

### **CAPÍTULO 3 ESTUDIO SOBRE EL DESASTRE DE VARGAS DE 1999 Y EL DESASTRE DE MARACAY EN 1987**

En los últimos veinte años, dos grandes desastres por flujo de escombros ocurrieron en el Norte de Venezuela. Uno es el desastre por flujo de escombros en el área de Vargas en diciembre de 1999. El otro es un desastre por flujo de escombros en el área de Maracay en septiembre de 1987. Ambos en áreas montañosas de la Cordillera de La Costa. Estos desastres se han estudiado para determinar las características de desastres en el Norte de Venezuela. Sus localizaciones se muestran en la Figura S10-3.1.1.

#### **3.1 El Desastre de Vargas**

Los derrumbes que ocurrieron en la cuenca de San Julián en el desastre de 1999 se muestran en la Figura S10-3.1.2. Este mapa de distribución de derrumbes fue dibujado utilizando fotos aéreas tomadas el 14 de enero de 2000, después del desastre.

Los derrumbes abarrotaron la cuenca, excepto un tercio de la parte superior de la misma. Las configuraciones de los patrones de los derrumbes son diferentes desde la parte baja de la cuenca hasta la parte superior de ésta. La cuenca puede ser clasificada en cuatro zonas desde la parte baja de la cuenca hasta la parte más alta de la misma, la zona más baja, la zona media-baja, la zona media-alta y la zona más alta, como se muestra en la Figura S10-3.1.3. La configuración de los derrumbes en la zona más baja se caracteriza por derrumbes llanos que son superficiales y extensos. La zona media-baja se caracteriza por derrumbes profundos y abarrotados. La zona media-alta se caracteriza por derrumbes grandes y profundos, y la zona más alta no tiene derrumbes. La zonificación puede reflejar diferencias de altitud. Los límites de las zonas son aproximadamente 400, 800 y 1.500 metros en altitud. La litología en la cuenca San Julián, que consiste mayoritariamente en esquistos y gneisses, no es muy diferente desde el punto de vista de la ingeniería. Sin embargo, en la parte más baja de la cuenca, dos fallas principales son reportadas: La falla de San Sebastián que se encuentra a lo largo del margen de del río, y la falla de Macuto que cruza la cuenca cerca de 1 Km. arriba de la falla de San Sebastián (Figura S10-1.2.1). Estas son las principales fallas que afectaron los derrumbes en la parte más baja de la cuenca, solamente.

La Figura S10-2.2.22 muestra la vegetación en transición en las laderas Norte y Sur de las montañas de El Ávila. Es fácil discernir los diferentes tipos de vegetación ordenada en franjas horizontales en las montañas de El Ávila. Es posible que la diferencia de la configuración de los derrumbes refleje la transición de la vegetación, dado que no hay mucha diferencia en la litología ni en la precipitación en el desastre de 1999.

### 3.2 El Desastre de Maracay

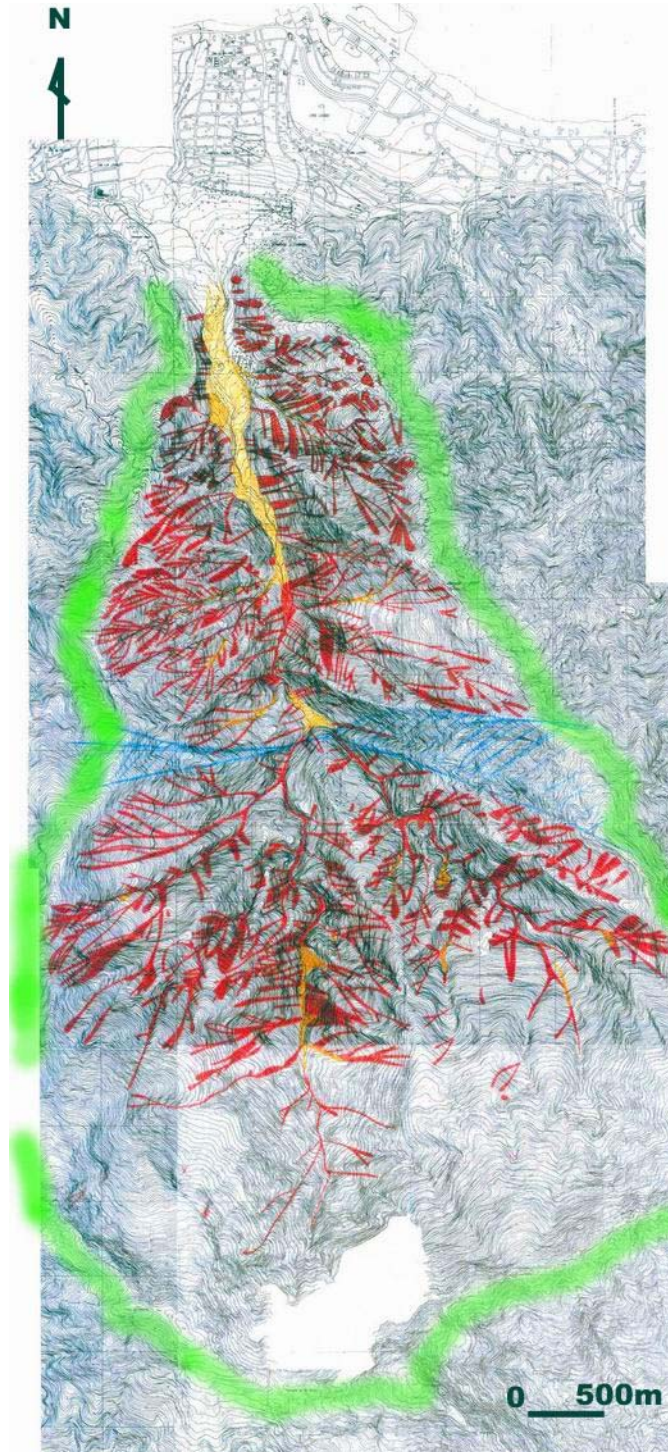
Los derrumbes que ocurrieron en el desastre de 1987 en la cuenca del Río Limón se muestran en la Figura S10-3.2.1. Este mapa de distribución de derrumbes fue dibujado utilizando fotos aéreas tomadas el 9 de septiembre de 1987, justo 3 días después del desastre.

El flujo de escombros ocurrió en los afluentes del Río Limón-Guacamaya, Guamita, Corrol de Pladra y El Codra. Los derrumbes ocurrieron en las áreas superiores/altas de estas quebradas. Los derrumbes están caracterizados por lo siguiente:

- Los derrumbes fueron sobre los 800 metros.
- Los derrumbes ocurrieron en un área limitada (Guacamaya, Guamita, Corrol de Pladra, El Codra)
- Los derrumbes ocurrieron en las laderas con cara al Sur o al Este
- Las localizaciones de los derrumbes no eran armonizadas con la geología y la vegetación como se muestra en las Figuras S10-3.2.2 y S10-3.2.3.



Figura S10-3.1.1 Mapa de Localización de los Desastres de Vargas y Maracay



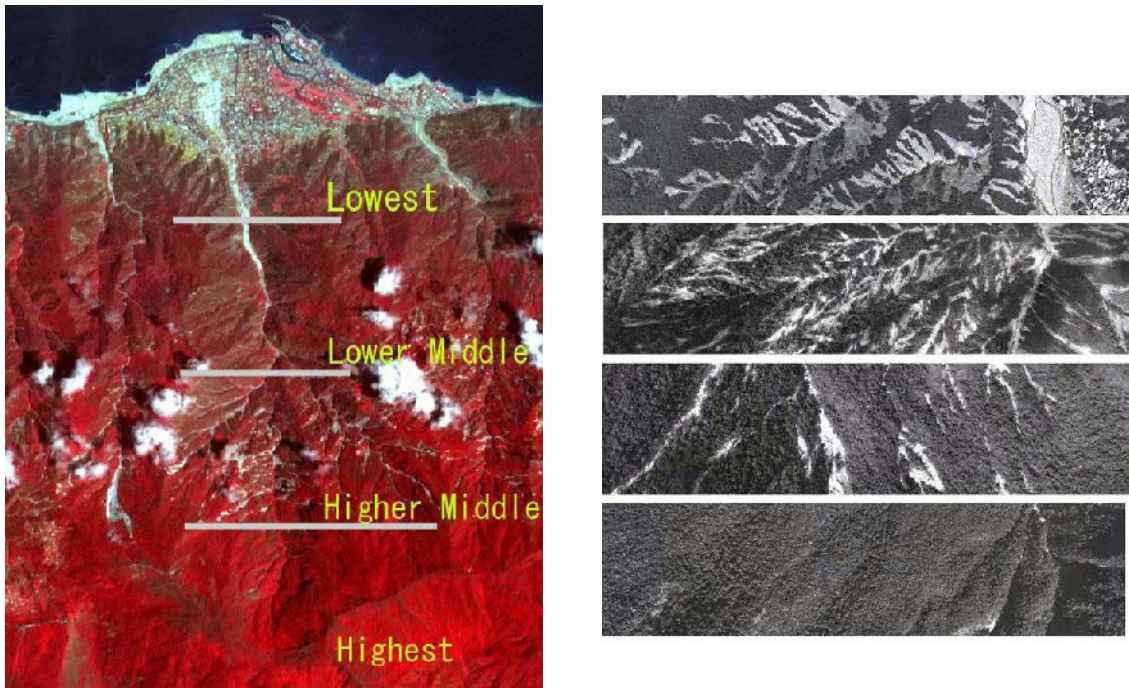
**rojo: colapsos y erosiones**

**naranja: depósito de escombros**

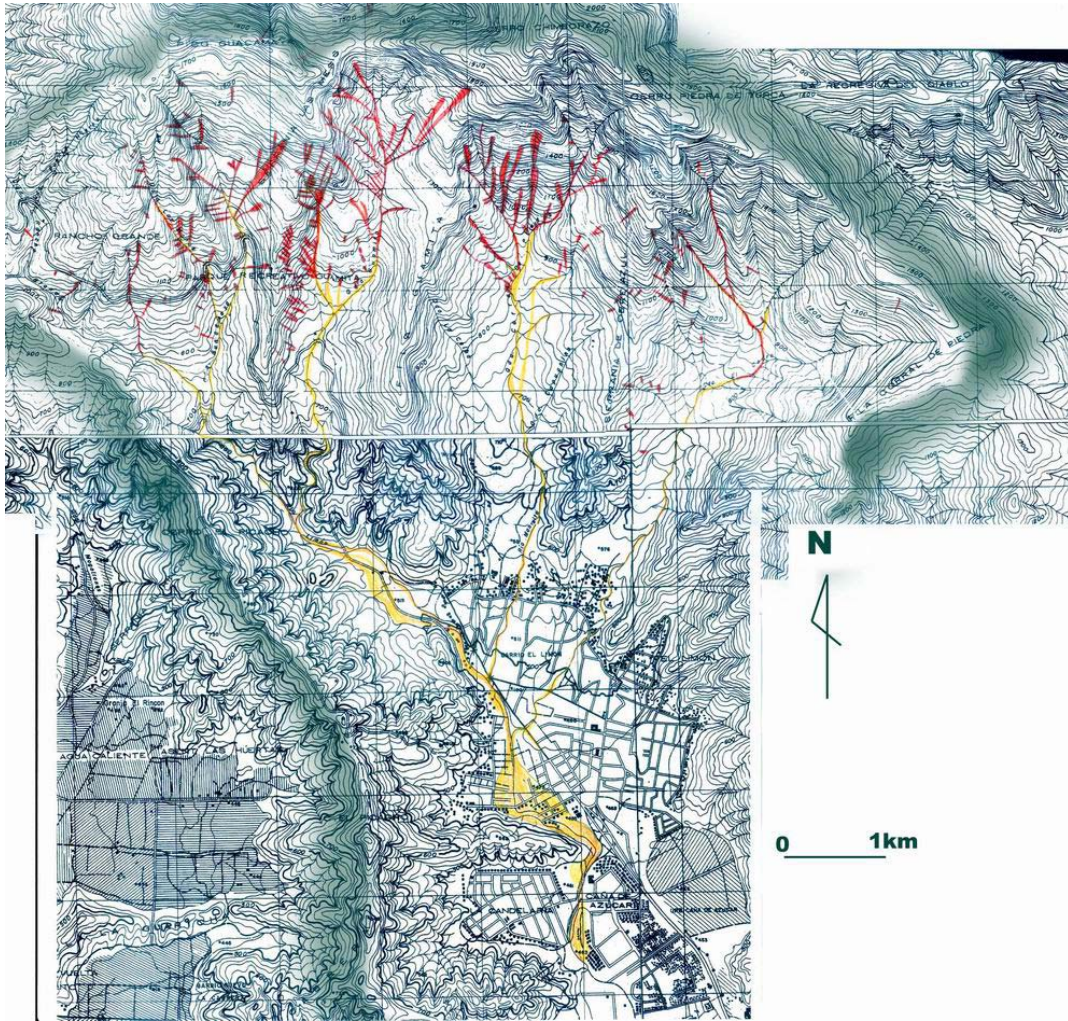
**Figura S10-3.1.2 Colapsos en la Cuenca San Julián**

**Utilizando una foto aérea tomada el 14 de diciembre, 2000**





**Figura S10-3.1.3 Imagen Satelital y Foto Aérea de la Cuenca de San Julián**  
**Hay Cuatro (4) Tipos de Derrumbes en la Cuenca San Julián**



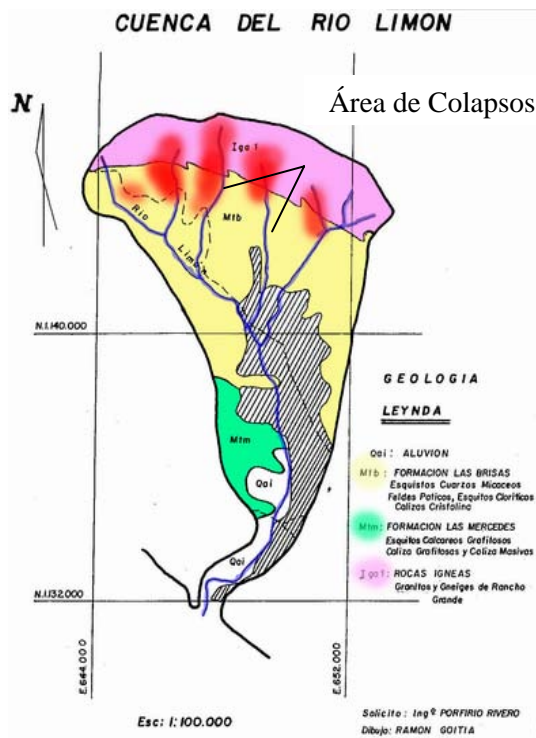
**rojo: colapsos y erosiones**

**naranja: depósito de escombros**

**Figura S10-3.2.1 Colapsos en la Cuenca del Río Limón**

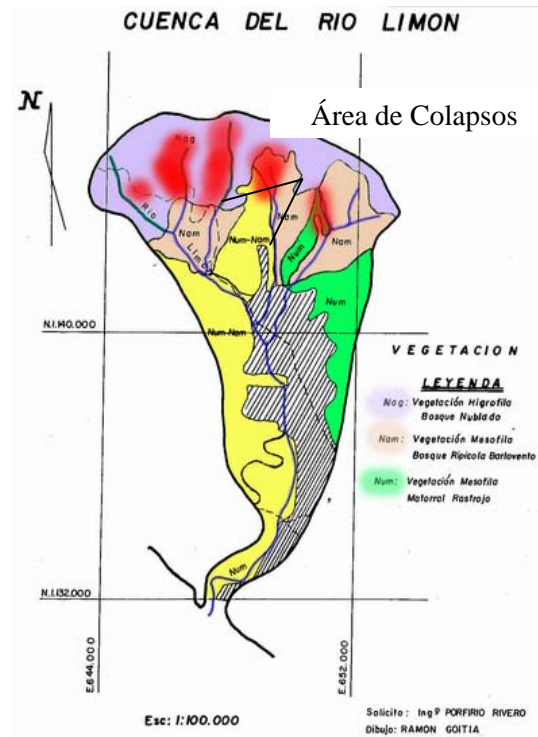
**Usando foto aérea tomada en septiembre 9, 1987**





**Figura S10-3.2.2**  
**Mapa Geológico**

(Fuente: Suministrado por MARN-Oficina Aragua)



**Figura S10-3.2.3**  
**Mapa de Distribución de la Vegetación**

(Fuente: Suministrado por MARN-Oficina Aragua)

## **CAPÍTULO 4 FACTOR PRINCIPAL DEL FLUJO DE ESCOMBROS EN LAS MONTAÑAS DE EL ÁVILA**

Los siguientes puntos son un resumen del estudio en las Montañas de El Ávila:

1. Aunque rocas relativamente suaves, como mármol o serpentinita, son reportadas en el lado occidental, no existe mayor diferencia de geología/litología entre el lado Este y el lado Oeste. La densidad de las fallas y particularidades tampoco es diferente entre el Este y el Oeste.
2. Los derrumbes recientes se encuentran más en el Oeste porque hubieron gran cantidad de derrumbes en diciembre 1999, y los derrumbes antiguos están dispersados en toda el área. Aunque hubo bastantes derrumbes en febrero de 1951, su vegetación se ha recuperado ya y actualmente son considerados como derrumbes antiguos.
3. La zona meteorizada es más gruesa en el Oeste que en el Este. Esto puede ser causado por el terreno. El material de la zona meteorizada es rico en gravilla y pobre en barro/arcilla.
4. Los escombros en las quebradas aparecen más en el Este. Esto puede ser causado porque las quebradas en el Este tienen escalones en su patrón y tienen un formato de rejilla angular en su perfil de drenaje.
5. La vegetación localizada más arriba de los 1.700 metros de altitud es más espesa que la de debajo de esta altitud. Por lo tanto, las cuencas de Catuche y Cotiza, que están en su mayor parte por debajo de 1.700 m., tienen vegetación más débil.

En el desastre de 1999, la ocurrencia del flujo de escombros no dependió de la fortaleza de la precipitación sino de la fortaleza del suelo. El suelo en el lado Oeste debería ser más débil, debido a que el flujo de escombros ocurrió en este lado y los derrumbes más recientes se pueden apreciar solamente del lado Oeste. La diferencia de la fuerza del suelo se debe a la protección brindada por la vegetación.

Del lado Este, el hecho de que la vegetación sea más espesa, la zona meteorizada es más delgada, los perfiles de las quebradas se ven escalonadas y las quebradas muestran un patrón en forma de trellis o angular indicando ser más fuerte contra el flujo de escombros.

Sin embargo, la distribución de los derrumbes antiguos se observa dispersa en el lado Este, lo que uniformemente muestra la posibilidad de que haya flujo de escombros en este lado. Si fuertes precipitaciones se hubiesen presentado solamente en el lado Este, el flujo de escombros únicamente ocurriría del lado Este.

