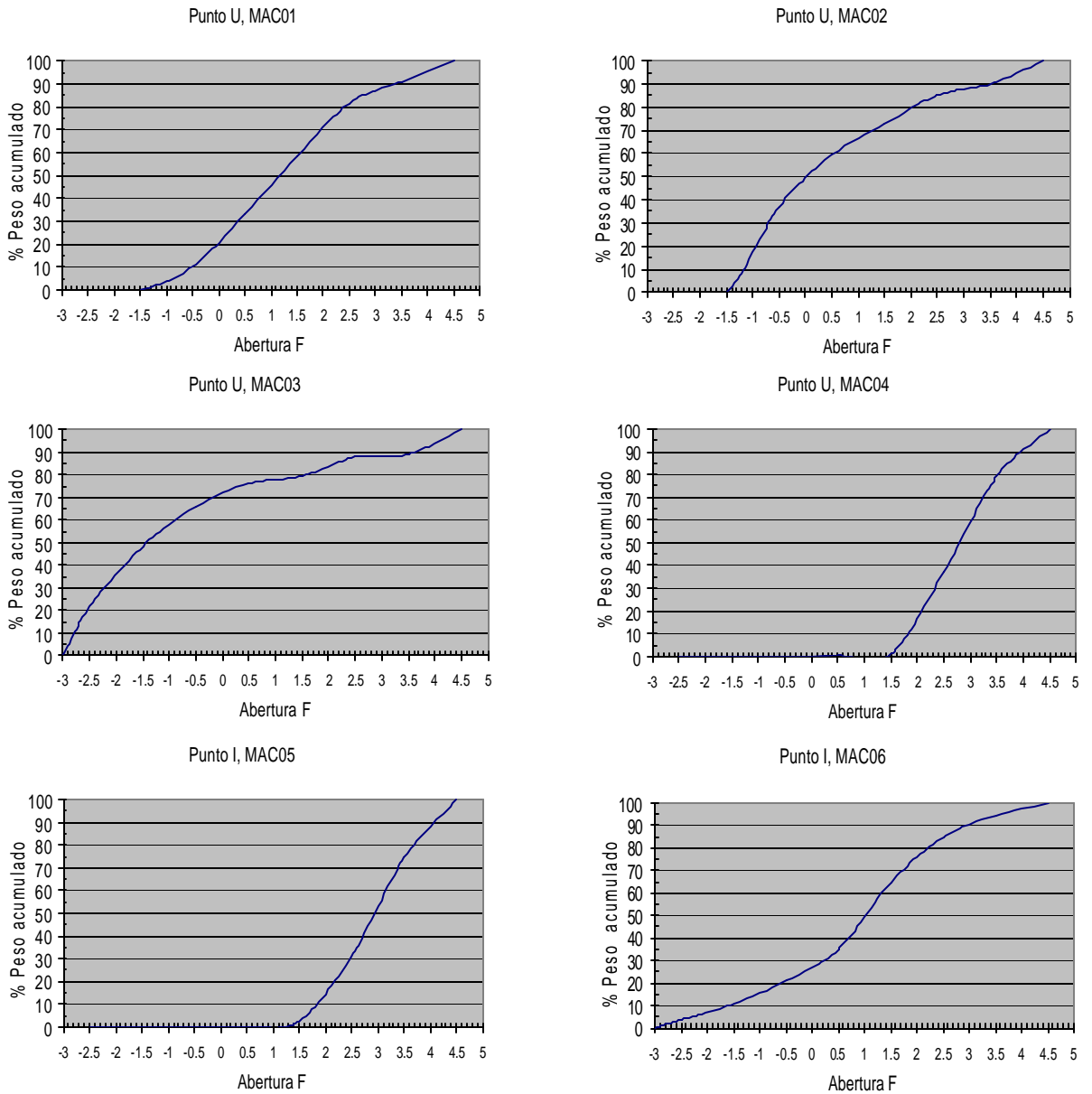
Gráfica I. Tablas de histogramas de frecuencia para los tamaños de granos en el área de la cuenca media.