## Referencias

- S10-1) RODRÍGUEZ, José Antonio, Franco URBANI, Franck AUDEMARD, Harald STOCKHAUSEN, Lucía BARBOZA, Siul RODRÍGUEZ, Luis MELO, Victor CANO, Juan Carlos SUAREZ, Adrian CASTILLO & Herbert FOURNIER (2002). El macizo del Ávila, geología y procesos de agradación ocurridos en Diciembre 1999 (The Ávila Massif, geology and agradation proceses happened in December 1999). Caracas, Geos 35, 4-12 pag.
- S10-2) URBANI Franco (2002). Geología del área de la autopista y carretera vieja Caracas-La Guaira, Distrito Capital y Estado Vargas, guía de excursión (Geology of Caracas- La Guaira Highway and old road, Capital District and Vargas State, Field trip guide), Caracas, Geos 35, 27-41 pag.
- S10-3) RODRÍGUEZ, José Antonio, Franco URBANI, Franck AUDEMARD, Harald STOCKHAUSEN, Lucía BARBOZA, Siul RODRÍGUEZ, Luis MELO, Victor CANO, Juan Carlos SUAREZ, Adrian CASTILLO & Herbert FOURNIER (2002). El macizo del Ávila, geología y procesos de agradación ocurridos en Diciembre 1999 (The Ávila Massif, geology and agradation proceses happened in December 1999). Caracas, Geos 35, 4-12 pag.
- S10-4) URBANI Franco (2002). Geología del área de la autopista y carretera vieja Caracas-La Guaira, Distrito Capital y Estado Vargas, guía de excursión (Geology of Caracas- La Guaira Highway and old road, Capital District and Vargas State, Field trip guide), Caracas, Geos 35, 27-41 pag.
- S10-5) SINGER Andre Michel (1977). Acumulatcions torenciales Holocenas catastroficas, de possible origin sismico, y movimientos Neotectonicos de subsidencia en La Parte Oriental del valle de Caracas, Geos 22, 64-65 pag.
- S10-6) AMEND Stephan (1991). Parque Nacional El Avila, Caracas, Imparques
- S10-7) SINGER Andre Michel, Recent techtonics, seismic morphogenesis and geological risk in the graben of Caracas, Venezuela



**S11**

**DESLIZAMIENTOS Y DERRUMBES DE PRECIPICIO**

*“Sé parte del plan, ¡Ayúdanos a prevenir desastres naturales!”*

*Reinaldo Ollarves*

ESTUDIO SOBRE  
EL PLAN BASICO DE PREVENCION DE DESASTRES  
EN EL DISTRITO METROPOLITANO DE CARACAS

INFORME FINAL

INFORME DE SOPORTE

S11

DERRUMBES Y DESLIZAMIENTOS

**CONTENIDO**

CAPITULO 1. GENERAL

CAPITULO 2. CARACTERISTICAS DE DERRUMBES Y DESLIZAMIENTOS

|     |                      |       |
|-----|----------------------|-------|
| 2.1 | Deslizamientos ----- | S11-2 |
| 2.2 | Derrumbes -----      | S11-2 |

CAPITULO 3. METODOLOGIA DEL ESTUDIO DE DERRUMBES Y  
DESLIZAMIENTOS

|     |  |       |
|-----|--|-------|
| 3.1 | Estudio de Colapsos Históricos -----                       | S11-4 |
| 3.2 | Selección -----  | S11-4 |
| 3.3 | Clasificación de Estabilidad de Pendientes Empinadas ----- | S11-6 |

CAPITULO 4. RESULTADOS DEL ESTUDIO DE DESLIZAMIENTOS Y  
DERRUMBES

|     |   |        |
|-----|---|--------|
| 4.1 | Estudio de Colapsos Históricos -----  | S11-11 |
| 4.2 | Identificación de Pendientes Riesgosas -----                                | S11-12 |
| 4.3 | Inspección en Sitio -----   | S11-13 |
| 4.4 | Área y Propiedad Afectada (Mapa de Riesgo) o Evaluación de<br>Amenaza ----- | S11-14 |
| 4.5 | Mapa de Clasificación de Pendientes para los Tres (3) Municipios -----      | S11-14 |

|             |                       |        |
|-------------|-----------------------|--------|
| CAPITULO 5. | RECOMENDACIONES ----- | S11-23 |
|-------------|-----------------------|--------|

## S11

### LISTA DE TABLAS

|                 |  |        |
|-----------------|--|--------|
| Tabla S11-2.1.1 | Diferencias entre Deslizamientos y Derrumbes -----                                       | S11-3  |
| Tabla S11-3.3.1 | Clasificación del Potencial de Inestabilidad de Pendientes -----                         | S11-6  |
| Tabla S11-4.1.1 | Resumen de Datos Históricos de Desastre por Protección Civil -----                       | S11-15 |
| Tabla S11-4.2.1 | Número de Pendientes con Inestabilidad Potencial<br>(Área de Estudio de Sedimentos)----- | S11-15 |
| Tabla S11-4.3.1 | Lista Preliminar de Inspección en Sitio -----  | S11-16 |
| Tabla S11-4.3.2 | Número de Pendientes con Inestabilidad Potencial-----                                    | S11-16 |
| Tabla S11-4.4.1 | Número de Casas Afectadas por Derrumbes y Deslizamientos -----                           | S11-17 |
| Tabla S11-4.5.1 | Número de Pendientes con Inestabilidad Potencial (3 Municipios) -                        | S11-17 |

## S11

### LISTA DE FIGURAS

|                  |   |        |
|------------------|---|--------|
| Figura S11-1.1.1 | Diagrama de Flujo del Estudio de Pendientes -----             | S11-1  |
| Figura S11-3.2.1 | Criterios para la Identificación de Unidad de Pendiente ----- | S11-7  |
| Figura S11-3.2.2 | Puntos Resaltantes de Identificación de Deslizamientos -----  | S11-7  |
| Figura S11-3.2.3 | Criterios para la Identificación de Deslizamientos -----      | S11-8  |
| Figura S11-3.2.4 | Criterios para la Identificación de Derrumbes -----           | S11-8  |
| Figura S11-3.2.5 | Puntos Resaltantes de Identificación de Derrumbes -----       | S11-9  |
| Figura S11-4.3.1 | Formato de Inspección de Pendientes (1/4) -----               | S11-18 |
| Figure S11-4.3.1 | Formato de Inspección de Pendientes (2/4) -----               | S11-19 |
| Figure S11-4.3.1 | Formato de Inspección de Pendientes (3/4) -----               | S11-20 |
| Figure S11-4.3.1 | Formato de Inspección de Pendientes (4/4) -----               | S11-21 |
| Figura S11-4.5.1 | Mapa de Clasificación de Pendientes -----                     | S11-22 |

### LISTA DE FOTOS

|                |   |        |
|----------------|---|--------|
| Foto S11-3.2.1 | Derrumbes y Deslizamientos en Caracas ----- | S11-10 |
|----------------|---|--------|



## S-11 DERRUMBES Y DESLIZAMIENTOS

### CAPÍTULO 1. GENERAL

El propósito de este estudio es identificar las pendientes que tienen la posibilidad de colapsar y causar un desastre, y luego elaborar el mapa de clasificación de pendientes. El mapa de clasificación de pendientes elaborado por el Equipo de Estudio muestra pendientes inestables las cuales pudieran afectar a la población.

Generalmente, en Japón se realiza de acuerdo con el diagrama de flujo de trabajo que se muestra en la Figura S11-1.1.1. La investigación de desastre en pendientes consiste de dos fases, llamadas “Estudio de Área Amplia” y “Estudio Individual de Pendientes (Investigación Minuciosa)”. El Equipo de JICA condujo el estudio hasta el “Análisis de Fotografía Aéreas y Mapa Topográfico” e “Identificación del Colapso Potencial de Pendientes (Selección)”, durante este estudio. El Equipo de Estudio propuso los criterios para la “Inspección de Amenaza por Pendientes” el cual es el siguiente paso en la Figura S11-1.1.1.

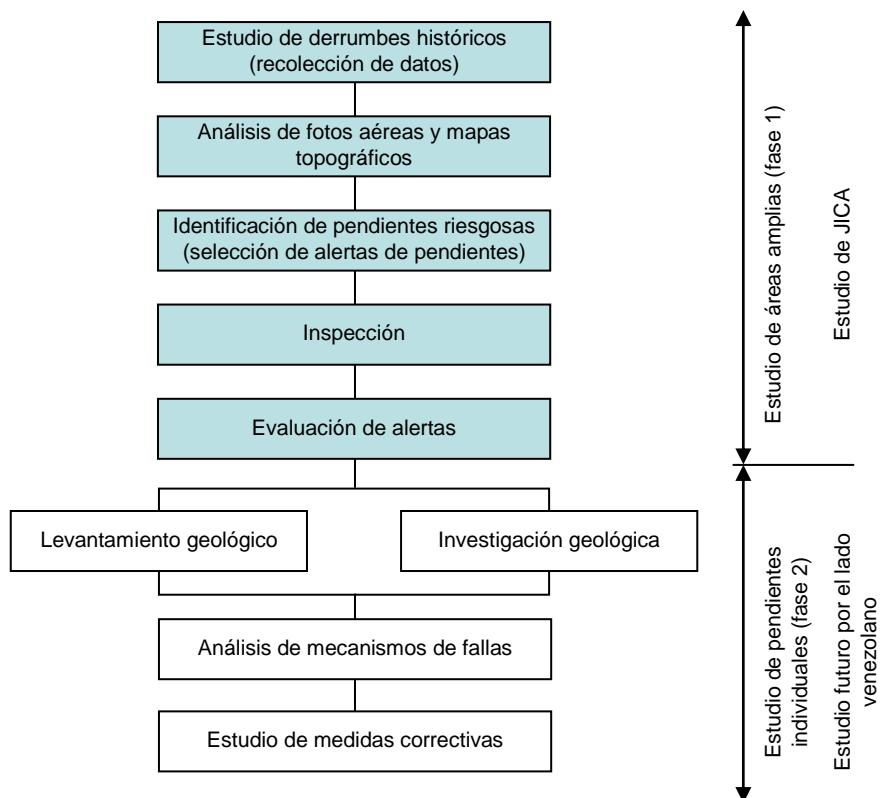


Figura S11-1.1.1 Diagrama de Flujo del Estudio de Pendientes

## **CAPÍTULO 2. CARACTERÍSTICAS DE DERRUMBES Y DESLIZAMIENTOS**

Los colapsos se dividen en dos tipos, llamados “Deslizamientos” y “Derrumbes” en este estudio. Esta es una práctica común en Japón. Las características de cada tipo de colapso se describen a continuación. Las deferencias entre deslizamientos y derrumbes se muestran en la Tabla S11-2.1.1

### **2.1 Deslizamientos**

Los deslizamientos son un tipo de movimiento de masa de pendientes. Generalmente, estos ocurren en pendientes suaves de 5 a 30 grados, y en un plano de deslizamiento como una capa delgada de arcilla o en una zona de material débil. El movimiento es continuo, y tiende a ser recurrente. La velocidad de movimiento es lenta tanto como 0.01 a 10 milímetros por día. Se pueden ver algunas indicaciones como grietas, subsidencia, protuberancias etc. en la superficie del terreno antes que ocurran los deslizamientos.

La causa de los deslizamientos está principalmente relacionada con las condiciones geológicas como el tipo de roca y la estructura geológica, y existen muchos casos en los cuales una zona de depósitos en una falla generan un plano de deslizamiento. El *fault gouge* es un tipo de capa de roca arcillosa en la falla, la cual fue generada por el movimiento de la falla. Los deslizamientos son reactivados por tormentas, y modificaciones artificiales al terreno como excavaciones al pie de la pendiente o la construcción de edificaciones sobre la pendiente (el peso de las edificaciones puede incrementar la fuerza causante). Un nuevo deslizamiento puede ocurrir como resultado de fuertes lluvias, terremotos y actividades humanas.

### **2.2 Derrumbes**

La escala de los derrumbes es menor que la de los deslizamientos. Generalmente, los derrumbes ocurren en pendientes empinadas de más de 30 grados. El gradiente del plano de deslizamiento es de 35 a 60 grados. La velocidad de colapso es muy rápida, a veces tanto como 10 milímetros por día. No hay muchos síntomas antes de la ocurrencia de un derrumbe, adicionalmente los derrumbes ocurren repentinamente. Los derrumbes frecuentemente ocurren en el plano que corresponde al límite entre la superficie de la capa de suelo y la roca base, o el límite entre la capa de suelo severamente meteorizado y la capa de suelo ligeramente meteorizado.

La causa principal de los derrumbes se relaciona con condiciones geológicas como el espesor de sobrecarga o capa de suelo meteorizado y estructura geológica. Los derrumbes son activados principalmente por fuertes precipitaciones y terremotos.

**Tabla S11-2.1.1 Diferencias entre Deslizamientos y Derrumbes**

|  | Deslizamientos   | Derrumbes   |
|--|--|---|
| Condición Geológica                        | Tipo de roca y estructura geológica.<br>Capa delgada de arcilla puede ser plana, de deslizamiento. | Espesor de capa de sobrecarga y capa meteorizada. |
| Gradiente de la superficie de la pendiente | Pendiente suave de 5 a 30 grados.  | Pendiente empinada mas de 30 grados.              |
| Movimiento                                 | Continuo, recurrente.  | Repentino   |
| Velocidad de Movimiento                    | Lento<br>0.01 a 10mm/día   | Rápido<br>Más de 10mm/día                         |
| Estructura de Deslizamientos de Masa       | No tan disturbado  | Disturbado  |
| Causa de Ocurrencia                        | Incremento del nivel freático, terremotos y modificación artificial del terreno                    | Precipitaciones y Terremotos                      |
| Escala                                     | Grande (1 a 100ha)   | Pequeño   |
| Síntoma                                    | Grietas, subsidencia y protuberancia<br>Cambio del nivel freático.                                 | raros   |
| Gradiente del Plano de Deslizamiento       | 10 a 25 grados   | 35 a 60 grados                                    |

## **CAPÍTULO 3. METODOLOGÍA DEL ESTUDIO DE DERRUMBES Y DESLIZAMIENTOS**

El “Estudio de Colapsos Históricos” y el “Análisis de Fotografía Aéreas y Mapa Topográfico” que se muestra en la Figura S11-1.1.1 fueron realizados para identificar la posibilidad de desastre por deslizamientos y derrumbes. La metodología de estos estudios se describe en las siguientes secciones.

### **3.1 Estudio de Colapsos Históricos**

Los colapsos históricos ocurridos en el área de estudio fueron analizados. Los datos fueron recopilados por Protección Civil y el cuerpo de bomberos del Distrito Metropolitano de Caracas. También, FUNVISIS tiene el informe de un estudio de colapsos históricos que fue recopilado del punto de vista de sismología, topografía y geología.

Especialmente, la información de los desastres que ocurrieron desde el año 1984 hasta el 2002 fueron recopilados por Protección Civil. Estos datos incluyen otros tipos de desastres como las inundaciones. Para este estudio, los datos de derrumbes que afectaron el objetivo de preservación fueron sacados de la base de datos de desastres históricos de Protección Civil y utilizados como entrada para el mapa de clasificación de pendientes.

### **3.2 Selección**

En este estudio, los objetos de desastres identificados son los “deslizamientos” y “derrumbes”, y los objetivos de preservación identificados son casas, instalaciones importantes y la vialidad que tenga más de cuatro carriles. La selección fue realizada usando fotografías aéreas tomadas en febrero del 2002 (escala: 1/25,000), Mapas Topográficos publicados en 1984 (escala: 1/5,000) e imágenes satelitales “*Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer (ASTER)*” tomadas en abril de 2003. En las pendientes que fueron identificadas durante la selección se considera que es posible que ocurran deslizamientos o derrumbes que pueden causar desastres.

El punto distintivo del estudio es identificar pendientes como una unidad. Cada unidad de pendiente que tiene posibilidad de colapsar fue identificada. La unidad de pendiente es definida por el patrón de pendientes (refiérase a la Figura S11-3.2.1). Por lo tanto, la unidad de pendiente está clasificada como pendiente convexa, pendiente cóncava o pendiente plana. Si una pendiente plana es continua, es dividida cada 200m a 250m de ancho. Este criterio está basado en el estándar de investigación de pendiente por unidad del Ministerio de Tierras, Transporte e Infraestructura de Japón.

Sin embargo en los “barrios” en pendientes empinadas, la mayoría de las casas están distribuidas en pendientes convexas y cóncavas continuamente sin un límite claro. Es difícil identificar claramente cada unidad de pendiente ya sea como cóncava o convexa. Por lo tanto, en el caso de pendientes convexas o cóncavas con “barrios”, las pendientes fueron divididas en dos (2) unidades separadas por la



línea de cambio de pendiente, a lo largo de la dirección de la misma como se muestra en el lado izquierdo de la Figura S11-3.2.1.

### **(1) Deslizamientos**

Es muy importante que se haga la lectura de la traza de los deslizamientos por medio de fotografías aéreas y mapas topográficos puesto que los deslizamientos tienen la propiedad de relapso en la pendiente de deslizamiento pasada (ver Foto S11-3.2.1). Las pendientes que son interpretadas como deslizamientos se han identificado. En lo concerniente al objetivo de protección contra deslizamientos, es el mismo que en el caso de los derrumbes; o sea, más de 5 casas o instalaciones importantes. Los puntos de identificación más resaltantes son los siguientes (ver Figura S11-3.2.2),

- Deslizamientos en escarpa: Se puede leer de las características del relieve y la transición del gradiente de la pendiente.
- Deslizamientos de masa: El área de deslizamientos de masa puede ser estimada de la diferencia de gradiente de la pendiente y el cambio de vegetación. Adicionalmente, las tierras desocupadas en áreas densamente construidas pueden ser sitios donde ocurrieron deslizamientos en el pasado.

### **(2) Derrumbes**

La metodología de identificación de pendientes empinadas en este estudio está basada en la Ley de Prevención de Desastres por Sedimentos en Japón. Las pendientes riesgosas fueron identificadas por condiciones como la altura de la pendiente mayor a 5m, y el gradiente de la pendiente mayor a 30 grados (ver la Figura S11-3.2.4 y la Foto S11-3.2.1). Con un objetivo de protección de 5 o más casas o algunas instalaciones importantes (por ejemplo hospital, escuela, fábrica). Adicionalmente, la vialidad con más de 2 carriles puede ser un objetivo de protección en el estudio (ver Foto S11-3.2.1).

Las condiciones geomorfológicas y geológicas, y las condiciones de la vegetación y uso de la tierra, obtenidos del mapa topográfico, fotografías aéreas e imágenes satelitales, fueron considerados para la identificación de derrumbes. Las imágenes satelitales fueron utilizadas para estudiar las condiciones de la vegetación. Los puntos de identificación más resaltantes (ver Figura S11-3.2.5) de los derrumbes son los siguientes,

- Colapso de pendiente: El área distribuida y el tipo de colapso pueden ser estimadas por el contraste de las sombras en las fotografías

aéreas, forma de la pendiente y transición del gradiente de la pendiente. En algunas pendientes se puede estimar si el derrumbe ocurrió recientemente o no, según las condiciones de la vegetación en las aéreo fotografías.

- Características Singulares del Relieve: La línea knick en pendiente, precipicios y pendientes empinadas puede ser reconocida por la forma de la superficie del terreno y la transición del gradiente de la pendiente. Se puede estimar si la superficie del terreno está cubierta o no por una capa de suelo meteorizado a partir del ángulo de la pendiente, cambio de vegetación y forma de la pendiente.

### 3.3 Clasificación de Estabilidad de Pendientes Empinadas

Basado en los resultados de selección y el registro histórico de colapsos, las pendientes empinadas seleccionadas fueron clasificadas en tres (3) rangos como se muestra en la Tabla S11-3.3.1.

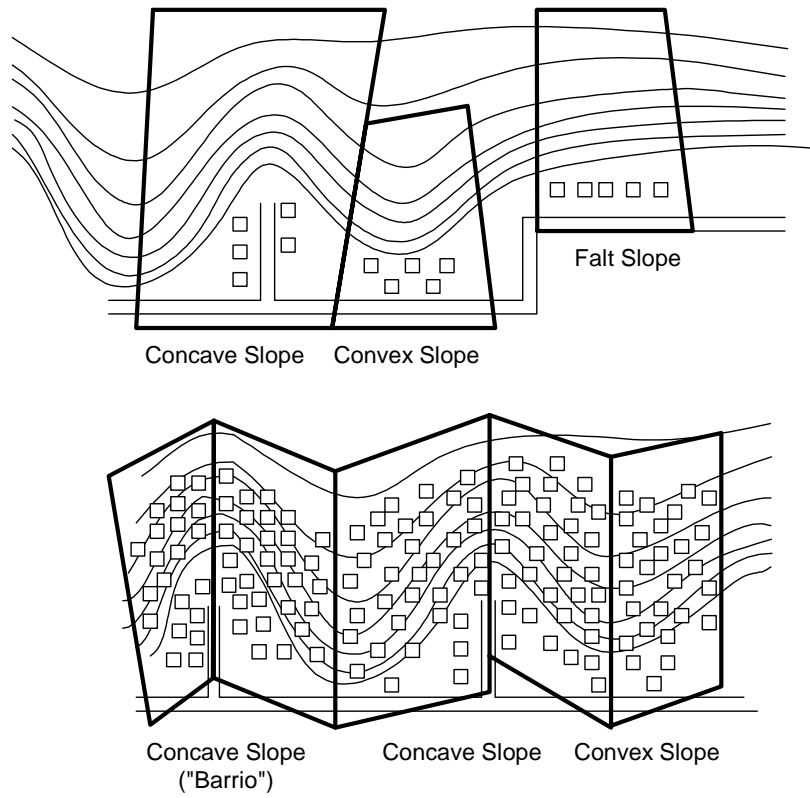
La inspección en sitio fue realizada según las pendientes que fueron identificadas en la selección usando el mapa topográfico y las fotografías aéreas. Como resultado de la inspección en sitio, las pendientes consideradas obviamente estables desde el punto de vista geológico fueron excluidas de la categoría de pendientes peligrosas.