**ANEXOS 5**

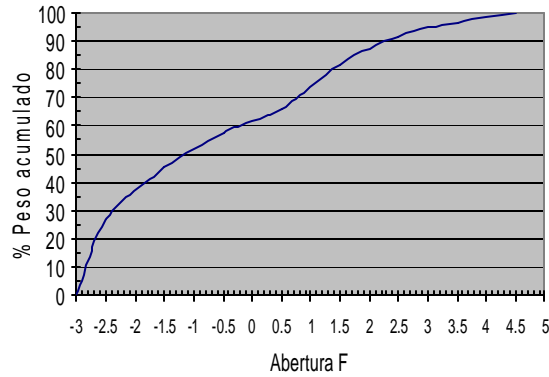
- **Gráfica J.** Tablas de frecuencias acumuladas de las muestras ubicadas en el cono de Macuto.
- **Gráfica K.** Tablas de frecuencias acumuladas de las muestras ubicadas en el cono de Macuto.
- **Gráfica L.** Tablas de frecuencias acumuladas de las muestras ubicadas en el cono de Macuto.
- **Gráfica M.** Tablas de frecuencias acumuladas de las muestras ubicadas en el cono de Macuto.
- **Gráfica N.** Tablas de frecuencias acumuladas de las muestras ubicadas en la cabecera del cono de Macuto.
- **Gráfica O.** Tablas de frecuencias acumuladas de las muestras ubicadas en la cabecera del cono de Macuto.
- **Gráfica P.** Tablas de frecuencias acumuladas de las muestras ubicadas en los tributarios más cercanos al cono de Macuto.
- **Gráfica Q.** Tablas de frecuencias acumuladas de las muestras ubicadas en los tributarios más cercanos al cono de Macuto.
- **Gráfica R.** Tablas de frecuencias acumuladas de las muestras ubicadas en el área de la cuenca media.

Gráfica J. Tablas de frecuencias acumuladas de las muestras ubicadas en el cono de Macuto.

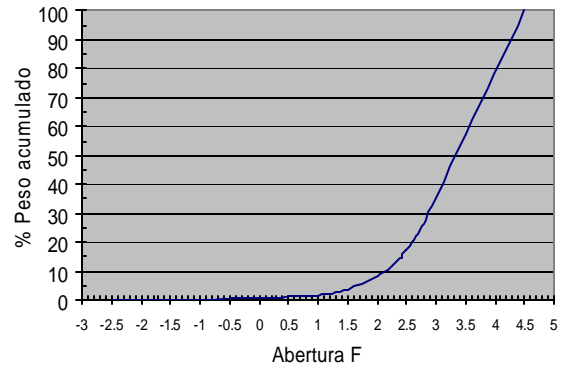


Gráfica K. Tablas de frecuencias acumuladas de las muestras ubicadas en el cono de Macuto.

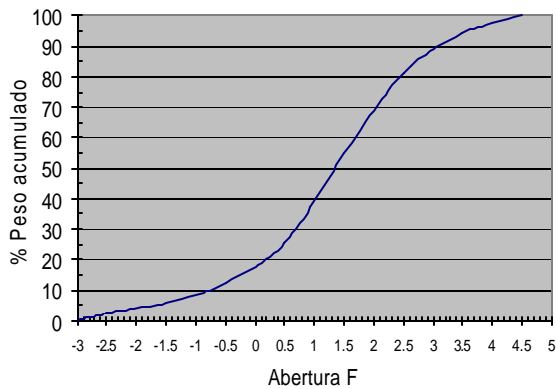
Punto 1, MAC07



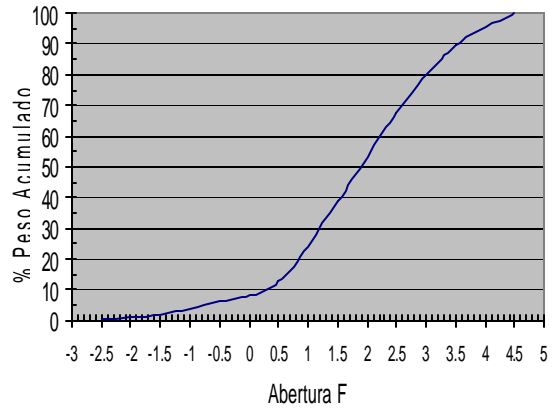
Punto 20, MAC26



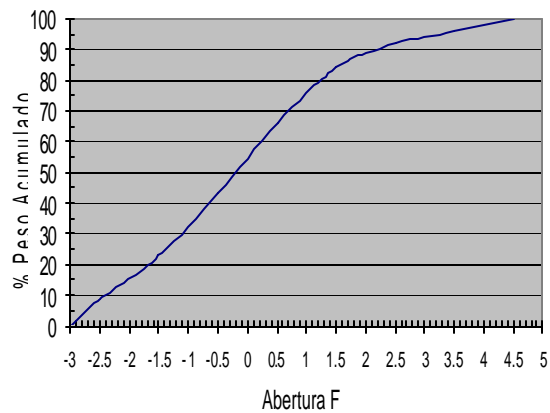
Punto 20, MAC27



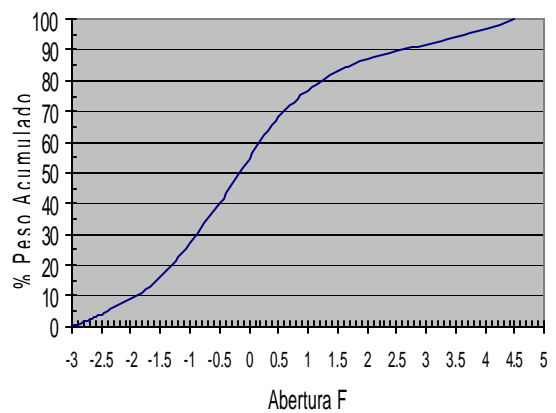