La ubicación de pendientes que fueron identificadas en la selección y la inspección en sitio fueron datos de entrada para el Mapa de Amenaza de Pendientes del área de estudio de sedimentos. Cada pendiente tiene un número de capa en el SIG de la manera siguiente,

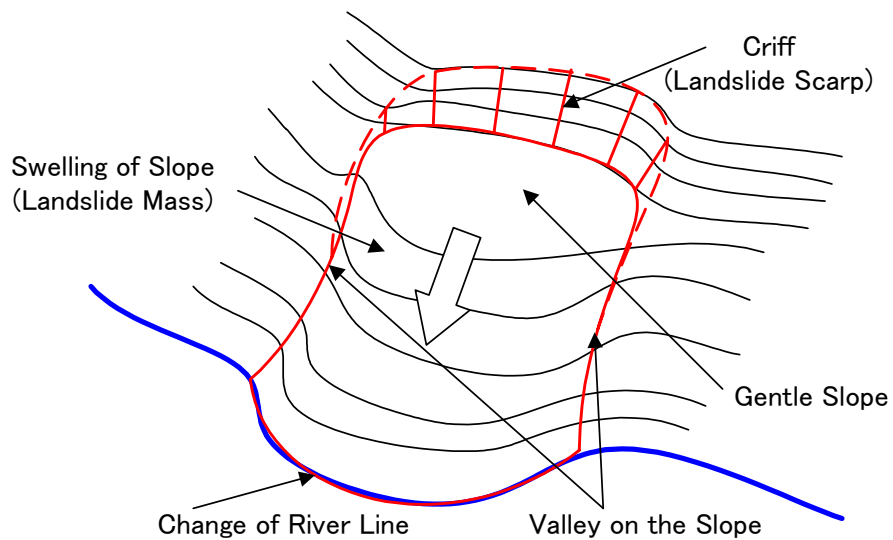
- Capa No. 40: Pendiente empinada sobre casa
- Capa No.43: Deslizamientos
- Capa No.44: Pendiente empinada sobre vialidad

**Tabla S11-3.3.1 Clasificación del Potencial de Inestabilidad de Pendientes**

| Grado    |                    | Descripción   |
|----------|--------------------|---|
| <b>1</b> | Alto Potencial     | Pendientes escogidas en la selección, y que tienen registros de colapsos anteriores.    |
| <b>2</b> | Potencial Moderado | Pendientes escogidas en la selección, y que no tienen registros de colapsos anteriores. |
| <b>3</b> | Potencial Bajo     | Las pendientes que no fueron escogidas en la selección.                                 |



**Figura S11-3.2.1 Criterios para la Identificación de Unidad de Pendiente**



**Figura S11-3.2.2 Puntos Resaltantes de Identificación de Deslizamientos**

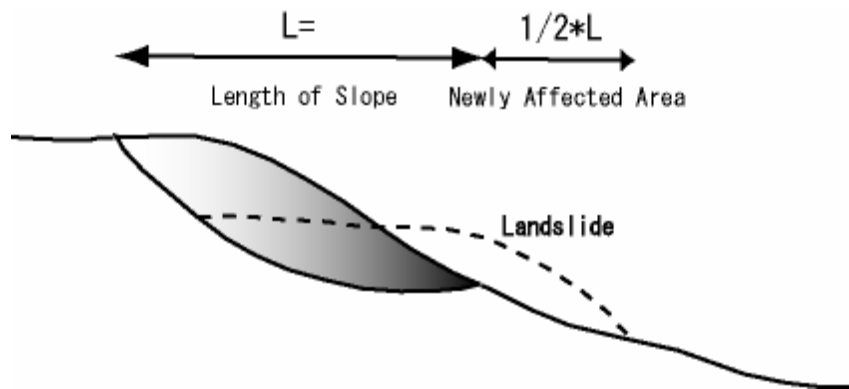


Figura S11-3.2.3 Criterios para la Identificación de Deslizamientos

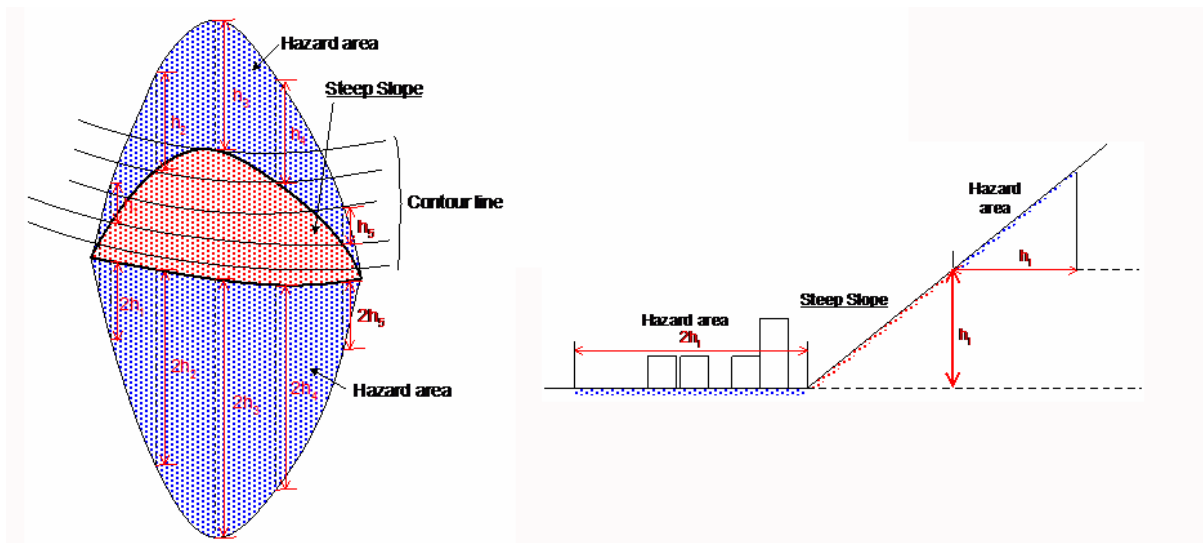
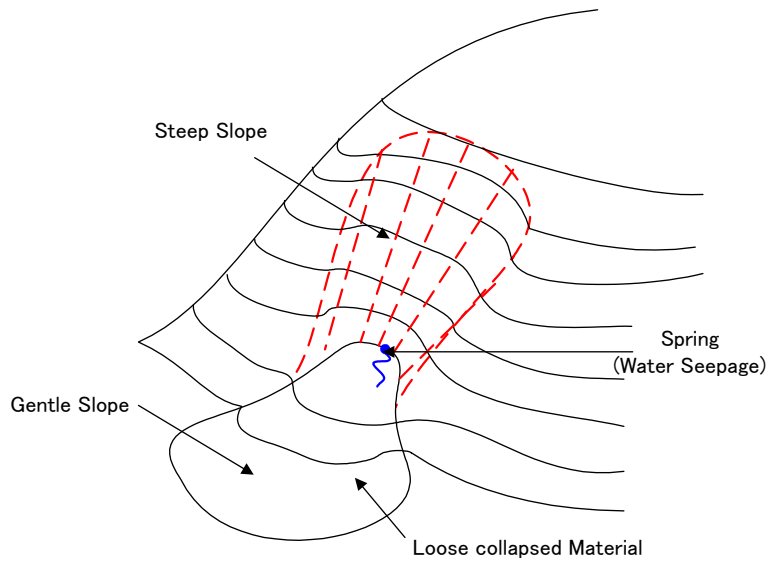


Figura S11-3.2.4 Criterios para la Identificación de Derrumbes

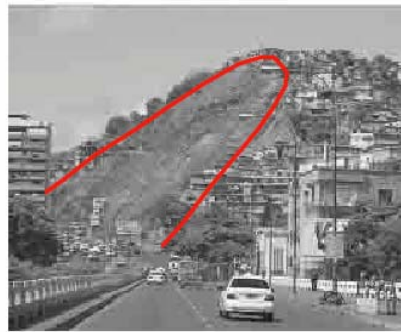




**Figura S11-3.2.5 Puntos Resaltantes de Identificación de Derrumbes**



Steep Slope Failure



Steep Slope Failure above Road



Landslide



Landslide in Tacagua Area

### Foto S11-3.2.1 Derrumbes y Deslizamientos en Caracas

## **CAPÍTULO 4. RESULTADOS DEL ESTUDIO DE DERRUMBES Y DESLIZAMIENTOS**

### **4.1 Estudio de Colapsos Históricos**

#### **(1) Programa Preventivo y de Actuación en Caso de Lluvias (Protección Civil)**

El informe anual de desastres en el Municipio Libertador es preparado por Protección Civil. Protección Civil Metropolitana tiene datos sobre los desastres históricos que han sido recopilados desde 1984 hasta 2002. De 1984 al 2000, los datos de desastre han sido registrados por el Municipio Libertador. Después del 2001, los datos de desastre cubren el completamente el área metropolitana de Caracas recopilados por Protección Civil Metropolitana. El Municipio Chacao también preparó un informe anual de desastres en 2001 y 2002. La compilación de estos datos se muestra en la Tabla S11-4.1.1. De acuerdo con los datos, el número de derrumbes es muy pequeño. Se supone que casi todos los derrumbes se identificaron como deslizamientos.

Fue difícil identificar las ubicaciones exactas de los desastres en pendientes a partir de los datos históricos de desastre que fue preparado por Protección Civil Metropolitana. Por lo tanto, las ubicaciones exactas de los desastres históricos fueron colocadas en el mapa topográfico (escala 1/5,000) de acuerdo con los resultados de entrevistas con Civil Protección Metropolitana.

#### **(2) Mapa de Amenaza de Pendientes (INGEOMIN)**

Un mapa de amenaza de pendientes fue preparado por el Instituto Nacional de Geología y Minas (INGEOMIN) como parte del "Proyecto Ávila". Las pendientes fueron evaluadas del punto de vista de estabilidad de pendiente basándose en condiciones topográficas y geológicas. Este mapa de amenaza de pendientes muestra las áreas de pendientes inestables. El mapa de amenaza de pendientes fue digitalizado en un mapa SIG. Los parámetros de clasificación de estabilidad de pendiente son los siguientes,

1. Clasificación de Roca: Grado de meteorización e intervalo de desarrollo de juntas
2. Estructura Geológica: Relación entre dirección de juntas principales y orientación de pendiente.
3. Tipografía: gradientes de la pendiente
4. Condiciones de la Pendiente: Forma de la pendiente, transición de la pendiente gradiente, erosión y condición del agua etc.

La estabilidad de la pendiente es evaluada basándose en los resultados de la consideración de cada uno de los parámetros. En el proyecto Ávila, la evaluación de la estabilidad de la pendiente es aplicada al área de Ávila. Si embargo, las pendientes en el área urbana no fueron estudiadas aplicando esta metodología.

### **(3) Inventario Nacional de Riesgos Geológicos (FUNVISIS)**

Este informe fue preparado en 1983. FUNVISIS realizó la identificación de derrumbes basándose en los datos de derrumbes pasados en Venezuela. La mayoría de los datos se obtuvo de periódicos, documentos y fotografías que fueron preparadas por el gobierno y documentos históricos de los siglos XVII y XVIII. Los puntos a los cuales el informe se dirige son en relación con terremotos, la relación con condiciones geológicas y las causas de ocurrencia. En el informe se usaron datos hasta el año 1981. FUNVISIS está preparando un informe actualizado usando datos desde 1982 hasta el presente.

### **(4) Base de Datos Históricas de Desastres (Cuerpo de Bomberos)**

El registro histórico de desastres es realizado por el Cuerpo de Bomberos Metropolitanos y por cada Municipio. El Cuerpo de Bomberos Metropolitanos recopila los datos de desastre de toda el Área Metropolitana de Caracas para elaborar la base de datos históricos de desastres y el mapa histórico de desastres. Las ubicaciones exactas de los desastres fueron colocadas en el mapa topográfico, de escala de 1/5,000 según las entrevistas con Protección Civil.

## **4.2 Identificación de Pendientes Riesgosas**

En la identificación de pendientes riesgosas, las pendientes que tienen posibilidad de colapsar y causar un desastre son identificadas mediante el uso de mapas topográficos, fotografías aéreas e imágenes satelitales.

El número identificado de posibles deslizamientos y derrumbes en el área de estudio de sedimentos se muestra en La Tabla S11-4.2.1.

De acuerdo con los resultados, ningún deslizamiento o derrumbe excepto en vialidad fue seleccionado en el Municipio Chacao, en el cual no hay muchas pendientes empinadas de más de 30 grados. Por otro lado, en los Municipios Libertador y Sucre se seleccionaron muchos posibles deslizamientos y derrumbes. En especial muchas trazas de deslizamientos y derrumbes fueron seleccionadas en el área de Carapita, en el área de Tacagua en el Municipio Libertador y en el área de Petare en el Municipio Sucre.

Existen algunos derrumbes en el área de estudio que ocurrieron durante el 1<sup>er</sup> periodo de estudio en Venezuela entre mayo y julio del 2003. Se observa esquisto suelto meteorizado distribuido en estas

áreas. Uno de estos derrumbes que ocurrió en el área Tacagua tenía un plano de deslizamiento que está ubicado en el límite del lecho rocoso y el terraplén (ver Foto S11-3.2.1).

El mapa de amenaza de pendientes que muestra los posibles deslizamientos y derrumbes fue preparado como uno de los mapas SIG del proyecto.

### **4.3 Inspección en Sitio**

El Equipo de Estudio trabajó hasta la identificación de deslizamientos y derrumbes riesgosos en el área de estudio. Adicionalmente, se propuso la metodología de “Inspección de Pendientes” para cada posible deslizamiento y derrumbe seleccionado. Este sería el próximo paso en el diagrama de flujo de trabajo como se muestra en la Figura S11-1.1.1.

En el caso de Japón, la metodología de la inspección de pendientes es presentada por el Ministerio de Tierra, Transporte e Infraestructura. La inspección de pendientes ha sido realizada en todo el Japón. El gobierno de cada prefectura en Japón ha construido una base de datos referente a la estabilidad de pendientes.

Los formatos de inspección de pendientes propuestos se muestran en la Figura S11-4.3.1. Estos formatos de inspección fueron preparados basados en la metodología Japonesa. Estos formatos de inspección están compuestos de las siguientes secciones: Datos General de Pendiente, Mapa de Ubicación, Diagrama del Sitio, Fotografía, Condición de la Pendiente y Medidas Existentes. En la sección de Condición de la Pendiente, la puntuación se basa en la topografía, geometría, material, estructura geológica, deformación y condición de la superficie. La puntuación completa es 100, que equivale a lo más peligroso. La puntuación de la condición geológica es muy significativa en la puntuación total.

La Tabla S11-4.3.1 muestra la lista de sitios para los cuales el Equipo de Estudio elaboró los formatos de inspección en el 1<sup>er</sup> periodo de estudio en Venezuela. Un total de 27 sitios fueron inspeccionados en Sucre y Libertador, en y alrededor del área de estudio de desastres por sedimentos.

La Tabla S11-4.2.1 también muestra el número de pendientes inestables después de la inspección dentro del área de estudio de sedimentos. Sin embargo, esta inspección fue realizada preliminarmente en el 1<sup>er</sup> periodo de estudio en Venezuela. Debido a problemas de seguridad en algunas áreas, no todas las áreas potenciales fueron inspeccionadas en el área de estudio de desastre por sedimentos.

El cuadro de evaluación de amenaza de inspección de pendientes se muestra en la Tabla S11-4.3.2. La puntuación total es de cien (100). Mientras más alta la puntuación, más alto es el potencial de colapso. De acuerdo con el cuadro, cuatro (4) pendientes entre las veintisiete (27) pendientes inspeccionadas corresponden a un Alto Potencial. Estas pendientes se suponen que tienen alto potencial de colapso, y se les debe realizar una investigación más detallada.

#### **4.4 Área y Propiedad Afectada (Mapa de Riesgo) o Evaluación de Amenaza**

En este estudio, se ha calculado el número de casas (edificaciones) que se suponen serían afectadas por derrumbes o deslizamientos en el área de estudio de sedimentos. En el cálculo del riesgo es utilizado el siguiente estándar para suponer el área afectada.

**Deslizamientos:** El área afectada por deslizamientos es difícil de estimar, ya que la distancia afectada por deslizamientos de masa difiere de acuerdo con las condiciones de geología, geomorfología y el tipo de deslizamiento. En este estudio, el área afectada por deslizamientos fue estimada como la mitad de la longitud de la pendiente del deslizamiento desde el pie del deslizamiento hasta su tope (Hiroyuki Nakamura, “Estimación del Comportamiento de Deslizamientos, Área de Difusión y de Sedimentos”, Fukada-ken Library No. 47, ver Fig. S11-3.2.3).

**Derrumbes:** El área supuestamente afectada por derrumbes es el área que se extiende en la base de la pendiente con una longitud igual al doble de la altura pendiente (máximo de 50m) y un área que se extiende en el tope de la pendiente con una longitud igual a la altura de la pendiente (máximo 50m) (ver Figura S11-3.2.2).

El número de casas se muestra en la Tabla S11-4.4.1. De acuerdo con esta tabla, el número de casas informales afectadas por derrumbes o deslizamientos es alrededor de 20 veces el número de casas formales afectadas. Se considera que la causa de este resultado es que la mayoría de las casas formales en el área de estudio por sedimentos se encuentran en el área plana como el Municipio Chacao, mientras que la mayoría de las casas informales están concentradas en el área de pendientes.

#### **4.5 Mapa de Clasificación de Pendientes para los Tres (3) Municipios**

En este estudio, la identificación de pendientes riesgosas fue realizada para los 3 municipios completos. Esas áreas seleccionadas fueron colocadas en el mapa de clasificación de pendientes como se muestra en la Figura S11-4.5.1.

La Tabla S11-4.5.1 muestra el número de pendientes inestables para los tres (3) municipios.

**Tabla S11-4.1.1 Resumen de Datos Históricos de Desastre por Protección Civil**

| Año  | Total | Deslizamientos | Derrumbe | Otros | Objetivo   |
|------|-------|----------------|----------|-------|------------|
| 1996 | 279   | 215            | 0        | 64    | Libertador |
| 1997 | 255   | 92             | 3        | 160   |            |
| 1998 | 181   | 59             | 1        | 121   |            |
| 1999 | 199   | 197            | 2        | 0     |            |
| 2000 | 357   | 128            | 1        | 228   |            |
| 2001 | 387   | 70             | 3        | 314   | Caracas    |
| 2002 | 220   | 19             | 6        | 185   |            |

**Tabla S11-4.2.1 Número de Pendientes con Inestabilidad Potencial  
(Área de Estudio de Sedimentos)**

| Municipio  | Derrumbe            |                       | Derrumbe sobre Vialidad |                       | Deslizamientos      |                       |
|------------|---------------------|-----------------------|-------------------------|-----------------------|---------------------|-----------------------|
|            | Antes de Inspección | Después de Inspección | Antes de Inspección     | Después de Inspección | Antes de Inspección | Después de Inspección |
| Libertador | 136                 | 89                    | 25                      | 25                    | 5                   | 7                     |
| Chacao     | 0                   | 0                     | 12                      | 12                    | 0                   | 0                     |
| Sucre      | 110                 | 89                    | 17                      | 15                    | 1                   | 1                     |

**Tabla S11-4.3.1 Lista Preliminar de Inspección en Sitio**

| Identificación de Pendientes | Tipo de Desastre | Municipio  | Objetivo para Preservación | Anotación |
|------------------------------|------------------|------------|----------------------------|-----------|
| 1                            | Derrumbe         | Sucre      | Residencial. Fábrica       | 54        |
| 2                            | Derrumbe         | Sucre      | Residencial. Fábrica       | 63        |
| 3                            | Derrumbe         | Sucre      | Residencial                | 58        |
| 4                            | Derrumbe         | Sucre      | Comercial                  | 39        |
| 5                            | Derrumbe         | Sucre      | Comercial                  | 15        |
| 6                            | Derrumbe         | Sucre      | Residencial                | 57        |
| 7                            | Derrumbe         | Sucre      | Residencial                | 46        |
| 8                            | Derrumbe         | Sucre      | Residencial                | 23        |
| 9                            | Derrumbe         | Sucre      | Residencial                | 62        |
| 10                           | Deslizamiento    | Sucre      | Residencial                | 41        |
| 11                           | Deslizamiento    | Libertador | Residencial                | 63        |
| 12                           | Derrumbe         | Libertador | Residencial                | 41        |
| 13                           | Derrumbe         | Libertador | Residencial                | 51        |
| 14                           | Derrumbe         | Libertador | Residencial                | 48        |
| 15                           | Derrumbe         | Libertador | Residencial                | 59        |
| 16                           | Derrumbe         | Libertador | Residencial                | 59        |
| 17                           | Derrumbe         | Libertador | Residencial                | 67        |
| 18                           | Derrumbe         | Libertador | Residencial                | 69        |
| 19                           | Derrumbe         | Libertador | Residencial                | 68        |
| 20                           | Deslizamiento    | Libertador | Residencial                | 40        |
| 21                           | Derrumbe         | Libertador | Residencial                | 47        |
| 22                           | Derrumbe         | Libertador | Residencial                | 39        |
| 23                           | Derrumbe         | Libertador | Residencial                | 66        |
| 24                           | Derrumbe         | Libertador | Residencial                | 53        |
| 25                           | Derrumbe         | Libertador | Residencial                | 48        |
| 26                           | Derrumbe         | Libertador | Residencial                | 51        |
| 27                           | Derrumbe         | Libertador | Residencial                | 45        |

**Tabla S11-4.3.2 Número de Pendientes con Inestabilidad Potencial**

| Riesgo Potencial | Puntuación       | Derrumbes | Deslizamientos |
|------------------|------------------|-----------|----------------|
| Muy Alto         | $R \geq 75$      | 0         | 0              |
| Alto             | $65 \leq R < 75$ | 4         | 0              |
| Moderado         | $50 \leq R < 65$ | 10        | 1              |
| Bajo             | $R < 50$         | 10        | 2              |