Punto 24, MAC28



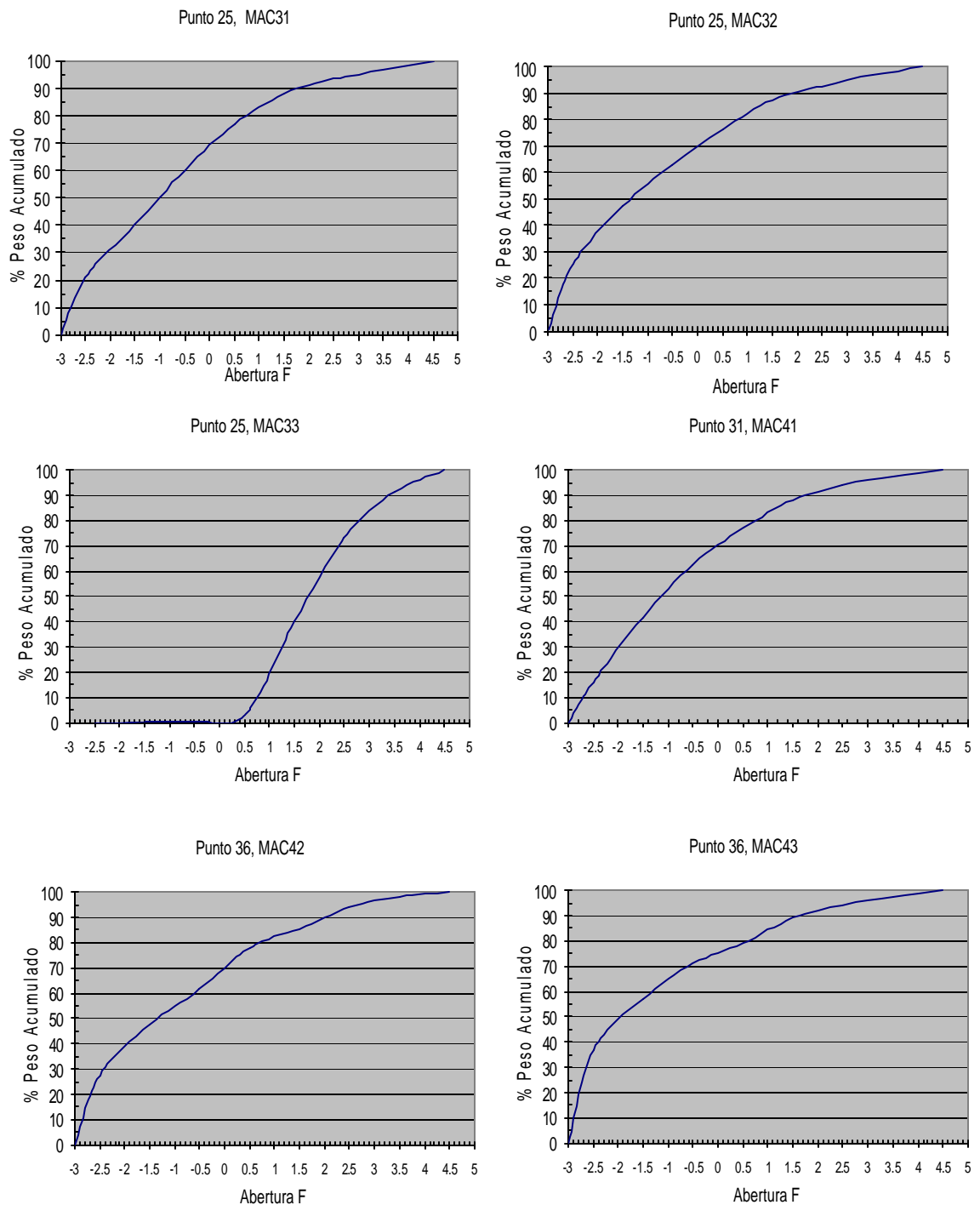
Punto 24, MAC29



Punto 24, MAC30

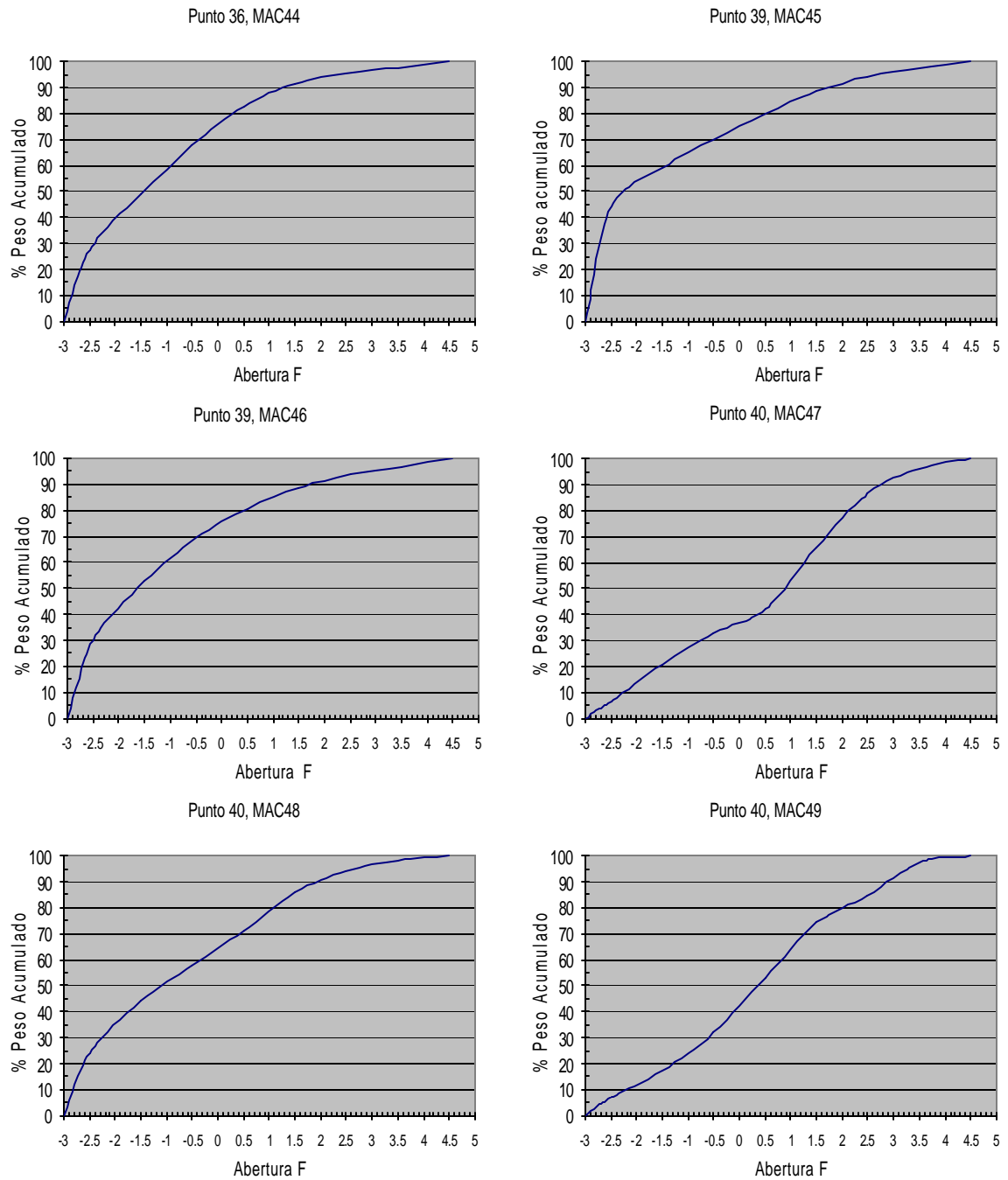


Gráfica L. Tablas de frecuencias acumuladas de las muestras ubicadas en el cono de Macuto.

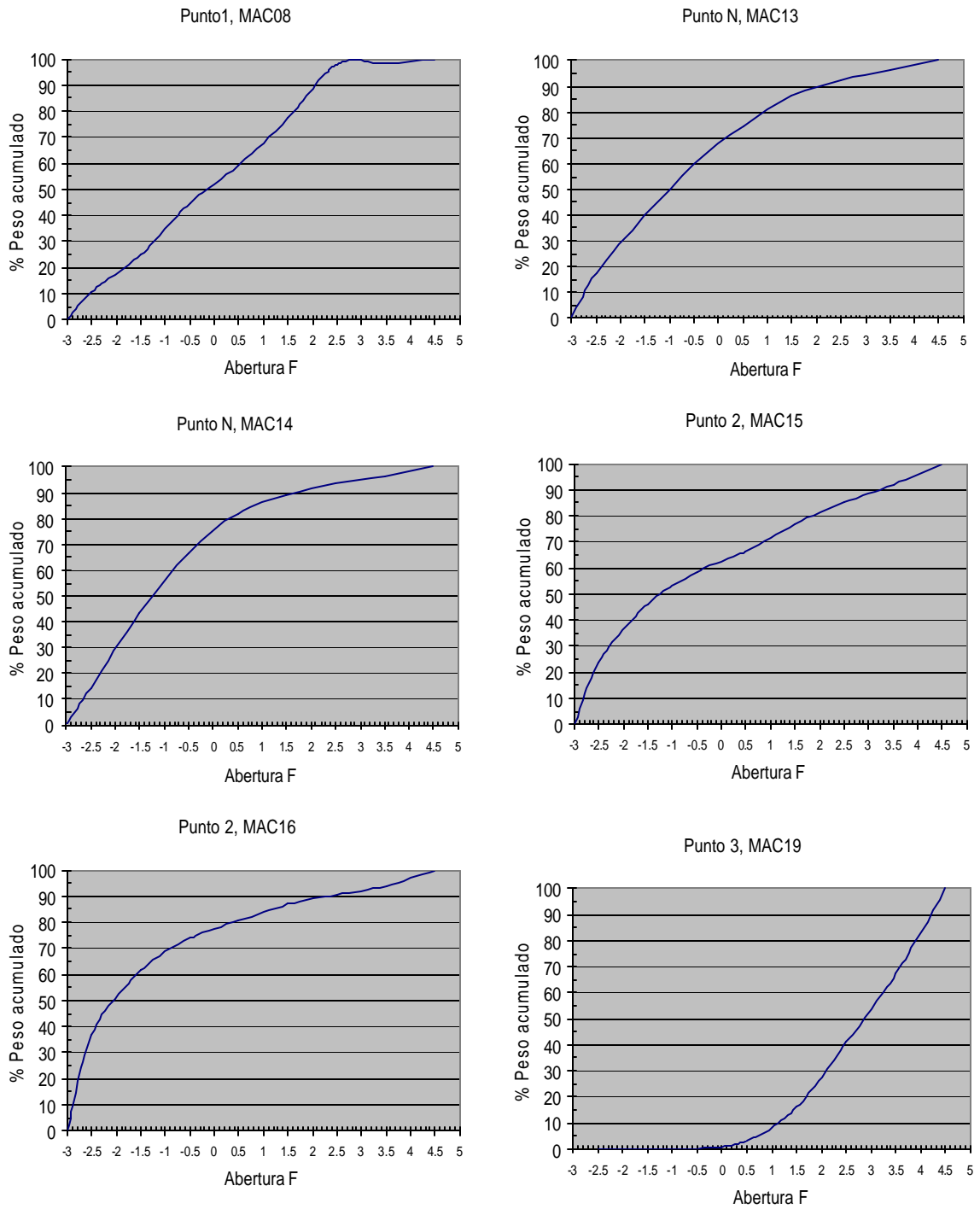




Gráfica M. Tablas de frecuencias acumuladas de las muestras ubicadas en el cono de Macuto.

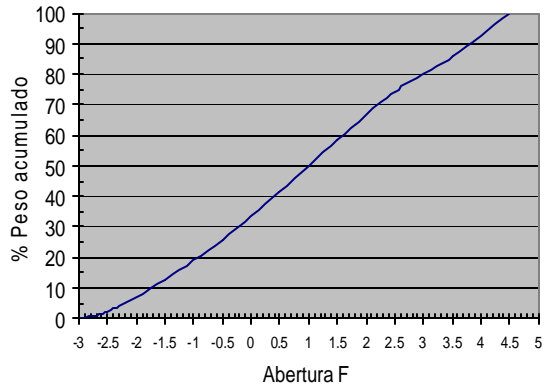


Gráfica N. Tablas de frecuencias acumuladas de las muestras ubicadas en la cabecera del cono de Macuto.