**Tabla S11-4.4.1 Número de Casas Afectadas por Derrumbes y Deslizamientos**

|                | Casas Interpretadas |          | Casa Afectadas |          | Total  |          |
|----------------|---------------------|----------|----------------|----------|--------|----------|
|                | Formal              | Informal | Formal         | Informal | Formal | Informal |
| Derrumbes      | 49                  | 6797     | 304            | 5197     | 353    | 11994    |
| Deslizamientos | 2                   | 383      | 16             | 139      | 18     | 522      |

**Tabla S11-4.5.1 Número de Pendientes con Inestabilidad Potencial (3 Municipios)**

| Municipio  | Deslizamientos | Derrumbes (Vialidad) |
|------------|----------------|----------------------|
| Libertador | <b>45</b>      | <b>1427 (57)</b>     |
| Chacao     | <b>0</b>       | <b>0 (12)</b>        |
| Sucre      | <b>6</b>       | <b>659 (33)</b>      |
| Total      | <b>51</b>      | <b>2086 (102)</b>    |



# SLOPE INSPECTION SHEET

**SHEET 1 / 4**

## General Slope Data

|                          |  |   |                |
|--------------------------|--|---|----------------|
| Type of Disaster         | <u>Slope Failure</u> / Landslide   | Municipality  | SUCRE (Lebrun) |
| Slope ID                 | 1  |   |                |
| Date Checked             | 28/7/2003  | Data Inspected  | 9/7/2003       |
| Checked by               | Fumihiko Yokoo   | Inspected by  | Takashi Hara   |
| Vegetation / Cultivation | Primary Forest / Trees / Grass / <u>Others</u>                                       | Barrio  |                |
| Target of Preservation   | <u>Residencia</u> / Hotel / Commercial / Hospital / <u>Factory</u> / School / Others | Ranchos, Factory  |                |
| Disaster Record          | No Records   |   |                |
| Existing Countermeasure  | Nothing  |   |                |
| Hazard Score             | 54   | Comment: The almost all surface of the slope is covered with Ranchos.<br>Toe of the slope is put some countermeasure partially. |                |
| Proposed Countermeasure  |  |   |                |
| Cost Estimation          | Quantity   | Unit Rate   | Amount         |

## Location Map (1:5,000)



Figura S11-4.3.1 Formato de Inspección de Pendientes (1/4)

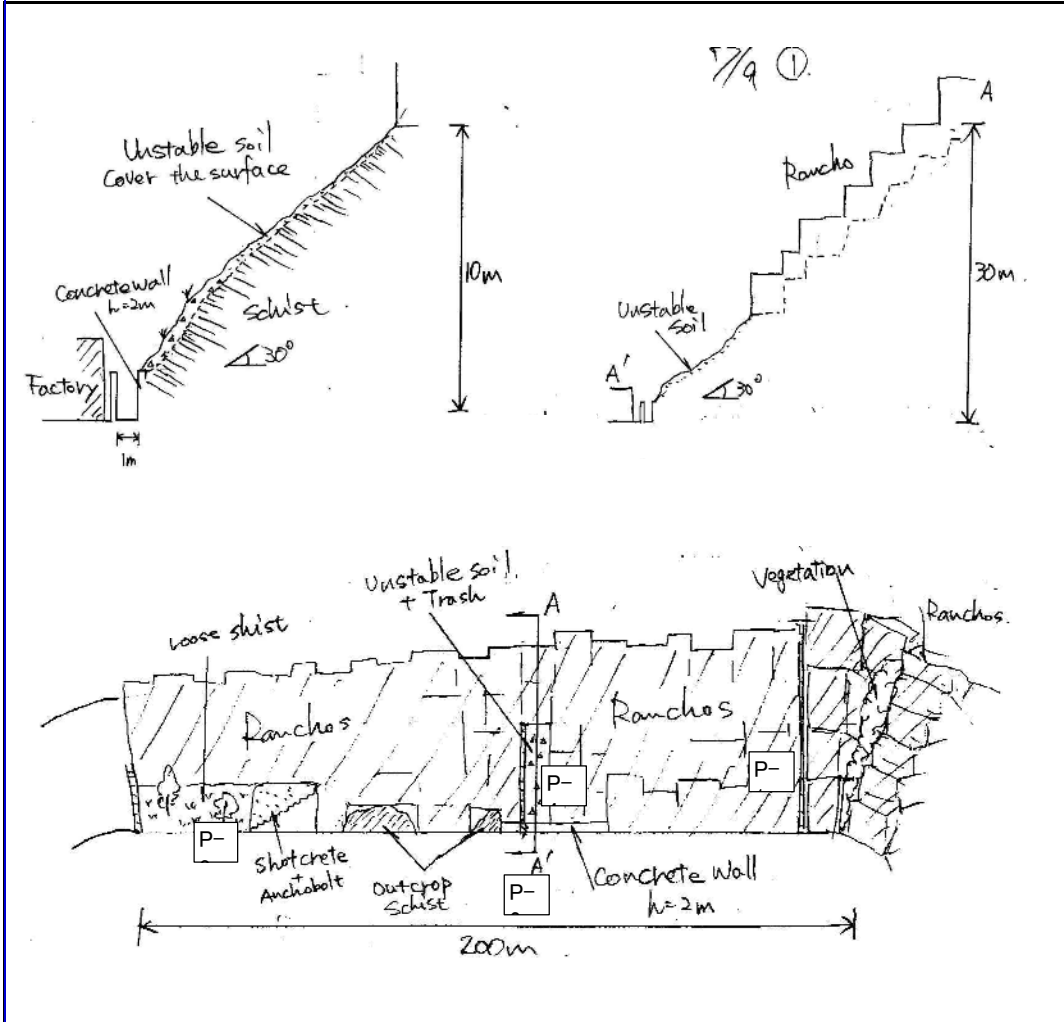


# SLOPE INSPECTION SHEET

SHEET 2/4

|          |   |                  |                                  |      |          |
|----------|---|------------------|----------------------------------|------|----------|
| Slope ID | 1 | Type of Disaster | <u>Slope Failure</u> / Landslide | Date | 9/7/2003 |
|----------|---|------------------|----------------------------------|------|----------|

## Sketch



## Remarks

- Weathered Schist distributes in this area.
- The almost all surface of the slope is covered with Ranchos.
- Some parts of the slope on which Rancho have not been constructed is covered with unstable soil.
- Some parts of toe of the slope are put countermeasure, but the other parts of toe of the slope still

Figura S11-4.3.1 Formato de Inspección de Pendientes (2/4)



## SLOPE INSPECTION SHEET

**SHEET 3/4**

|          |   |                  |                                      |      |          |
|----------|---|------------------|--------------------------------------|------|----------|
| Slope ID | 1 | Type of Disaster | <del>Slope Failure</del> / Landslide | Date | 9/7/2003 |
|----------|---|------------------|--------------------------------------|------|----------|

### Photograph



P-1 General View



P-2 The bare slope situation



P-3 Existing Countermeasure



P-4 Close view fo the bare slope

**Figura S11-4.3.1 Formato de Inspección de Pendientes (3/4)**


|  <b>SLOPE INSPECTION SHEET</b> |  |                            |  |
|---|--|----------------------------|--|
| 1 SLOPE FAILURE   |  | SHEET 4 / 4                |  |
| Slope ID  | 1  | Type of Disaster           | <u>Slope Failure</u> / Landslide Date 9/7/2003 |
| <b>Condition of Slope</b>   |  |                            | <input type="checkbox"/> Tick One              |
| <b>Topography</b>   | Alluvium Slope   | Yes                        | 2  |
|   |  | No                         | <input type="checkbox"/> 0                     |
|   | Trace of Collapse  | Yes                        | <input type="checkbox"/> 1                     |
|   |  | No                         | 0  |
|   | Clear Knick Point or Overha  | Yes                        | 1  |
|   |  | No                         | <input type="checkbox"/> 0                     |
| Concave Slope or Debris Sl  | Yes  | 1                          |  |
|   | No   | <input type="checkbox"/> 0 |  |
| <b>Geometry</b><br>Select A or B  | A : Soil Slope<br>H : Height<br>i : Angle of Slope   | H > 30m                    | 30   |
|   |  | H ≤ 30m, i > 45 deg        | 24   |
|   |  | 15m ≤ H < 30m, i ≤ 45 deg  | 20   |
|   |  | H < 15m, i ≤ 45 deg        | 10   |
|   | B : Rock Slope<br>H : Height   | H > 50m                    | 30   |
|   |  | 30 m ≤ H < 50m             | <input type="checkbox"/> 26                    |
| 15 m ≤ H < 30m  |  | 20                         |  |
|   | H < 15m  | 10                         |  |
| <b>Material</b><br>Select A and B   | A : Soil Character<br>Swelling Clay Contents   | Conspicuous                | 8  |
|   |  | Slightly                   | 4  |
|   |  | No Swelling Clay           | <input type="checkbox"/> 0                     |
|   | B : Rock Quality<br>Sheared Rock or Weathered Rock   | Conspicuous                | 8  |
|   |  | Slightly                   | <input type="checkbox"/> 4                     |
|   |  | No Available               | 0  |
| <b>Geological Structure</b>   | Dip Slope (Bedding, Weak Plane)  |                            | 8  |
|   | Soft Soil over Base Rock   | <input type="checkbox"/>   | 6  |
|   | Hard Rock over Weak Rock   |                            | 4  |
|   | Others   |                            | 0  |
| <b>Deformation</b>  | Slope Deformation<br>Gully Erosion, Rill Erosion, Mass Erosion, Fretting Erosion,<br>Rockfall, Exfoliation, Swelling | Clear                      | 10   |
|   |  | Obscure                    | <input type="checkbox"/> 8                     |
|   |  | No Slope Deformation       | 0  |
|   | Slope Deformation at adjacent slope<br>Rockfall, Collapse, Crack, Swelling, Other deformation                        | Clear                      | 5  |
|   |  | Obscure                    | 3  |
|   |  | No Slope Deformation       | <input type="checkbox"/> 0                     |
| <b>Surface Condition</b>  | Condition of Surface   | Unstable                   | 8  |
|   |  | Moderate                   | <input type="checkbox"/> 6                     |
|   |  | Stable                     | 0  |
|   | Ground Water   | Natural water spring       | 8  |
|   |  | Water seepage              | <input type="checkbox"/> 4                     |
|   |  | Dry                        | 0  |
|   | Cover  | No-vegetation, Grassland   | 4  |
|   |  | Complex (Grass, Structure) | <input type="checkbox"/> 3                     |
|   |  | Structure                  | 1  |
|   | Surface Drainage   | Available (Good)           | 0  |
|   |  | Available (Need Repair)    | 3  |
|   |  | Not Available              | <input type="checkbox"/> 6                     |
|   |  | Score                      | <b>64</b>                                      |
| <b>Countermeasure</b>   |  |                            | <input type="checkbox"/> Tick One              |
| Effective   |  |                            | -20  |
| Partially effective   |  | <input type="checkbox"/>   | -10  |

Figura S11-4.3.1 Formato de Inspección de Pendientes (4/4)

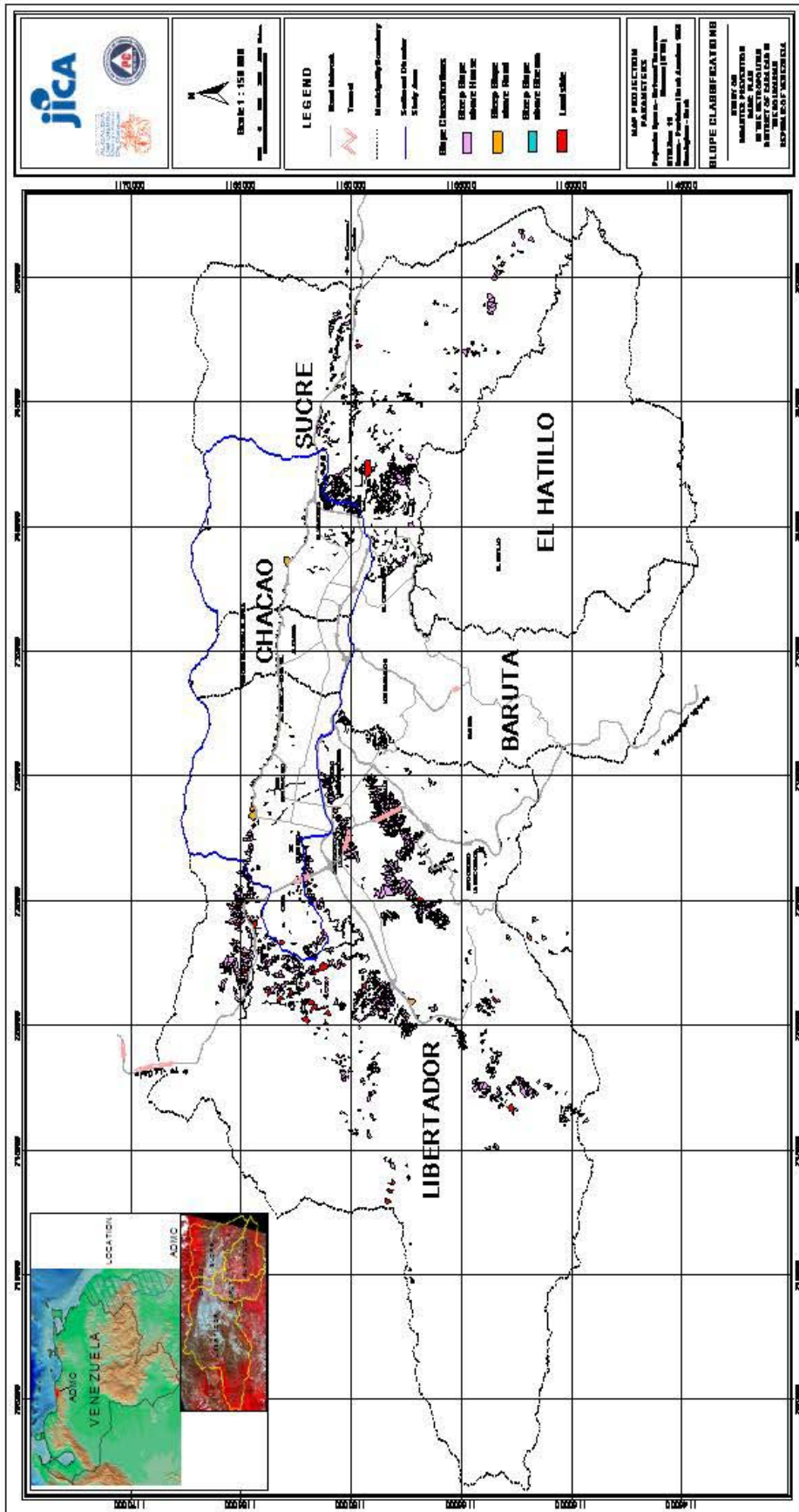


Figura S11-4-5.1 Mapa de Clasificación de Pendientes



## CAPÍTULO 5 RECOMENDACIONES

El Estudio fue realizado hasta la identificación de riesgo de deslizamientos y derrumbes. Adicionalmente, se sugirió el borrador de la metodología de “Inspección Pendiente” para cada posible deslizamiento y derrumbe seleccionado, el cual es el siguiente paso después de la identificación de las pendientes. El resultado de la inspección de las pendientes debe ser utilizado para modificar la base de datos. Estos datos pueden ser útiles para un futuro plan de prevención de desastres (decisión del orden de prioridad de las medidas para desastres en las pendientes) y un plan de desarrollo urbano el cual considera la implementación de medidas de protección o reubicación de residencia, instalaciones importantes e infraestructuras ubicadas en áreas peligrosas. Casi todas las residencias en el área de Barrio deben ser reubicadas porque éstas se encuentran ubicadas en áreas que se estima serán afectadas por desastres en las pendientes. Si es difícil la reubicación, algunas medidas de mitigación de desastre en las pendientes son necesarias. Existe un problema de drenaje el cual es un factor importante en la ocurrencia del colapso de pendientes. Por ejemplo, suministrando un sistema de drenaje en la superficie de la pendiente, éste podría guiar el agua de lluvia y de desperdicio doméstico de las residencias hacia el río o a los drenajes bajo la pendiente, y se considera que se podría reducir el potencial de desastres en las pendientes. El suministro de obras de drenaje abiertas y cerradas puede ser realizado a costos moderados, y se espera que sean efectivas para la mitigación de desastres en las pendientes.

Es deseable integrar los datos históricos de desastres en las pendientes manejados por INGEOMIN, el Cuerpo de Bomberos, Protección Civil, y FUNVISIS. Estos datos deben ser actualizados en el sistema de base de datos, y es preferible la construcción de un sistema al cual las organizaciones involucradas que necesiten usar los datos puedan acceder libremente.

Este estudio ha seleccionado solo las pendientes con alta posibilidad de colapso. Una investigación más detallada (por ejemplo, reconocimiento geológico, prueba dinámica de penetración de cono, estudio de perforación) es necesaria para cada pendiente para consideración de las medidas apropiadas. Los objetivos de protección que son las casas o las instalaciones, las cuales se encuentran ubicadas debajo de las pendientes identificadas en este estudio, deberán ser observadas durante eventos anormales como terremotos o fuertes precipitaciones. Adicionalmente, se debe prestar atención especial si los siguientes fenómenos son observados en la pendiente.

=>Se encuentra una grieta en la pendiente.

=>Se encuentra filtración de agua ordinariamente en la pendiente.

=>Se encuentran rocas caídas de la pendiente.

Cuando se encuentren algunas grietas en el área de deslizamientos, se deben colocar pilares de acero o madera a través de la grieta. Una manera simple de monitorear la actividad de los deslizamientos es midiendo la distancia entre los pilares.

Es difícil predecir la ocurrencia de derrumbes (colapso) ya que ocurren repentinamente. Por lo tanto, es deseable construir un sistema en el que las organizaciones involucradas o el administrador del distrito patrullen durante climas anormales, y puedan responder a situaciones no esperadas.



**S12**

**ESTUDIO DE FLUJO DE ESCOMBROS Y SEDIMENTOS**

*“Lo peor de una tragedia,  
es que uno nunca sabe que hacer. PREVEE, INFORMATE”*

*Francisco Layrisse*

ESTUDIO SOBRE  
EL PLAN BASICO DE PREVENCION DE DESASTRES  
EN EL DISTRITO METROPOLITANO DE CARACAS

INFORME FINAL

INFORME DE SOPORTE

S12

ESTUDIO DE FLUJO DE ESCOMBROS Y SEDIMENTOS

**CONTENIDO**

CAPITULO 1. POTENCIAL DE FLUJO DE ESCOMBROS

|          |  |       |
|----------|--|-------|
| 1. 1     | General -----  | S12-1 |
| 1. 1. 1. | Procedimiento del Estudio -----  | S12-1 |
| 1. 1. 2. | Definición del Término Técnico -----   | S12-1 |
| 1. 2     | Identificación de Quebradas con Potencial de Flujo de Escombros -----        | S12-2 |
| 1. 3     | Identificación del Área Potencialmente Afectada por Flujo de Escombros ----- | S12-3 |
| 1. 4     | Categorización del Potencial de las Quebradas para Flujo de Escombros-----   | S12-3 |
| 1. 5     | Factores para la Ocurrencia de Flujo de Escombros -----                      | S12-4 |
| 1. 5. 1. | Pendiente del lecho de quebrada -----  | S12-4 |
| 1. 5. 2. | Área de Capturas -----   | S12-4 |
| 1. 5. 3. | Condición del Lecho de Quebrada -----  | S12-4 |
| 1. 5. 4. | Condición de la Pendiente de Montaña-----                                    | S12-4 |
| 1. 5. 5. | Condición de la Estructura de Control de Sedimentos -----                    | S12-5 |
| 1. 6     | Bosquejo de la Condición de las Quebradas -----                              | S12-5 |
| 1. 7     | Volumen de Sedimentos -----  | S12-6 |
| 1. 7. 1. | Balance Sedimentario-----  | S12-6 |
| 1. 7. 2. | Potencial de Flujo de Escombros-----   | S12-9 |

CAPITULO 2. AMENAZA / RIESGO DEL FLUJO DE ESCOMBROS

|        |   |        |
|--------|---|--------|
| 2.1    | Mapeo de Quebradas -----  | S12-22 |
| 2.2    | Metodología -----   | S12-22 |
| 2.3    | Método 1: Método Japonés de la Ley de Prevención de Desastres por Sedimentos----- | S12-23 |
| 2.3.1. | Descarga Pico y Altura del Flujo de Escombros -----                               | S12-23 |
| 2.3.2. | Ancho del Flujo de Escombros (B) -----  | S12-24 |
| 2.3.3. | Cambio Longitudinal del Flujo de Escombros -----                                  | S12-24 |
| 2.3.4. | Definición de “Zona Roja”-----  | S12-25 |
| 2.3.5. | Definición de “Zona Amarilla”-----  | S12-26 |
| 2.3.6. | Mapa de Amenaza por el Método –1 -----  | S12-27 |
| 2.4    | Método 2: Método del Modelo FLO-2D-----   | S12-28 |
| 2.4.1. | Parte Hidrológica-----  | S12-28 |
| 2.4.2. | Parte Hidráulica (FLO-2D) -----   | S12-28 |
| 2.4.3. | Modelación del FLO-2D para Caracas -----  | S12-31 |
| 2.4.4. | Corridas del Modelo del FLO-2D-----   | S12-33 |