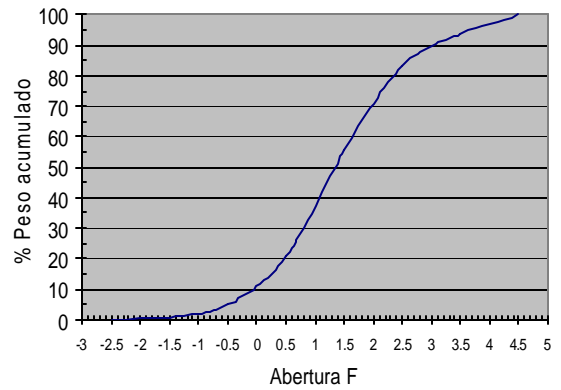


Gráfica O. Tablas de frecuencias acumuladas de las muestras ubicadas en la cabecera del cono de Macuto.

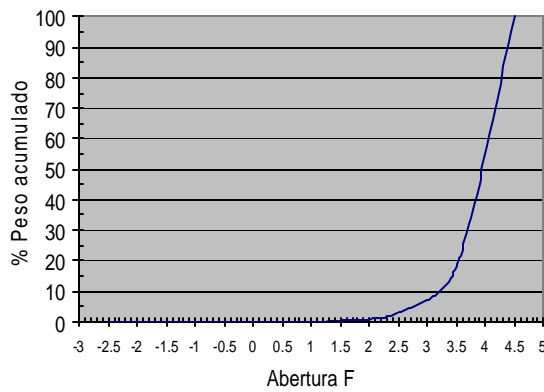
Punto 3, MAC20



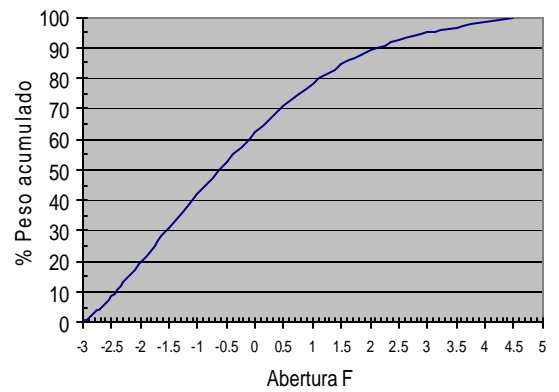
Punto 31, MAC21



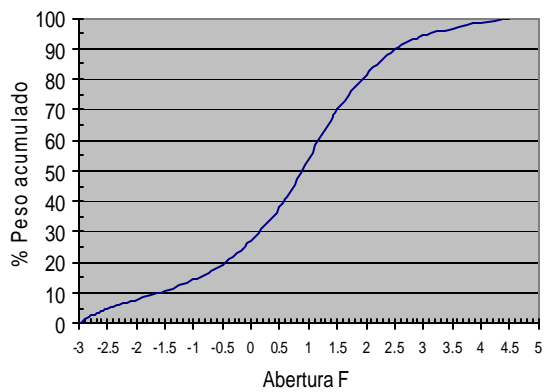
Punto 4, MAC22



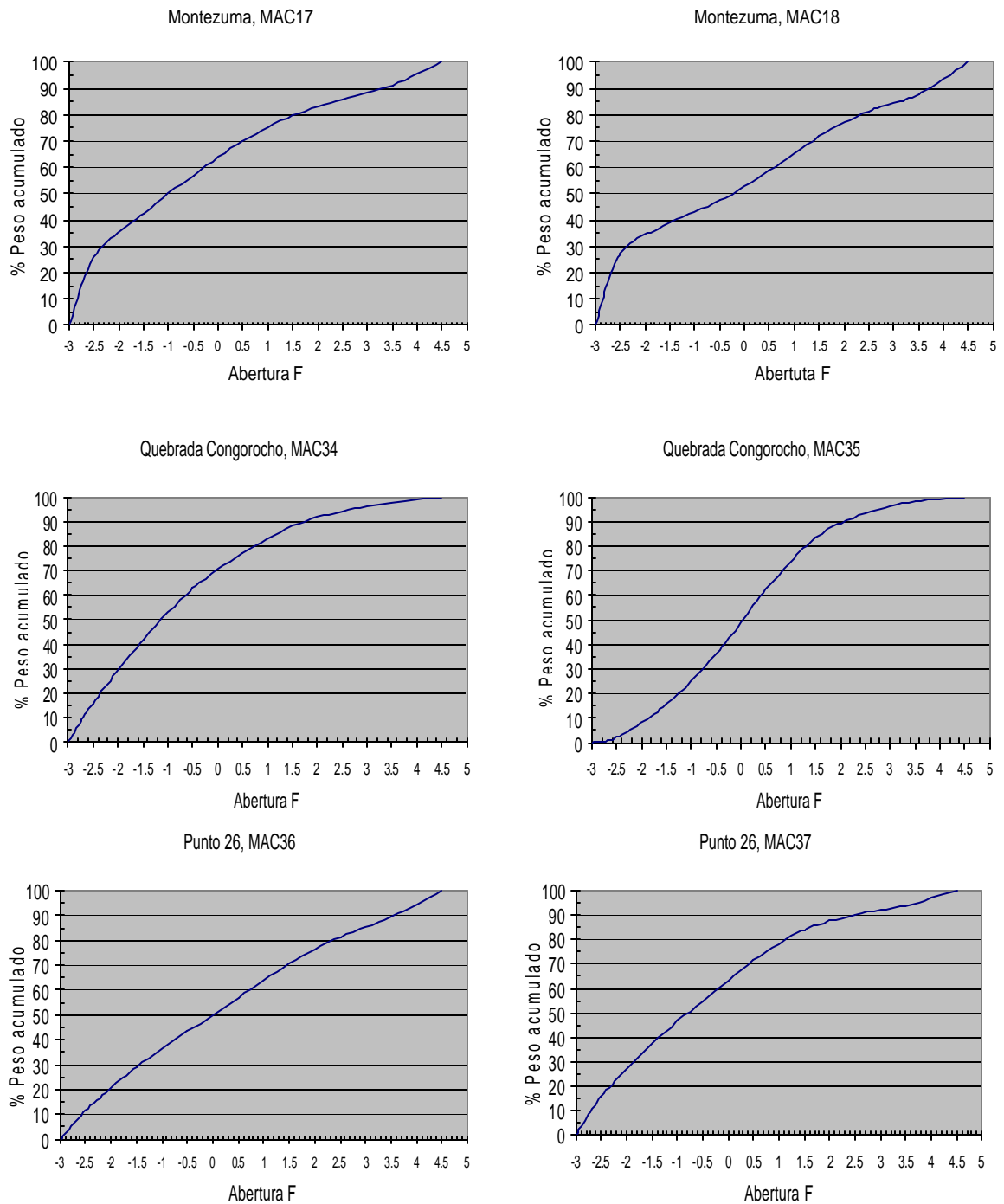
Punto 4, MAC23