## S12

### LISTA DE TABLAS

|                 |   |        |
|-----------------|---|--------|
| Tabla S12-1.5.1 | Condiciones del Cruce de las Quebradas en Cota Mil-----                                 | S12-10 |
| Tabla S12-1.6.1 | Lista de Planos por Sección, Pendiente y Columna-----                                   | S12-11 |
| Tabla S12-1.7.1 | Volumen de Escorrentía de Sedimentos-----   | S12-12 |
| Tabla S12-2.1.1 | Quebradas Sujetas al Mapeo de Amenaza por Flujo de Escombros -                          | S12-34 |
| Tabla S12-2.2.1 | Estructura Modelo-----  | S12-34 |
| Tabla S12-2.2.2 | Diferencia entre el Modelo FLO-2D del Proyecto Ávila y<br>el del Equipo de Estudio----- | S12-34 |
| Tabla S12-2.3.1 | Volumen de Escorrentía de Sedimento mediante el Método-1 y<br>Método-2 -----            | S12-35 |
| Tabla S12-2.3.2 | Ejemplo del Resultado del Cálculo (Catuche)-----  | S12-36 |
| Tabla S12-2.3.3 | Propiedad en Zonas Amarilla y Roja (Base Quebradas Principales)                         | S12-37 |
| Tabla S12-2.3.4 | Propiedad en Zonas Amarilla y Roja (Base Abanicos Aluviales)----                        | S12-38 |

## S12

### LISTA DE FIGURAS

|                  |   |        |
|------------------|---|--------|
| Figura S12-1.2.1 | Definición de Quebradas de 1er Orden-----   | S12-13 |
| Figura S12-1.2.2 | Concepto del Orden de Quebradas de Strahler -----   | S12-13 |
| Figura S12-1.2.3 | Límite de Subcuencas para las Quebradas de 2 <sup>do</sup> Orden<br>como Unidades de Captura----- | S12-14 |
| Figura S12-1.5.1 | Perfil del Lecho de Quebrada-----   | S12-15 |
| Figura S12-1.5.2 | Sedimento Inestable en el Lecho de Quebrada -----   | S12-16 |
| Figura S12-1.5.3 | Derrumbes Potenciales -----   | S12-17 |
| Figura S12-1.6.1 | Puntos en donde se Realizaron los Croquis para las<br>Secciones, Pendientes y Columnas-----       | S12-18 |
| Figura S12-1.7.1 | Movimiento de Sedimentos Antes y Después de la<br>Inundación de Diciembre 1999 -----              | S12-19 |
| Figura S12-1.7.2 | Flujo de Evaluación para el Volumen Objetivo de<br>Sedimento -----                                | S12-19 |
| Figura S12-1.7.3 | Tasa de Derrumbe de Pendiente y Área de Captura -----   | S12-20 |
| Figura S12-1.7.4 | Volumen de Sedimento Objetivo-----  | S12-20 |
| Figura S12-1.7.5 | Volumen de Sedimento Objetivo por Área de Captura-----  | S12-21 |
| Figura S12-2.3.1 | Modelo Estructural para la Columna de Concreto -----  | S12-39 |
| Figura S12-2.3.2 | Curvas de la Fuerza Resistente para la Delineación de la<br>Zona Roja -----                       | S12-39 |
| Figura S12-2.3.3 | Ejemplo de los Cortes Transversales para el Método 1 -----  | S12-41 |
| Figura S12-2.3.4 | Definición de la Zona Amarilla -----  | S12-42 |
| Figura S12-2.3.5 | Regla del Abanico-----  | S12-41 |
| Figura S12-2.3.6 | Mapa de Amenaza por Flujo de Escombros Utilizando el<br>Método-1 -----                            | S12-44 |
| Figura S12-2.3.7 | Cantidad de Casas en la Zona Roja -----   | S12-46 |
| Figura S12-2.3.8 | Mapa de Riesgo para el Flujo de Escombros -----   | S12-46 |
| Figura S12-2.4.1 | Gráfico de la Descarga de Sedimento -----   | S12-46 |
| Figura S12-2.4.2 | Profundidad para un Período de Retorno de 100 Años, bajo<br>Condiciones Existentes -----          | S12-39 |
| Figura S12-2.4.3 | Velocidad para un Período de Retorno de 100 Años, bajo<br>Condiciones Existentes -----            | S12-39 |

Figura S12-2.4.4 Profundidad para un Período de Retorno de 100 Años, bajo  
Condiciones de Presas Sabo -----S12-40

## **S-12 ESTUDIO DE FLUJO DE ESCOMBROS Y SEDIMENTOS**

### **CAPÍTULO 1. POTENCIAL DE FLUJO DE ESCOMBROS**

#### **1.1 General**

##### **1.1.1. Procedimiento del Estudio**

El estudio de flujo de escombros cubre desde la investigación básica hasta la estimación del potencial del flujo de escombros para ser utilizado en las próximas etapas a seguir, que serían el mapeo de amenazas, las medidas estructurales y las no estructurales.

De la sección 1.2 a la sección 1.6 se describen las directrices sobre un estudio en Japón del potencial del flujo de escombros en quebradas.

##### **1.1.2. Definición del Término Técnico**

Esta sección presenta la definición de varios términos técnicos usados en el estudio de sedimentos en general.

###### **Corriente de Montaña**

La corriente de montaña se define como la corriente principal que se origina desde la ladera sureña de El Ávila y se une al Río Guaire, pasando a través del Valle de Caracas. La corriente de montaña se denomina “quebrada” en el idioma Español en Caracas.

###### **Quebrada de 1er Orden**

Ver la sección 1.2. Este concepto es la base que define el tamaño de la unidad de captura (cuenca) para el estudio de sedimentos.

###### **Unidad de Captura (Cuenca)**

La unidad de captura (cuenca) es una cuenca básica para el cálculo de la escorrentía de sedimentos. Cuando el volumen de la escorrentía de sedimentos es calculado a partir del colapso de una pendiente (derrumbe) individual y el sedimento inestable en una quebrada, un (1) volumen es calculado para una unidad de captura (cuenca). En este estudio la unidad de captura fue definida como la cuenca de quebrada de 2do orden, considerando el tamaño de la cuenca de la quebrada principal.

###### **Punto Básico**

Punto Básico es una sección del curso principal de quebrada en el cual el volumen total de sedimentos aguas arriba es calculado para las contramedidas del flujo de escombros. En otras palabras, todas las

contramedidas tales como el dique sabo son propuestas a partir del punto básico corriente arriba para el volumen de sedimentos estimado. En el estudio los puntos básicos de la mayoría de las quebradas están en la sección transversal de la Cota Mil, las cuales corresponden al ápice del abanico aluvial.

## Flujo de Escombros

El flujo de escombros es un flujo de inundación que contiene sedimentos y agua significantes, el cual es generado en la parte superior de la quebrada debido al derrumbe y erosión de sedimentos inestables en el lecho de la quebrada.

### **1.2 Identificación de Quebradas con Potencial de Flujo de Escombros**

Una quebrada puede ser definida como una topografía con un valle sobre un mapa topográfico de escala 1:5.000. La quebrada tiene varios órdenes, tales como 1<sup>er</sup>, 2<sup>do</sup>, 3<sup>er</sup>, etc.

La quebrada de 1<sup>er</sup> orden puede ser definida como una quebrada que tiene las siguientes condiciones:

- La longitud de “b” es mayor que la de “a”.
- Episodios de flujo de escombros y evidencias a partir de las cuales el flujo de escombros puede ocurrir.

Generalmente, el análisis de sedimentos es conducido sobre la base del concepto de la unidad de captura (cuenca). La Figura S12-1.2.2 presenta el concepto de orden de quebrada de Strahler. Cuando este concepto es aplicado, es conveniente comparar una gran cantidad de cuencas de quebradas sobre una condición común para los fenómenos del transporte de sedimentos. En el caso del área de estudio, la quebrada de 2<sup>do</sup> orden debería ser tratada como una unidad de captura para considerar el tamaño completo de la cuenca y la densidad de drenaje.

La Figura S12-1.2.3 presenta el límite de subcuenca para la unidad de captura de la quebrada de 2<sup>do</sup> orden en las corrientes de montaña. La delineación fue conducida basándose en el Mapa Topográfico a escala 1:5.000 de 1984 y 1954.

El número total de unidades de captura es 195. Entre las 47 quebradas, la cuenca de la Quebrada Tócome tiene 26 unidades de captura como el máximo.

El máximo orden de quebrada es cinco (5) en la Quebrada Tócome. Las cuencas que tienen 4<sup>to</sup> orden de quebradas son Catuche, Cotiza, Capellán, La Julia, Galindo y Caurimare, así como Tócome.



### **1.3 Identificación del Área Potencialmente Afectada por Flujo de Escombros**

El Valle de Caracas se formó por depósitos de sedimentos generados desde El Ávila. Ciertamente como lo indicó el Dr. Singer, los abanicos aluviales se desarrollaron corriente abajo desde el límite entre el área montañosa del Macizo Ávila y el Valle de Caracas. Las quebradas, afluentes del Río Guaire que tienen su origen en la zona montañosa, cambian abruptamente de pendiente, dando lugar a la deposición de abanicos aluviales.

El área potencialmente afectada por flujo de escombros de El Ávila es definitivamente el abanico aluvial dentro del Valle de Caracas. Desde el punto de vista geomorfológico, tales abanicos aluviales pueden ser considerados como el área definitivamente afectada por flujo de escombros.

Adicionalmente, el ápice de abanico aguas abajo es densamente ocupado por propiedades valiosas, tales como casas de barrio y casas formales/ edificios.

En Japón, un área potencialmente afectada por el flujo de escombros es definida por condiciones topográficas. En principio, el área potencialmente afectada por flujo de escombros es el área desde el punto de generación de flujo de escombros en la montaña hasta el abanico aluvial cuya pendiente tiene alrededor de 2-3 grados. En este estudio, tal criterio en Japón puede ser aplicado al área de estudio de sedimentos en Caracas.

### **1.4 Categorización del Potencial de las Quebradas para el Flujo de Escombros<sup>1</sup>**

En Japón, el potencial de una quebrada para flujo de escombros está clasificado basado en el tipo y el número de la propiedad objetivo a ser protegida. El tipo sería por ejemplo una casa residencial o edificio público, etc. El número de la propiedad es más de cinco (5) o menos. En el área de estudio de sedimentos, el área potencialmente afectada por el flujo de escombros está ya altamente ocupada por casas residenciales y edificios públicos, etc. El número de la propiedad va mucho más allá de cinco (5). En este estudio, el potencial de una quebrada para flujo de escombros no está clasificado en términos del tipo ni del número de las propiedades objetivo a ser protegidas.

---

<sup>1</sup> “Ministerio de Construcción, Guías para el estudio de torrentes propicios a flujo de escombros y áreas de riesgo de flujo de escombros, 1999”

## 1.5 Factores para la Ocurrencia de Flujo de Escombros

### 1.5.1. Pendiente del Lecho de Quebrada

Generalmente, la relación entre la generación de flujo de escombros y la pendiente del lecho de quebrada es como sigue:

| Categoría de Pendiente         | Descripción General de la Sección |
|--------------------------------|-----------------------------------|
| $20^\circ < \theta$            | Generación                        |
| $15^\circ < \theta < 20^\circ$ | Generación y Transporte           |
| $10^\circ < \theta < 15^\circ$ | Transporte                        |
| $3^\circ < \theta < 10^\circ$  | Deposición                        |

La Figura S12-1.5.1 muestra el perfil de la pendiente del lecho de quebrada a lo largo del troncal del caudal de la mayor quebrada en El Ávila. En la parte superior de la quebrada hay secciones tanto de generación de flujo de escombros como de transporte, pero por debajo de la elevación de 1.000 metros, las secciones principalmente son para deposición.

### 1.5.2. Área de Capturas

El área de captura del punto básico aguas arriba se muestra en la Tabla S12-1.5.1. El punto básico de cada quebrada principal se corresponde al punto en el cual el flujo de escombros comienza a propagarse (inundación). En la actualidad, el punto básico de cada quebrada principal es el punto de cruce de la Cota Mil.

### 1.5.3. Condición del Lecho de Quebrada

La Figura S12-1.5.2 muestra la distribución de sedimentos inestables sobre el lecho de quebrada basada en la investigación de campo en este estudio. Puede observarse que las cuencas orientales tienen más sedimentos inestables sobre el lecho de quebrada. Debido a que en Diciembre 1999 entre los flujos de escombros que ocurrieron en El Ávila, sólo los flujos de escombros en la cuenca occidental arribaron al ápice del abanico aguas abajo. El flujo de escombros en la cuenca oriental permaneció en El Ávila.

### 1.5.4. Condición de la Pendiente de Montaña

La Figura S12-1.5.3 muestra la distribución del potencial de colapso de pendiente (derrumbe) en base de la investigación de campo en este estudio. Los derrumbes recientes, incluyendo los derrumbes activos, se asumen que son aquellos que ocurrieron en Diciembre 1999. Los derrumbes recientes son principalmente reconocidos en la parte superior de la cuenca occidental, mientras que algunos derrumbes recientes son observados en la parte media de la cuenca oriental. Los derrumbes antiguos se asumen que son de una escala de tiempo de varios centenares y millares de años. Los derrumbes

antiguos están principalmente distribuidos en la cuenca oriental, especialmente en la parte más baja de la cuenca.

### **1.5.5. Condición de la Estructura de Control de Sedimentos**

#### **(1) Condición en las cercanías de la Cota Mil**

La Avenida Boyacá, mejor conocida como “Cota Mil”, es la estructura más importante para las quebradas de El Ávila. Las principales quebradas para el flujo de escombros fueron clasificadas dependiendo de la relación con la “Cota Mil” (Tabla S12-1.5.1).

Entre las cuarenta y siete (47) quebradas principales en total, las quebradas que no son afectadas por la “Cota Mil” en el punto básico son cinco (5) quebradas al oeste de la Quebrada Cotiza y tres (3) quebradas al Este de la Quebrada Caurimare.

Las restantes treinta y nueve (39) quebradas principales son cruzadas por la “Cota Mil” en sus ápices de abanico, éste es el punto básico en este estudio. Los tipos de vías de cruce son puentes, terraplenes con grandes alcantarillas y terraplenes con pequeñas alcantarillas/ tuberías. El puente de cruce puede observarse en las quebradas Tócome, Chacaíto y Gamboa. Comparativamente, alcantarillas de gran tamaño pueden ser vistas en las quebradas Cotiza, Anauco y Caurimare. Incluyendo éstas y para otras quebradas, la información recolectada o confirmada en el sitio se muestra en la Tabla S12-1.5.2. Sin embargo, la mayoría de los sitios están ocupados por propiedades privadas y públicas, y también existe un problema de seguridad, por lo tanto la confirmación del sitio fue difícil para el Equipo de Estudio.

#### **(2) Otros**

Hay pocas estructuras de control de sedimentos en El Ávila actualmente. Solamente una presa de concreto abandonada, para el suministro de agua, en la Quebrada Galindo fue reconocida durante la visita de campo. Asimismo, a partir de las fotos aéreas, hubieron una cuantas trincheras de pequeña escala en el lecho de quebrada.

### **1.6 Bosquejo de la Condición de las Quebradas**

En la investigación de las quebradas, croquis para la sección típica, pendiente y columna de meteorización fueron realizados como se muestra en la Tabla S12-1.6.1. La localización de cada croquis se muestra en la Figura S12-1.6.1.

## **1.7 Volumen de Sedimentos**

### **1.7.1. Balance Sedimentario**

Para la evaluación de la posibilidad del flujo de escombros en las quebradas, es importante analizar el mecanismo de escorrentía de sedimentos. El desastre de diciembre de 1999 en la montaña El Ávila, es el único ejemplo disponible para un análisis suficiente.

#### **(1) Balance Sedimentario en Diciembre 1999**

Durante el evento de inundación de Diciembre 1999, la escorrentía de sedimentos más importante hacia el área urbana tuvo lugar en las quebradas Catuche, Cotiza y Anauco. En otras quebradas el movimiento de sedimentos podría haber ocurrido dentro de la cuenca, sin embargo la escorrentía fue muy poca hacia el área urbana. Tomando aquí el fenómeno en las quebradas Catuche, Cotiza y Anauco en 1999 como material, fue evaluada la proporción del volumen de escorrentía de sedimentos respecto al de sedimento inestable en la cuenca.

La Figura S12-1.7.1 muestra la imagen esquemática del sedimento inestable en una cuenca antes y después del evento de 1999. Antes de 1999 había una cantidad de sedimento inestable en el lecho de quebrada.

Para el evento de Diciembre de 1999, se asume que la pendiente escarpada, mejor conocida como derrumbe activo y derrumbe reciente, se colapsó y se incorporó a las quebradas conectivas. Alguna parte del sedimento derrumbado y del sedimento inestable sobre el lecho de quebrada se fue aguas abajo hacia el área urbana. El volumen de escorrentía de sedimentos en 1999 fue de 50.000 m<sup>3</sup> en la Quebrada Catuche (según el Estudio), 39.000 m<sup>3</sup> en la Quebrada Cotiza según PREVENE y 31.000 m<sup>3</sup> en la Quebrada Anauco, según PREVENE.

Después del evento de Diciembre de 1999, no ha habido una escorrentía de sedimentos de mayor importancia hasta ahora, el sedimento remanente está depositado sobre el lecho de quebrada.

La parte baja de la Figura S12-1.7.1 explica el saldo de sedimentos en el evento de 1999 para las tres (3) quebradas. La columna izquierda de cada quebrada es la sumatoria de la escorrentía de sedimentos de 1999 (=A) y el sedimento inestable actual sobre el lecho de quebrada. El lado derecho de la columna de cada quebrada es la sumatoria (=B) del sedimento derrumbado en 1999 y el sedimento depositado sobre el lecho de quebrada antes de 1999. El único factor desconocido es el depósito de sedimento sobre el lecho de quebrada antes de 1999. Este podría ser calculado si las columnas izquierda y derecha fueran iguales.

El sedimento objetivo y su grosor asumido y proporción de escorrentía se muestra abajo:

| <b>Tipo de Sedimento</b>                    | <b>Espesor (m)</b>            | <b>Proporción de escorrentía de sedimento sobre quebrada conectiva</b> |
|---|-------------------------------|--|
| Sedimento inestable sobre lecho de quebrada | Varia según orden de quebrada | -  |
| Derrumbe activo                             | 1,5                           | 1,0  |
| Derrumbe reciente cubierto con grama        | 2,0                           | 0,7  |

La proporción de la escorrentía de sedimento en 1999 sobre el sedimento inestable antes de 1999 puede ser calculada con la siguiente fórmula:

$$R = \frac{A}{B}$$

Donde *A* es el volumen de escorrentía de sedimento en 1999; *B* es la sumatoria del sedimento derrumbado en 1999 y el depósito de sedimento sobre el lecho de quebrada antes de 1999. El sedimento derrumbado en 1999 significa aquí el derrumbe activo y el derrumbe reciente cubierto con grama. El volumen *A* de las quebradas Cotiza y Anauco incluye la deposición justamente aguas arriba de la Cota Mil.

La proporción resultante (=R) es 0,20 – 0,25 y 0,27 para las quebradas Catuche, Cotiza y Anauco, respectivamente.

Basado en este resultado, tomando un margen de seguridad, la proporción de 0,30 puede ser aplicada para la evaluación de la escorrentía de sedimento en el siguiente evento de precipitación que corresponda al de Diciembre 1999.

## **(2) Saldo de Sedimentos para Eventos Futuros**

Asumiendo el evento correspondiente al de Diciembre 1999, para las 47 quebradas, el volumen de la escorrentía de sedimento fue estimado como sigue (Figura S12-1.7.2):

La proporción del área de derrumbe activo sobre el área de captura total fue calculada como 3,7 % para la parte occidental de El Ávila, en la cual los derrumbes significativos ocurrieron en 1999 (Figura S12-1.7.3). Este cálculo fue efectuado basándose en el mapa geomorfológico realizado en el Estudio.

El área de derrumbe asumida para el evento escenario fue calculada como el producto 3,7 % multiplicado por cada área de captura.

El volumen de sedimento generado a partir del área de derrumbe asumida fue calculado como el producto del área de derrumbe de arriba, el espesor y la proporción del volumen de sedimento remanente.

| Espesor (m) | Proporción del volumen de sedimento remanente sobre al volumen de derrumbe |
|-------------|--|
| 2,3         | 0,3  |

Finalmente, para calcular el volumen de escorrentía de sedimento por debajo del punto de control de cada cuenca, la proporción de la escorrentía de sedimento para un evento futuro sobre el sedimento inestable actual se asume como  $R = 0,3$  para la cuenca principal, cuya área es mayor que  $1,0 \text{ km}^2$ , mientras que  $R = 1,0$  fue aplicada a las cuencas pequeñas remanentes.

Este volumen de escorrentía de sedimento por debajo del punto de control es una clase de valor potencial basado en las condiciones en la parte superior de El Ávila. El volumen de escorrentía de sedimento por debajo del punto de control es, de hecho, afectado por la condición topográfica alrededor del punto de control y de la condición hidrológica. Como es ampliamente llevado a cabo en Japón, el siguiente volumen de sedimento fue calculado como el valor posible a través del punto de control:

$$V_{ec} = \frac{10^3 \cdot Rt \cdot A}{1 - \lambda} \left( \frac{Cd}{1 - Cd} \right) \cdot fr$$

Donde  $A$ : Área de captura en  $\text{Km}^2$ ,  $Rt$ : 24 horas de precipitación en mm para el período de retorno seleccionado,  $\lambda$ : factor de vacío ( $= 0.4$ ),  $fr$ : factor de escorrentía,  $Cd$ : concentración de sedimento como función de la pendiente del lecho de quebrada.

$Cd$  es calculado de la siguiente manera,

$$C_d = \frac{\rho \cdot \tan \theta}{(\sigma - \rho)(\tan \phi - \tan \theta)}$$

$\rho$ : densidad del agua

$\sigma$ : densidad del sedimento

$\phi$ : fricción interna del ángulo de sedimento

$\theta$ : pendiente media del lecho 200m río arriba del punto básico

$fr$  es calculado de la siguiente manera,

$$fr = 0.05(\log A - 2.0)^2 + 0.05$$

$A$ : área de captación ( $\text{km}^2$ )

Si el *Vec* es más pequeña que el volumen de escorrentía asumido, el *Vec* es seleccionado como el volumen de sedimento diseñado.

La Figura S12-1.7.4 muestra la escorrentía de sedimento estimada para cada cuenca principal. La cuenca No.14 está en la Quebrada Tócome, la cual tiene el mayor volumen de escorrentía de sedimento entre todas. El segundo volumen más grande se espera en la Quebrada Caurimare (No. 4). Las quebradas Catuche (No.44) y Cotiza (No.42) tienen un volumen estimado más pequeño comparado con el de la parte oriental de El Ávila, debido a que el sedimento inestable en esas dos quebradas ya fue arrastrado de la cuenca en 1999.

La Figura S12-1.7.5 indica la comparación de la escorrentía de sedimento estimado en Caracas y en Vargas y Japón. Los valores específicos por Km<sup>2</sup> en Caracas son posicionados en una parte más baja comparada a aquellos en Vargas. Esto se debe a que la cantidad de precipitación para los datos en Vargas es mucho más grande que en Caracas. Las dos (2) líneas paralelas indican el rango del volumen específico de escorrentía de sedimento en Japón para una condición geológica similar a Caracas. El volumen de sedimento asumido en Caracas es también básicamente posicionado en la parte más baja, como en Japón.

### **1. 7. 2. Potencial de Flujo de Escombros**

En términos de la pendiente del lecho de quebrada, no hay diferencia significativa ni entre las cuarenta y siete (47) quebradas, ni entre las cuencas. Por lo tanto, el volumen total de sedimento inestable y el área de derrumbes recientes y antiguos es un factor importante para indicar el potencial de flujo de escombros.

Como principal área de captura, Tócome, Caurimare, Galindo, Chacaíto y Cotiza tienen, en este orden, mucho sedimento para ser generado en el caso de una inundación futura como se muestra en la Figura S12-1.7.4. La Tabla S12-1.7.1 es el resumen del volumen de escorrentía de sedimento para períodos de retorno de 100 y 25 años.

**Tabla S12-1.5.1 Condiciones del Cruce de las Quebradas en Cota Mil**

| No. de Captación | Nombre de Captación | Área de Captación<br>(km2) | Volumen de Almacenamiento en la Cota Mil aguas arriba<br>(m3) | Condiciones de Cruce en la Cota Mil |                     |                      |          |                                     |
|------------------|---------------------|----------------------------|---|-------------------------------------|---------------------|----------------------|----------|-------------------------------------|
|                  |                     |                            |   | Puente                              | Alcantarilla Grande | Alcantarilla Pequeña | No Info. | Comentario                          |
| -                | Agua Salud          |                            |   |                                     |                     |                      |          |                                     |
| 47               | Agua Salud          | 0.48                       |   |                                     |                     |                      |          |                                     |
| 46               |                     | 0.08                       |   |                                     |                     |                      |          |                                     |
| 45               | St. Isabel          | 0.09                       |   |                                     |                     |                      |          |                                     |
| 44               | Catucho             | 4.50                       |   |                                     |                     |                      |          |                                     |
| 43               |                     | 0.27                       |   |                                     |                     |                      |          |                                     |
| 42               | Cotiza              | 3.80                       | 444,852   |                                     | *                   |                      |          | 3.5m*2.3m 2 Caja                    |
| 41               | Anauco              | 3.69                       | 116,246   |                                     | *                   |                      |          | 5.5m*9m 1 Caja                      |
| 40               |                     | 0.19                       | 176   |                                     |                     |                      | *        |                                     |
| 39               | Beatas              | 0.43                       | 680   |                                     |                     |                      | *        |                                     |
| 38               |                     | 0.19                       | 14,941  |                                     |                     |                      | *        |                                     |
| 37               | Gamboa              | 3.07                       | -   | *                                   |                     |                      |          | Bridge with pier (Open)             |
| 36               |                     | 0.27                       |   |                                     |                     |                      | *        |                                     |
| 35               | Canoas(Sarria)      | 0.57                       | 21,338  |                                     |                     | *                    |          | 1300mm 1nos.                        |
| 34               |                     | 0.09                       |   |                                     |                     |                      | *        |                                     |
| 33               | Mariperez           | 0.70                       | 72,161  |                                     |                     |                      | *        |                                     |
| 32               |                     | 0.06                       |   |                                     |                     |                      | *        |                                     |
| 31               |                     | 0.24                       | 3,270   |                                     | *                   |                      |          | 2.0m*2.0m 1 Caja                    |
| 30               | Cuno                | 0.60                       | 9,462   |                                     | *                   |                      |          | 2.0m*2.0m 1 Caja                    |
| 29               |                     | 0.07                       |   |                                     |                     | *                    |          | Dia.1070mm 1 nos.                   |
| 28               | Chapellin           | 1.19                       | 7,353   |                                     | *                   |                      |          | Dia.2440mm 1 nos.                   |
| 27               |                     | 0.25                       |   |                                     |                     | *                    |          | Dia.1520mm 1 nos.                   |
| 26               |                     | 0.16                       |   |                                     |                     | *                    |          | Dia.1520mm 1 nos.                   |
| 25               | Chacaito            | 6.33                       | -   | *                                   |                     |                      |          | Puente (Alcantarilla 6m*10m)        |
| 24               |                     | 0.21                       |   |                                     |                     | *                    |          | Dia.1520mm 1 nos.                   |
| 23               | Seca                | 0.78                       |   |                                     | *                   |                      |          |                                     |
| 22               | Quintero            | 1.97                       |   |                                     | *                   |                      |          | 2.2m*2.2m 1 Caja                    |
| 21               |                     | 0.27                       |   |                                     | *                   |                      |          | 2.5m*2.5m*1 Caja                    |
| 20               |                     | 0.11                       |   |                                     |                     | *                    |          | Dia.1520mm 1 nos.                   |
| 19               | Pajarito            | 1.37                       |   |                                     |                     |                      | *        |                                     |
| 18               |                     | 0.17                       |   |                                     |                     |                      | *        |                                     |
| 17               | Sebucan             | 1.57                       |   |                                     | *                   |                      |          | 2.0m*2.7m 1 Caja                    |
| 16               | Agua de maiz        | 0.38                       |   |                                     |                     | *                    |          | 1500mm 1 nos.                       |
| 15               | Tenerias            | 1.40                       | 10,835  |                                     | *                   |                      |          | 4m*3m 1Caja                         |
| 14               | Tocome              | 9.45                       | -   | *                                   |                     |                      |          | Puente con muelle (Abierto)         |
| 13               |                     | 0.33                       |   |                                     |                     |                      | *        |                                     |
| 12               | La Julia            | 2.10                       |   |                                     |                     | *                    |          | 1 Box                               |
| 11               | Gamburi             | 0.25                       |   |                                     |                     |                      | *        |                                     |
| 10               |                     | 0.06                       |   |                                     |                     |                      | *        |                                     |
| 9                |                     | 0.12                       |   |                                     |                     |                      | *        |                                     |
| 8                | Pasaquire           | 1.14                       |   |                                     |                     |                      | *        |                                     |
| 7                |                     | 0.36                       |   |                                     |                     |                      | *        |                                     |
| 6                |                     | 0.09                       |   |                                     |                     |                      | *        |                                     |
| 5                | Galindo             | 3.85                       |   |                                     | *                   |                      |          | Represa de Suministro de Agua H=15m |
| 4                | Caurimare           | 6.35                       |   |                                     | *                   |                      |          | 5m*3m 2 Caja                        |
| 3                |                     | 0.08                       |   |                                     |                     |                      |          |                                     |
| 2                |                     | 0.99                       |   |                                     |                     |                      |          |                                     |
| 1                |                     | 0.16                       |   |                                     |                     |                      |          |                                     |
| TOTAL            |                     | 60.84                      |   | 3                                   | 12                  | 8                    | 16       |                                     |



**Tabla S12-1.6.1 Lista de Planos por Sección, Pendiente y Columna**

| Pendiente Empinada             |                  |               | Sección Transversal o de Cruce |                    |               |
|--------------------------------|------------------|---------------|--------------------------------|--------------------|---------------|
| No.                            | Quebrada         | No. de Serial | No.                            | Quebrada           | No. de Serial |
| 1                              | Tocome           | T-1           | 14                             | Camburi-La Julia   | 12-LJ-27      |
| 2                              | Tocome           | TO-33         | 15                             | Camburi-La Julia   | 12-LJ-28      |
| 3                              | Tocome           | TO-31         | 16                             | Camburi-La Julia   | 12-LJ-36      |
| 4                              | Pasaquire        | LJ-13         | 17                             | Tocome             | 14-TO-02      |
| 5                              | Cota Mil         | CM-3          | 18                             | Tocome             | 14-TO-03      |
| 6                              | Pasaquire        | PAS-2         | 19                             | Tocome             | 14-TO-21      |
| 7                              | Galindo          | CAU-4         | 20                             | Tocome             | 14-TO-36      |
| 8                              | Tocome           | TO-14         | 21                             | Tenerias-Tributary | 15-TE-06      |
| 9                              | Gamboa           | GAM-10        | 22                             | Tenerias           | 15-TE-09      |
| 10                             | Gamboa           | GAM-03        | 23                             | Tenerias           | 15-TE-11      |
| 11                             | Cotiza           | COT-02        | 24                             | Sebucan            | 17-SE-01      |
| 12                             | Cartafuegos      | RD-14         | 25                             | Sebucan            | 17-SE-02      |
| 13                             | Road             | RD-12         | 26                             | Sebucan            | 17-SE-05      |
|                                |                  |               | 27                             | Pajaritos          | 19-PAJ-02     |
|                                |                  |               | 28                             | Pajaritos          | 19-PAJ-03     |
| Columna de Meteorización       |                  |               | 29                             | Pajaritos          | 19-PAJ-07     |
| No.                            |                  |               | 30                             | Quintero           | 22-Q-4A       |
| 1                              | Road1            | Car-2         | 31                             | Quintero           | 22-Q-4B       |
| 2                              | Road1            | Car-8         | 32                             | Quintero           | 22-Q-5        |
| 3                              | Road1            | Car-14        | 33                             | Quintero           | 22-Q-7        |
| 4                              | Road1            | Car-15        | 34                             | Quintero           | 22-Q-8        |
| 5                              | Road2            | Rd-4          | 35                             | Quintero           | 22-Q-17       |
| 6                              | Road2            | Rd-5          | 36                             | Quintero           | 22-Q-32       |
| 7                              | Road2            | Rd-7          | 37                             | Chacaito           | 25-CH-1       |
| 8                              | Road2            | Rd-9          | 38                             | Chacaito           | 25-CH-2       |
| 9                              | Road2            | Rd-10         | 39                             | Chacaito           | 25-CH-3       |
| 10                             | Road2            | Rd-12         | 40                             | Chacaito           | 25-CH-5       |
| 11                             | Road2            | Rd-17         | 41                             | Chacaito           | 25-CH-6       |
| 12                             | Tocome           | TO-6          | 42                             | Chacaito           | 25-CH-8       |
| 13                             | Tocome           | TO-9          | 43                             | Chacaito           | 25-CH-10      |
| 14                             | Caurimare        | CAU-12        | 44                             | Chacaito           | 25-CH-12      |
| 15                             | Quintero         | Q1            | 45                             | Chapellin          | 28-AV-2       |
| 16                             | Tenerias         | TE-1          | 46                             | Chapellin          | 28-AV-3       |
| 17                             | Tenerias         | TE-5          | 47                             | Chapellin          | 28-AV-6       |
| 18                             | La Julia         | LJ-1          | 48                             | Chapellin          | 28-AV-7       |
| 19                             | La Julia         | LJ-3          | 49                             | Mariperez          | 33-MARi-1     |
| 20                             | La Julia         | LJ-25         | 50                             | Canoa              | 35-CAN-1      |
|                                |                  |               | 51                             | Canoa              | 33-CAN-2      |
| Sección Transversal o de Cruce |                  |               | 52                             | Canoa              | 35-CAN-3      |
| No.                            | Quebrada         | Serial No.    | 53                             | Canoa              | 35-CAN-4      |
| 1                              | Caurimare        | 4-CAU-14      | 54                             | Canoa              | 35-CAN-5      |
| 2                              | Caurimare        | 4-CAU-25      | 55                             | Canoa              | 35-RD-11      |
| 3                              | Caurimare        | 4-CAU-26      | 56                             | Gamboa             | 37-GAM-2      |
| 4                              | Galindo          | 5-GAL-1       | 57                             | Gamboa             | 37-GAM-3      |
| 5                              | Galindo          | 5-GAL-2       | 58                             | Gamboa             | 37-GAM-5      |
| 6                              | Galindo          | 5-GAL-4       | 59                             | Anauco             | 41-ANA-2      |
| 7                              | Galindo          | 5-GAL-8       | 60                             | Anauco             | 41-ANA-6      |
| 8                              | Galindo          | 5-GAL-9       | 61                             | Cotiza             | 42-COT-11     |
| 9                              | Pasaquire        | 8-PAS-4       | 62                             | Cotiza             | 42-COT-06     |
| 10                             | Camburi-La Julia | 12-CAM-3      | 63                             | Catuche            | 44-CAT-04     |
| 11                             | Camburi-La Julia | 12-CAM-4      | 64                             | Catuche            | 44-CAT-10     |
| 12                             | La Julia         | 12-LJ-20      | 65                             | Catuche            | 44-CAT-18     |
| 13                             | La Julia         | 12-LJ-21      |                                |                    |               |

Nota: No de Serial = No de Quebrada Principal + Número de Ubicación

**Tabla S12-1.7.1 Volumen de Escorrentía de Sedimentos**

| Quebrada Principal | Área de Captación | Potencial         |                      |                               |                                     | Período de Retención de 100 años |                               |                                 | Período de Retención de 25 años |                               |                                 | Cota M/ Capacidad de Retención Dársillo |       |
|--------------------|-------------------|-------------------|----------------------|-------------------------------|-------------------------------------|----------------------------------|-------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|-------------------------------|---------------------------------|---|-------|
|                    |                   | Decimetro noctabo | Demurba de Sedimento | Escorrentía de Sedimento (Va) | Escorrentía de Sedimento Especifico | Decimetro Transportable (vec)    | Fl más pequeño entre Va y Vec | Volumen de Decimetro Especifico | Decimetro Transportable (vec)   | Fl más pequeño entre Va y Vec | Volumen de Decimetro Especifico |   |       |
|                    | m2                | m3                | m3                   | m3/m2                         | m3                                  | m3                               | m3/m2                         | m3                              | m3                              | m3                            | m3/m2                           | m3                                      |       |
| 1                  | 0,10              | 0                 | 9,591                | 9,591                         | 59,570                              | 9,299                            | 9,299                         | 57,750                          | 7,750                           | 7,751                         | 48,144                          |   |       |
| 2                  | 0,20              | 1,586             | 58,796               | 21,117                        | 21,386                              | 25,318                           | 21,117                        | 21,386                          | 21,106                          | 21,106                        | 21,585                          |   |       |
| 3                  | 0,38              | 0                 | 4,468                | 4,468                         | 59,570                              | 3,890                            | 3,890                         | 51,067                          | 3,123                           | 3,123                         | 42,771                          |   |       |
| Courimac 4         | 6,35              | 726,522           | 378,508              | 351,508                       | 52,773                              | 101,429                          | 121,429                       | 15,965                          | 8,518                           | 8,518                         | 13,505                          |   |       |
| Gelincu 5          | 3,25              | 454,019           | 229,047              | 213,920                       | 55,696                              | 58,900                           | 58,900                        | 15,334                          | 49,147                          | 49,147                        | 12,782                          |   |       |
| 6                  | 0,38              | 0                 | 5,883                | 5,883                         | 6,786                               | 78,115                           | 6,786                         | 78,115                          | 10,115                          | 6,786                         | 78,115                          |   |       |
| 7                  | 0,50              | 26,018            | 2,445                | 47,468                        | 191,842                             | 6,314                            | 16,314                        | 45,910                          | 13,029                          | 13,029                        | 30,190                          |   |       |
| 8                  | 1,14              | 15,810            | 58,069               | 54,669                        | 29,885                              | 35,418                           | 34,669                        | 29,885                          | 28,309                          | 28,309                        | 24,765                          | 13,400                                  |       |
| 9                  | 0,12              | 0                 | 6,970                | 6,970                         | 59,570                              | 6,089                            | 6,970                         | 59,570                          | 12,809                          | 6,970                         | 59,570                          |   |       |
| 10                 | 0,36              | 0                 | 3,276                | 3,276                         | 59,570                              | 9,792                            | 3,276                         | 59,570                          | 7,820                           | 3,276                         | 59,570                          |   |       |
| 11                 | 0,25              | 17,189            | 14,714               | 14,918                        | 129,200                             | 15,184                           | 15,184                        | 61,270                          | 11,727                          | 11,727                        | 47,760                          |   |       |
| 12                 | 2,10              | 433,878           | 125,087              | 158,682                       | 75,563                              | 62,917                           | 32,917                        | 29,875                          | 49,070                          | 49,070                        | 23,267                          |   |       |
| 13                 | 0,58              | 20,238            | 19,479               | 59,717                        | 121,460                             | 50,512                           | 59,717                        | 121,460                         | 99,377                          | 59,377                        | 120,415                         |   |       |
| Tocoma 14          | 9,45              | 1,718,895         | 552,817              | 653,854                       | 72,380                              | 152,175                          | 152,175                       | 16,107                          | 118,627                         | 118,627                       | 12,555                          |   |       |
| 15                 | 1,40              | 57,151            | 58,577               | 45,218                        | 32,230                              | 45,318                           | 45,218                        | 32,230                          | 35,455                          | 55,455                        | 25,270                          |   |       |
| 16                 | 0,28              | 9,464             | 22,637               | 22,000                        | 84,475                              | 52,003                           | 32,000                        | 84,475                          | 40,628                          | 32,000                        | 84,475                          |   |       |
| 17                 | 1,17              | 174,682           | 23,525               | 74,462                        | 47,428                              | 48,669                           | 48,669                        | 30,992                          | 38,078                          | 38,078                        | 24,260                          | 10,700                                  |       |
| 18                 | 0,17              | 8,376             | 9,978                | 18,281                        | 109,571                             | 31,317                           | 18,281                        | 109,511                         | 27,413                          | 18,281                        | 109,511                         |   |       |
| 19                 | 1,57              | 128,422           | 5,849                | 53,081                        | 45,910                              | 44,718                           | 44,718                        | 32,540                          | 34,926                          | 34,926                        | 25,470                          |   |       |
| 20                 | 0,10              | 0                 | 6,672                | 6,672                         | 7,767                               | 69,258                           | 23,399                        | 7,767                           | 69,255                          | 18,240                        | 7,767                           | 69,255                                  | 2,400 |
| 21                 | 0,27              | 15,243            | 16,084               | 51,327                        | 116,025                             | 24,801                           | 24,801                        | 62,187                          | 10,479                          | 10,479                        | 72,145                          | 4,900                                   |       |
| 22                 | 1,37              | 132,990           | 117,532              | 26,157                        | 33,530                              | 58,158                           | 58,158                        | 28,462                          | 43,948                          | 43,948                        | 22,275                          |   |       |
| 23                 | 0,78              | 48,708            | 46,167               | 24,964                        | 122,535                             | 30,802                           | 30,802                        | 39,744                          | 24,105                          | 24,105                        | 31,104                          |   |       |
| 24                 | 0,20              | 2,759             | 12,331               | 15,060                        | 72,900                              | 36,549                           | 15,060                        | 72,900                          | 28,432                          | 15,060                        | 72,900                          |   |       |
| Chesito 25         | 6,23              | 428,734           | 377,007              | 241,779                       | 38,184                              | 112,394                          | 112,394                       | 17,750                          | 87,650                          | 87,650                        | 13,591                          |   |       |
| 26                 | 0,16              | 647               | 9,412                | 10,059                        | 63,662                              | 30,085                           | 10,059                        | 63,662                          | 23,453                          | 10,059                        | 63,662                          |   |       |
| 27                 | 0,25              | 4,046             | 15,071               | 19,118                        | 75,563                              | 42,165                           | 19,118                        | 75,563                          | 32,859                          | 19,118                        | 75,563                          |   |       |
| 28                 | 1,19              | 35,641            | 7,007                | 49,994                        | 41,942                              | 47,988                           | 49,994                        | 41,942                          | 53,205                          | 49,994                        | 41,242                          | 1,000                                   |       |
| 29                 | 0,37              | 0                 | 4,110                | 4,110                         | 59,570                              | 4,850                            | 4,110                         | 59,570                          | 11,576                          | 4,110                         | 59,570                          |   |       |
| 30                 | 0,20              | 2,511             | 35,623               | 37,134                        | 95,542                              | 70,924                           | 37,134                        | 95,542                          | 55,505                          | 55,505                        | 92,513                          | 3,800                                   |       |
| 31                 | 0,24              | 0                 | 13,909               | 13,909                        | 59,570                              | 34,374                           | 13,909                        | 59,570                          | 26,820                          | 13,909                        | 59,570                          |   |       |
| 32                 | 0,26              | 0                 | 3,395                | 3,395                         | 59,570                              | 0,539                            | 3,395                         | 59,570                          | 8,240                           | 3,395                         | 59,570                          |   |       |
| Mariposa 33        | 0,70              | 16,968            | 4,461                | 58,328                        | 83,905                              | 26,564                           | 26,564                        | 38,167                          | 20,773                          | 20,773                        | 29,247                          |   |       |
| 34                 | 0,39              | 0                 | 5,480                | 5,480                         | 59,570                              | 7,010                            | 5,480                         | 59,570                          | 13,332                          | 5,480                         | 59,570                          |   |       |
| 35                 | 0,57              | 4,973             | 33,806               | 76,869                        | 133,337                             | 23,196                           | 23,196                        | 40,767                          | 18,140                          | 18,140                        | 31,280                          |   |       |
| 36                 | 0,27              | 0,234             | 15,846               | 17,079                        | 64,207                              | 30,780                           | 17,079                        | 64,207                          | 24,604                          | 17,079                        | 64,207                          |   |       |
| Camboe 37          | 3,07              | 2,309             | 12,309               | 2,309                         | 26,800                              | 94,532                           | 2,309                         | 26,800                          | 73,050                          | 73,050                        | 23,281                          |   |       |
| 38                 | 0,19              | 0                 | 1,437                | 1,437                         | 59,570                              | 24,398                           | 1,437                         | 59,570                          | 19,533                          | 1,437                         | 59,570                          |   |       |
| 39                 | 0,43              | 10,855            | 25,435               | 6,202                         | 84,903                              | 15,636                           | 15,636                        | 36,610                          | 12,429                          | 12,429                        | 29,571                          |   |       |
| 40                 | 0,19              | 0                 | 1,378                | 1,378                         | 59,570                              | 24,307                           | 1,378                         | 59,570                          | 19,450                          | 1,378                         | 59,570                          |   |       |
| Arauco 41          | 3,29              | 1,6514            | 219,813              | 126,808                       | 28,970                              | 233,670                          | 126,808                       | 28,970                          | 170,110                         | 126,808                       | 28,970                          | 88,600                                  |       |
| Cotiles 42         | 3,20              | 35,373            | 226,247              | 167,286                       | 44,046                              | 144,514                          | 144,514                       | 38,050                          | 110,770                         | 110,771                       | 29,165                          | 93,000                                  |       |
| 43                 | 0,27              | 3,515             | 16,064               | 19,540                        | 72,638                              | 11,326                           | 11,326                        | 42,105                          | 10,054                          | 10,054                        | 39,557                          |   |       |
| Ostucha 44         | 4,50              | 233,068           | 258,005              | 141,322                       | 31,412                              | 95,859                           | 95,859                        | 21,307                          | 73,477                          | 73,477                        | 16,532                          |   |       |
| 45                 | 0,39              | 0                 | 5,421                | 5,421                         | 59,570                              | 3,198                            | 5,421                         | 59,570                          | 11,050                          | 5,421                         | 59,570                          |   |       |
| 46                 | 0,38              | 0                 | 4,885                | 4,885                         | 59,570                              | 2,434                            | 4,885                         | 59,570                          | 9,959                           | 4,885                         | 59,570                          |   |       |
| 47                 | 0,48              | 18,774            | 28,474               | 4,248                         | 98,846                              | 21,708                           | 21,708                        | 46,414                          | 17,352                          | 17,352                        | 36,000                          |   |       |
| Total              | 60,84             | 5,338,844         | 3,624,358            | 3,222,250                     | -                                   | -                                | 1,729,716                     | -                               | 1,454,133                       | -                             | 97,700                          |   |       |