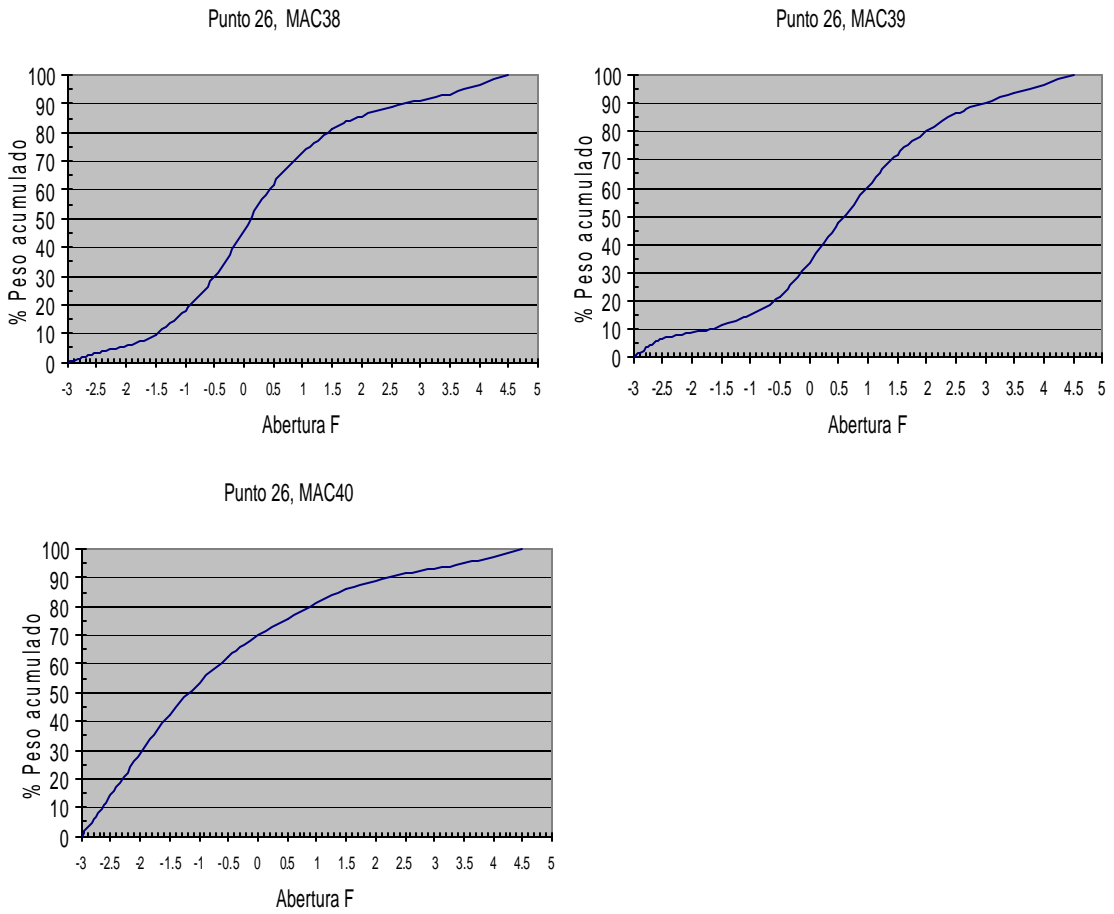
Punto 4, MAC24



Gráfica P. Tablas de frecuencias acumuladas de las muestras ubicadas en los tributarios más cercanos al cono de Macuto.

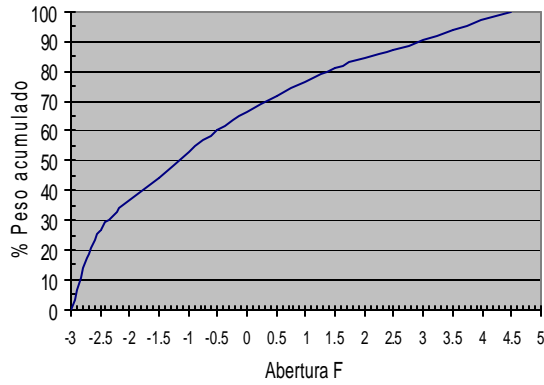


Gráfica Q. Tablas de frecuencias acumuladas de las muestras ubicadas en los tributarios más cercanos al cono de Macuto.

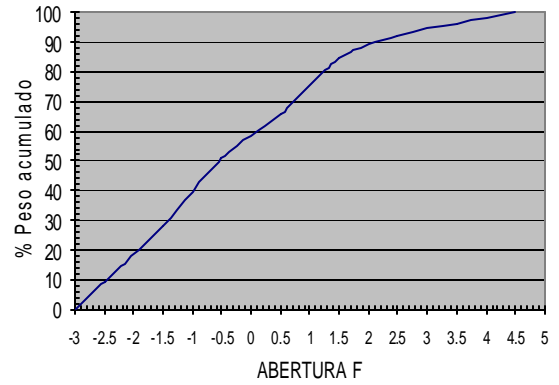