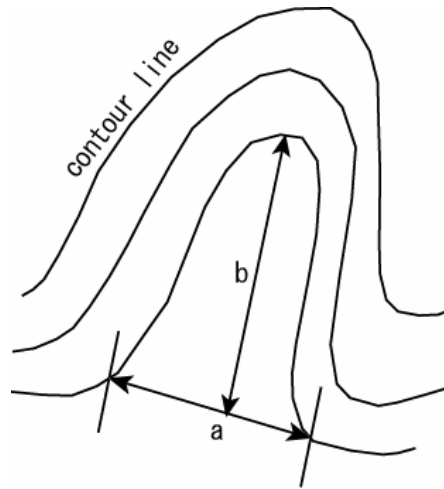


Figura S12-1.2.1 Definición de Quebradas de 1<sup>er</sup> Orden

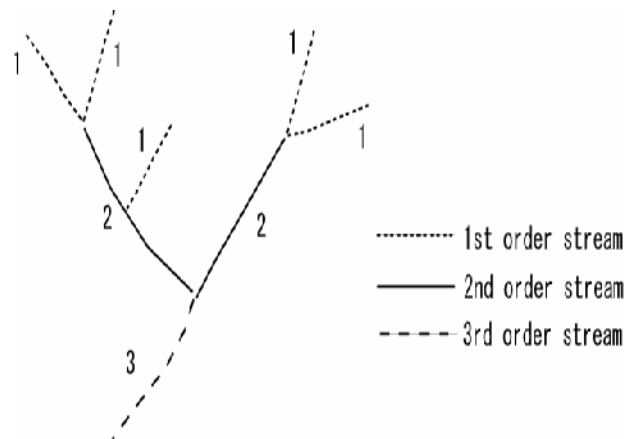


Figura S12-1.2.2 Concepto del Orden de Quebradas de Strahler

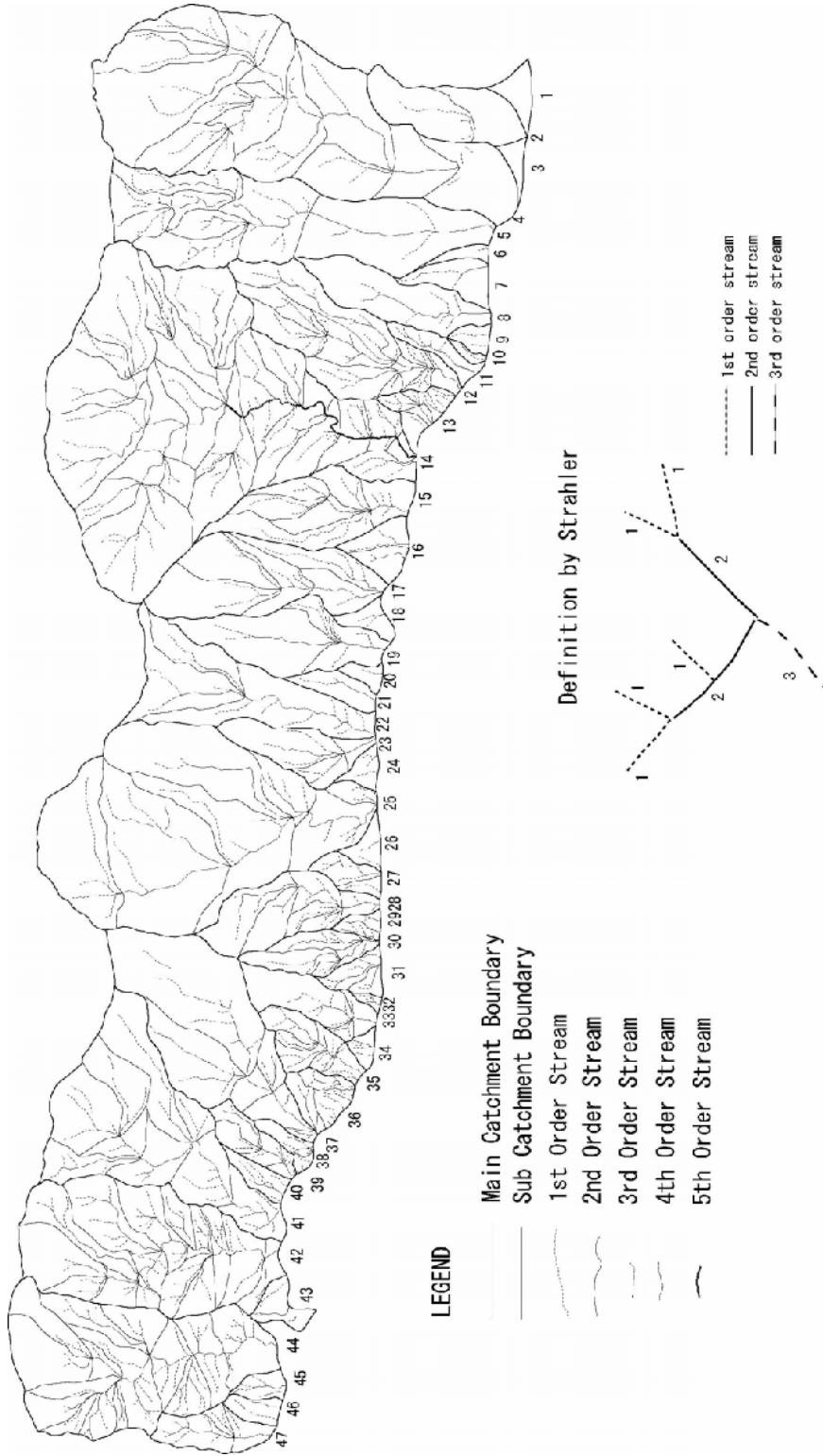
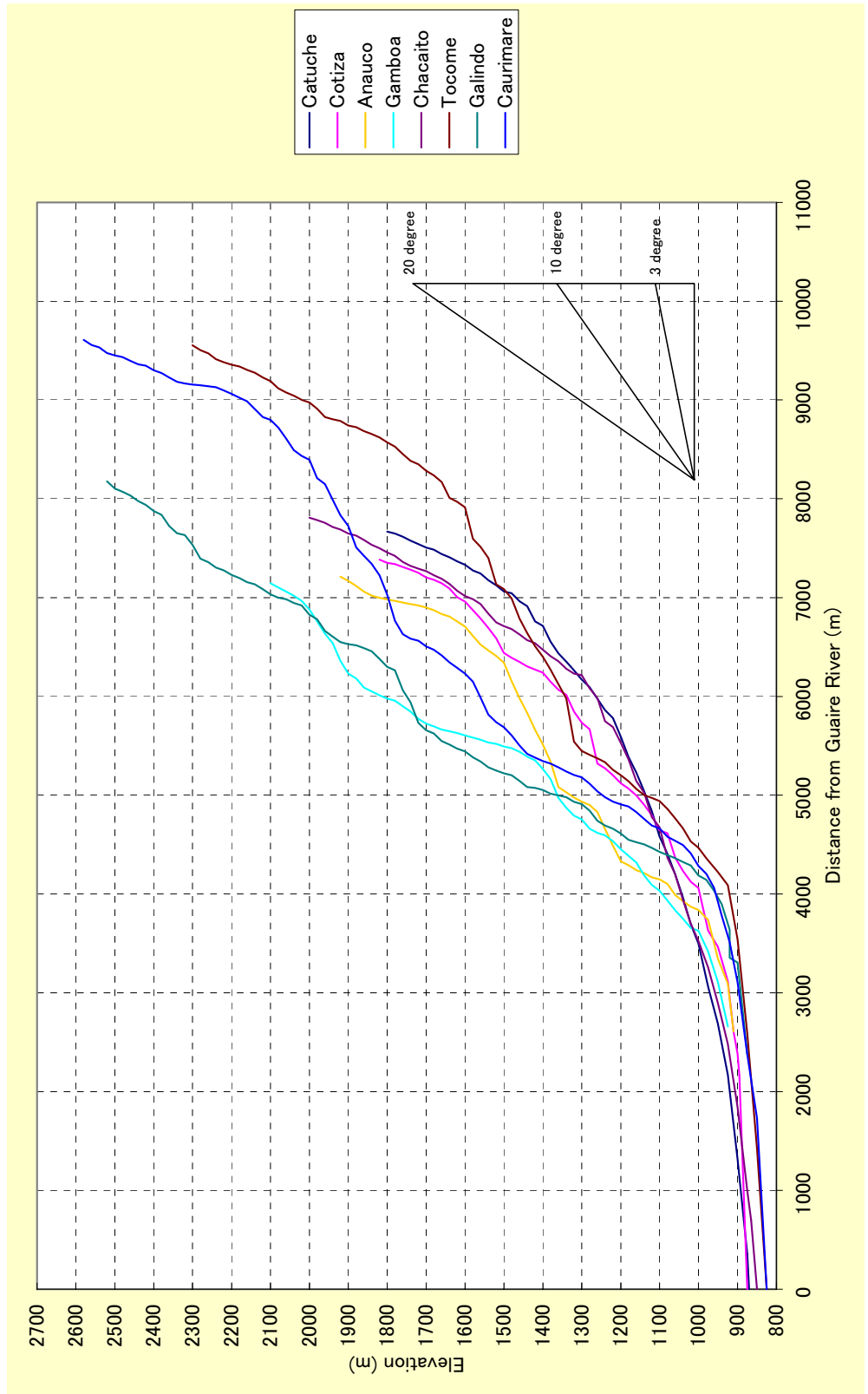


Figura S12-1.2.3 Límite de Subcuencas para las Quebradas de 2<sup>do</sup> Orden como Unidades de Captura