Gráficas R. Tablas de frecuencias acumuladas de las muestras ubicadas en el área de la cuenca media.

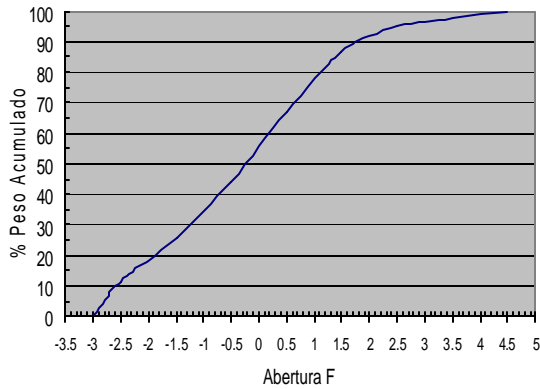
Río Escondido punto 6, RE01



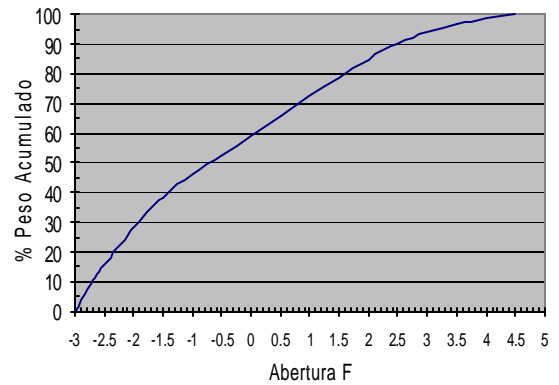
Río Escondido punto 32, RE02



Curva de Frecuencia Acumulada SJ-06-25-06-03



Curva de Frecuencia Acumulada SJ-10-25-06-03



Curva de Frecuencia Acumulada SJ-02-26-06-03