**Figura S12-1.5.1 Perfil del Lecho de Quebrada**

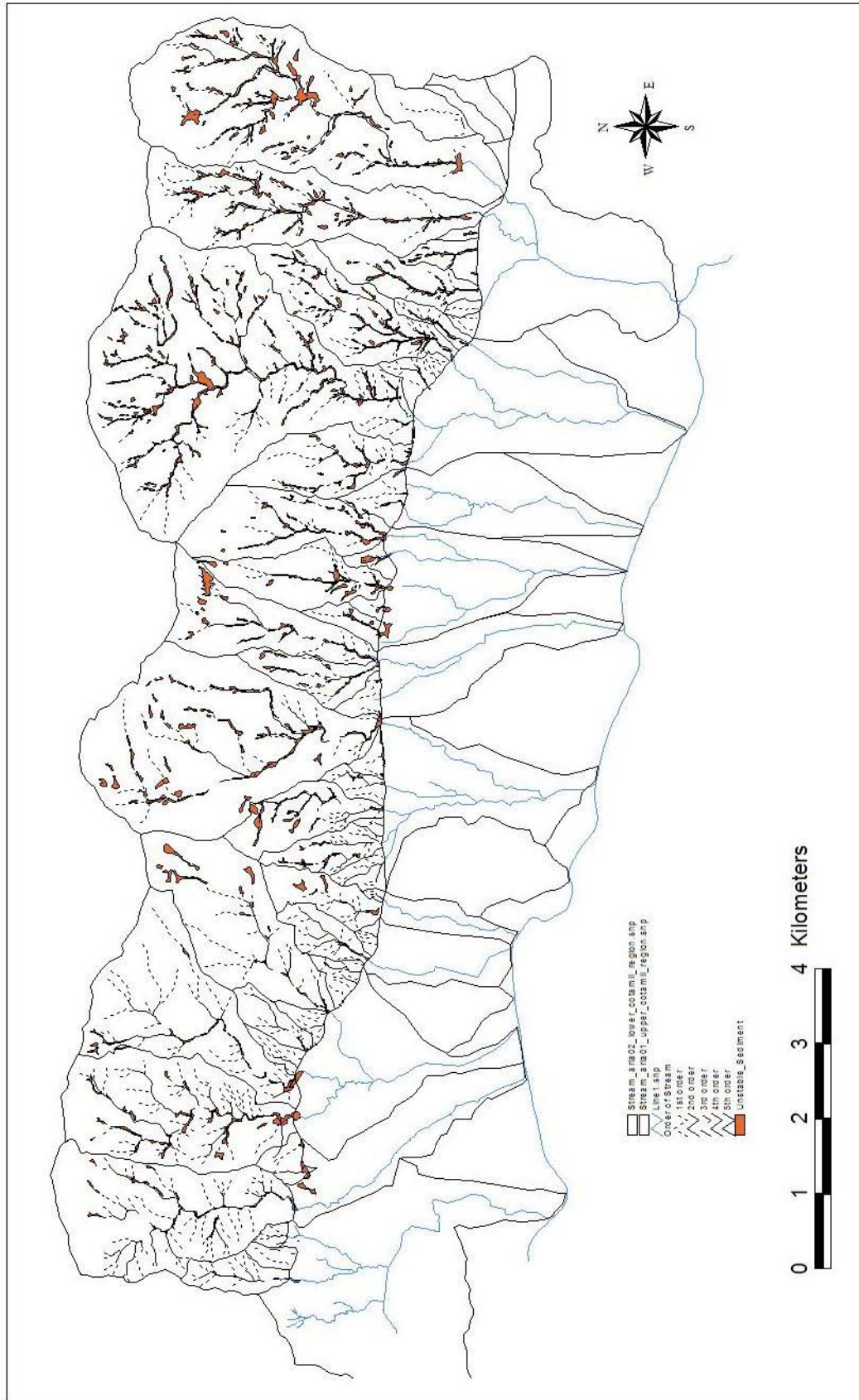


Figura S12-1.5.2 Sedimento Inestable en el Lecho de Quebrada



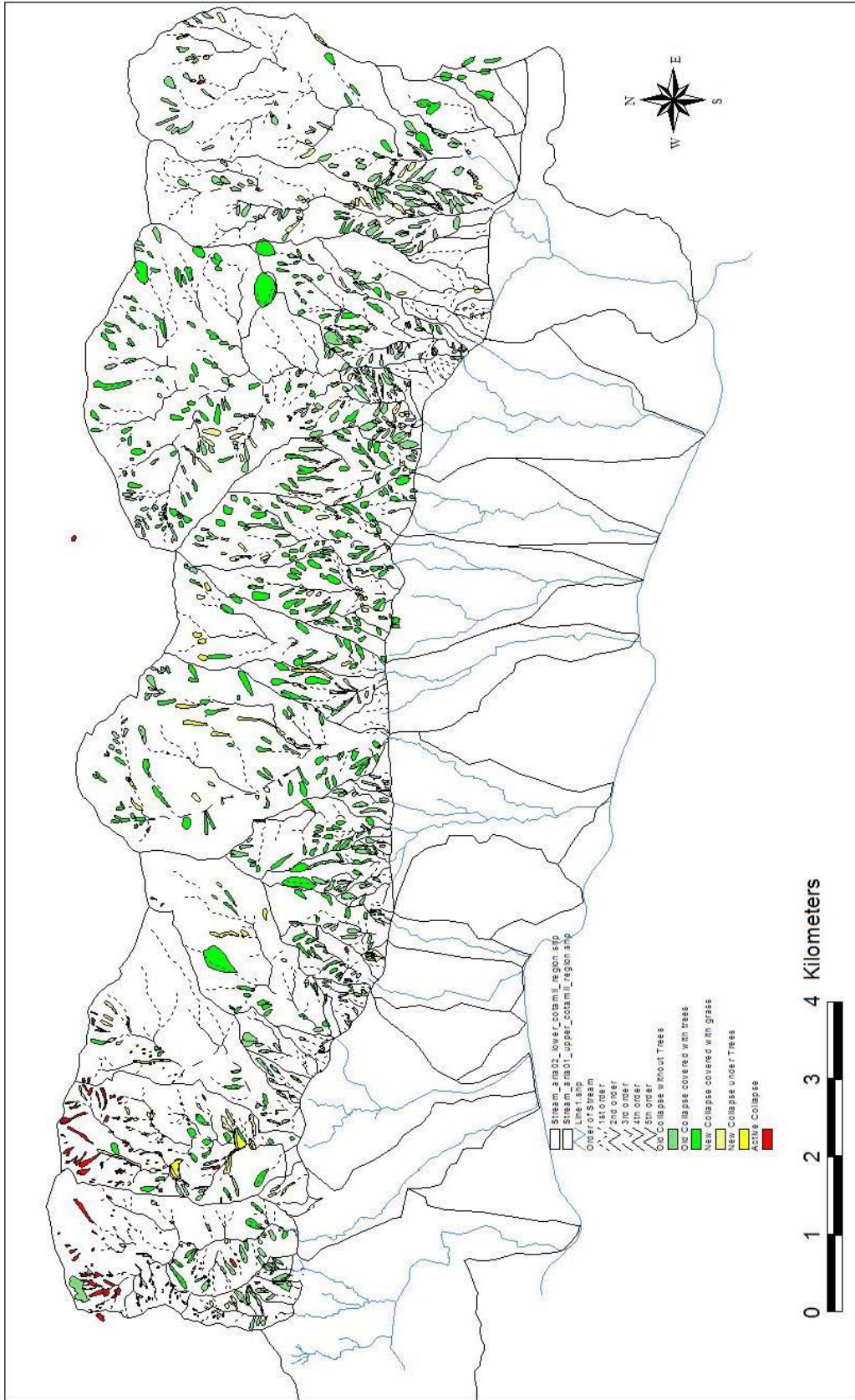


Figura S12-1.5.3 Derrumbes Potenciales

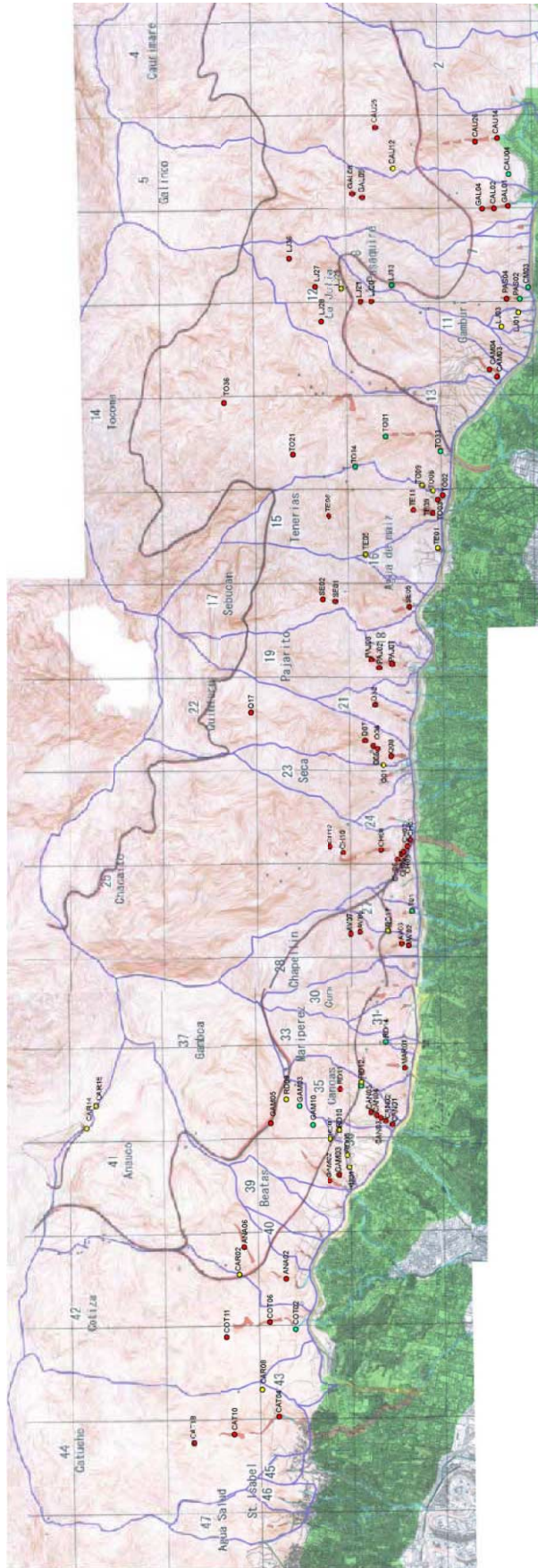
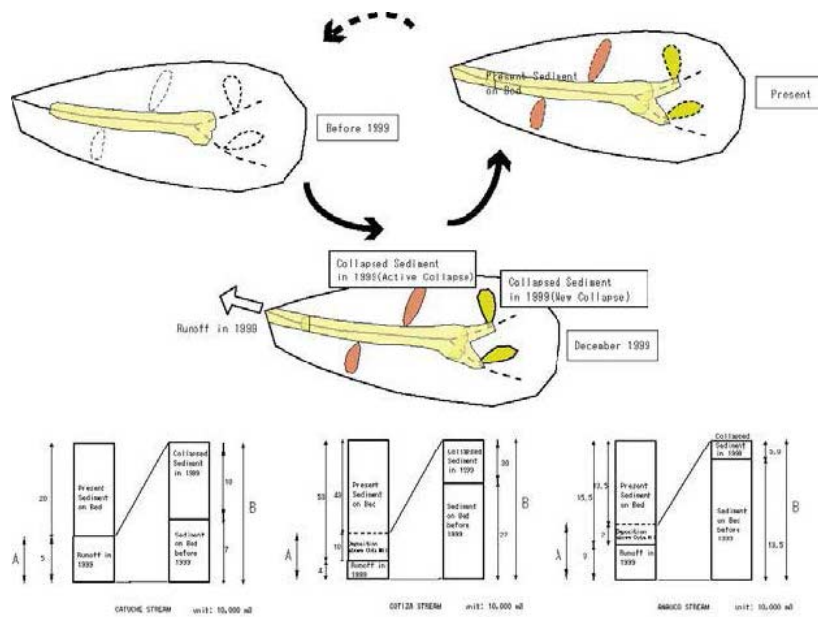
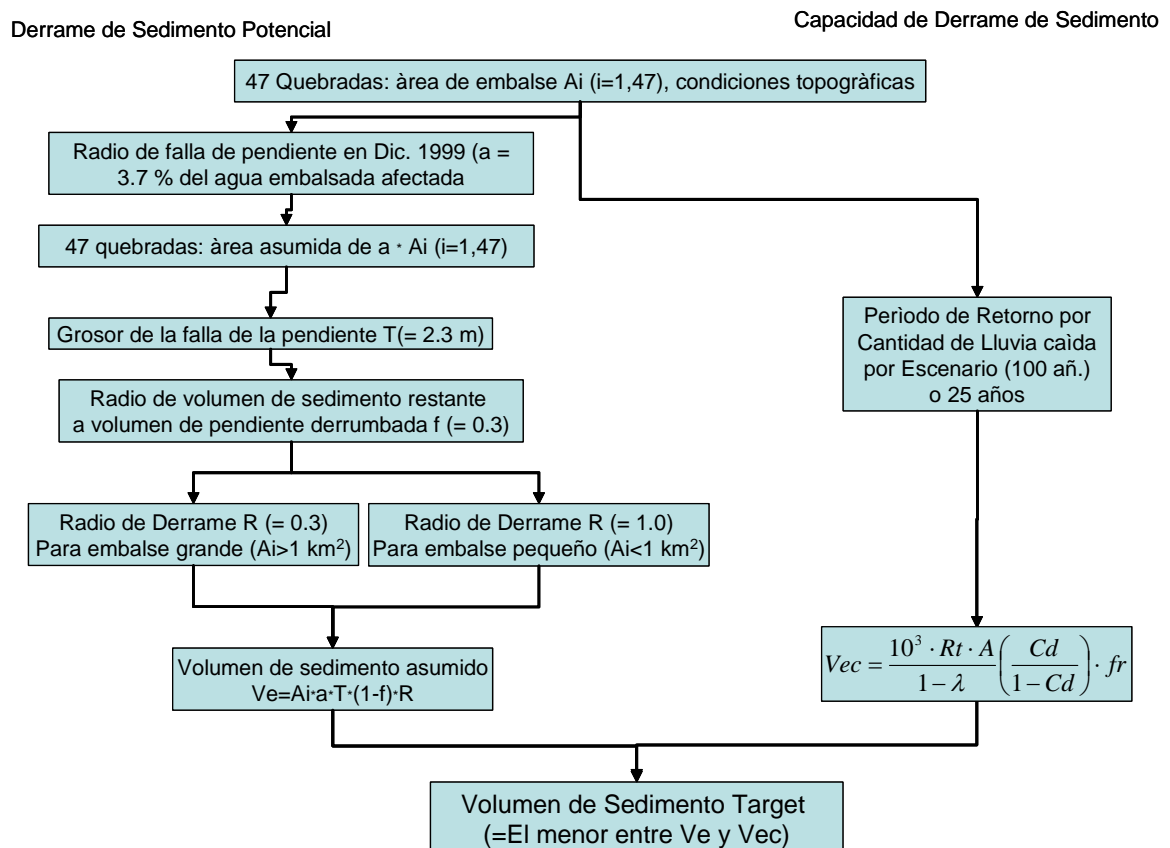


Figura S12-1.6.1 Puntos en donde se Realizaron los Croquis para las Secciones, Pendientes y Columnas

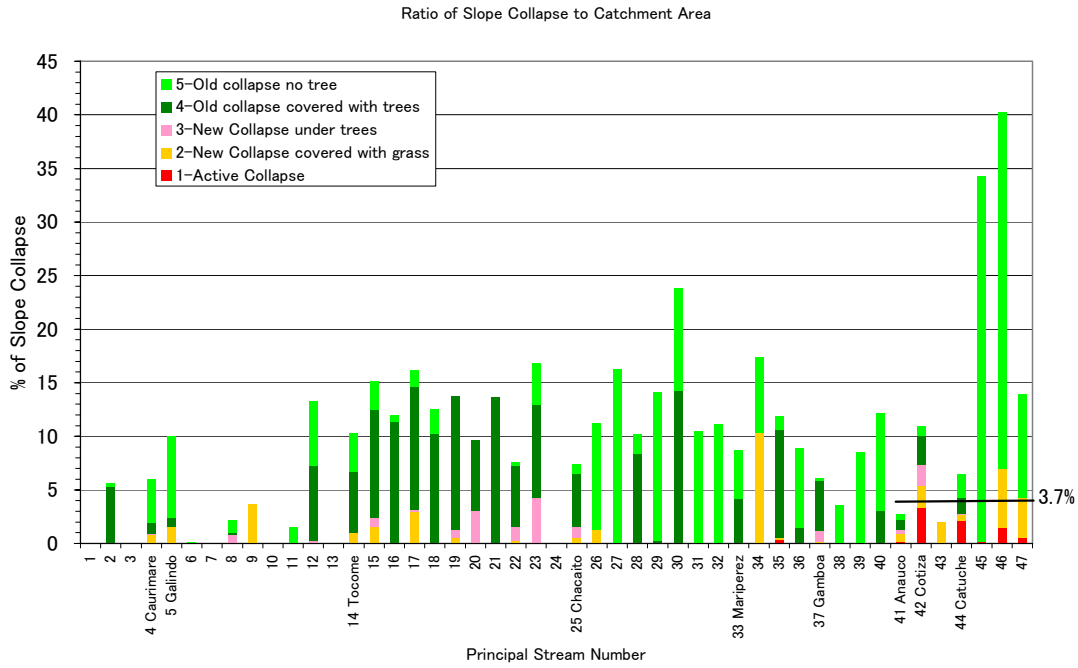




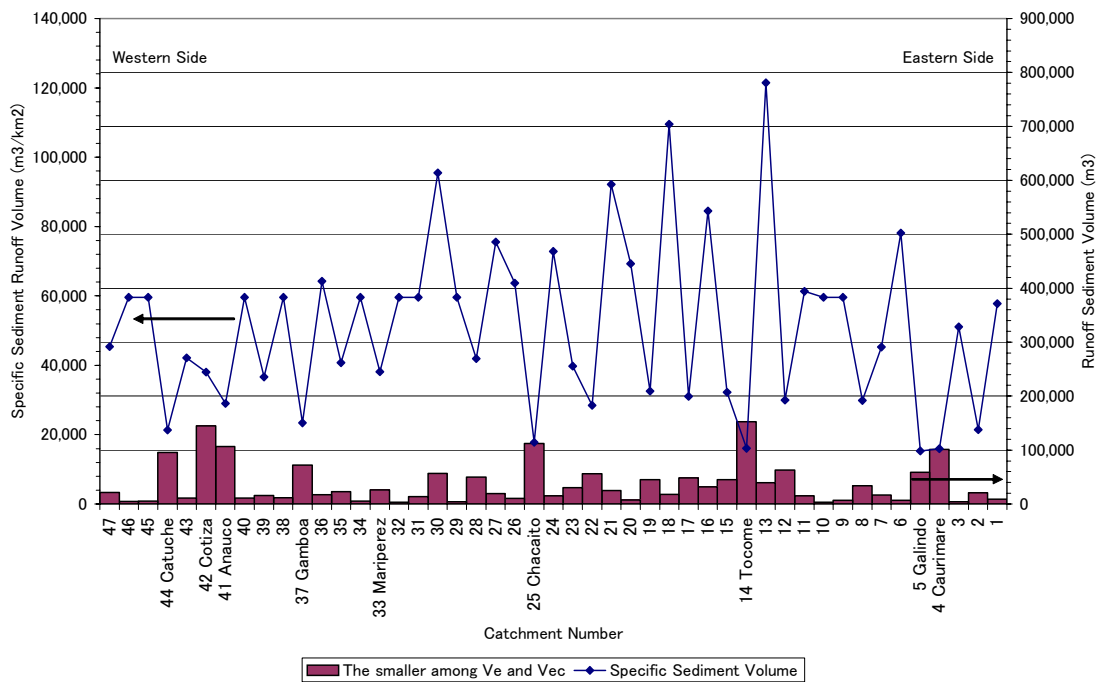
**Figura S12-1.7.1 Movimiento de Sedimentos Antes y Después de la Inundación de Diciembre 1999**



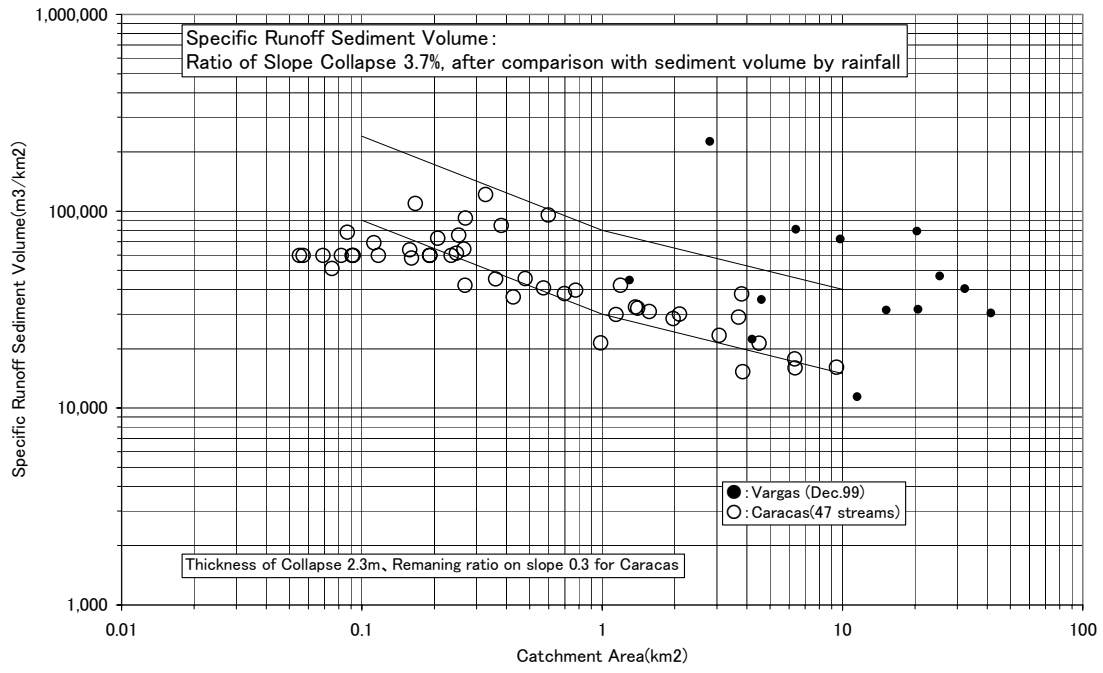
**Figura S12-1.7.2 Flujo de Evaluación para el Volumen Objetivo de Sedimento**



**Figura S12-1.7.3 Tasa de Derrumbe de Pendiente y Area de Captura**



**Figura S12-1.7.4 Volumen de Sedimento Objetivo**



**Figura S12-1.7.5 Volumen de Sedimento Objetivo por Area de Captura**

## **CAPÍTULO 2. AMENAZA / RIESGO DEL FLUJO DE ESCOMBROS**

### **2.1 Mapeo de Quebradas**

En el capítulo anterior se habló de un total de cuarenta y siete (47) quebradas principales en El Ávila. El alcance de los trabajos del estudio de JICA especifica veinte (20) quebradas, las cuales están incluidas en estas cuarenta y siete (47) quebradas principales en El Ávila. Las 20 quebradas pueden ser agrupadas en 11 abanicos aluviales, los cuales son el objetivo para el mapeo de amenazas y riesgos en este estudio. La Tabla S12-2.1.1 muestra la relación entre las 20 quebradas y los 11 abanicos aluviales.

El mapeo de amenazas para los 11 abanicos aluviales ha sido también ejecutado por PREVENE, el Proyecto Ávila y el Proyecto Caracas en Venezuela. Asimismo, la Tabla S12-2.1.1 muestra los nombres de los proyectos que cubren estos 11 abanicos aluviales.

Entre estos 11 abanicos aluviales, los modelos de Cotiza-Anauco-Gamboa y Tócome-La Julia fueron desarrollados por “PREVENE”, mientras que los restantes fueron desarrollados en el “Mapa de Amenaza” por la Universidad Central de Venezuela (UCV) excepto por la Quebrada Caroata. Adicionalmente al “Mapa de Amenaza”, la UCV ha estado conduciendo un estudio extensivo del sistema de drenaje para los 11 abanicos aluviales, incluyendo la Quebrada Caroata, para mejorar los modelos de simulación en el Proyecto Caracas.

### **2.2 Metodología**

Esta sección describe la metodología de cómo delinear el área de amenaza/ riesgo por flujo de escombros para el área de estudio de sedimentos.

Los métodos de los proyectos antes mencionados, PREVENE, Ávila y Caracas pueden ser descritos como sigue (Tabla S12-2.2.1).

Primero que todo, las simulaciones de precipitación y escorrentía para El Ávila son diferentes a los proyectos PREVENE, Ávila y Caracas. PREVENE aplicó un método de unidad hidrográfica, mientras que los proyectos Ávila y Caracas están utilizando el método cinético de onda que fue conducido por el MARN (CGR Ingenieros).

Con respecto a la simulación de inundación para el Valle de Caracas, el modelo FLO-2D fue utilizado por estos proyectos.

La simulación de precipitación-escorrentía hecha por MARN (CGR Ingenieros) es un estudio hidrológico comprensivo/detallado para la Montaña El Ávila en su totalidad, mientras que el de PREVENE fue una clase de estudio piloto para algunas áreas de estudio específicas. El Equipo de

Estudio revisó los resultados de la simulación de precipitación-escorrentía del MARN (CGR Ingenieros) y los comparó con la fórmula racional convencional como se describe en el Informe de Soporte S13 (Hidrología). Dado que el estudio hidrológico del MARN (CGR Ingenieros) ha sido la base en el campo de mapeo de amenazas Caracas, el Equipo de Estudio decidió hacer uso de los resultados como datos de escorrentía (agua) de El Ávila. Para el mapeo de amenaza de flujo de escombros, el Equipo de Estudio tomó en consideración el volumen de sedimento basado en la investigación de campo realizado en este estudio.

Para hacer los modelos hidráulicos, el Equipo de Estudio fusionó los 11 abanicos aluviales dentro del área modelada del Oeste y Este. Para cada área modelada, el modelo de simulación de inundación se realizó utilizando el modelo FLO-2D, cubriendo todos los 11 abanicos aluviales. El modelo FLO-2D utilizado por el Equipo de Estudio fue diseñado para analizar el efecto de la presa sabo en El Ávila, simplemente tomando en consideración el nivel del Plan Maestro.

La diferencia entre el modelo del Proyecto Ávila y el modelo del Equipo de Estudio de JICA se muestra en la Tabla S12-2.2.2.

El mapa de amenaza es creado por dos métodos: Método 1 es Ley Japonesa para la Prevención de Desastres por Sedimento, el Método 2 es por medio del Modelo FLO2D.

### **2.3 Método 1: Método Japonés de la Ley de Prevención de Desastres por Sedimentos**

La ley de Prevención de Desastres por Sedimentos, la cual fue emitida en el año 2000 en Japón, y las pautas relacionadas indican la metodología para delinear el área potencial para el flujo de escombros.

#### **2.3.1. Descarga Pico y Altura del Flujo de Escombros**

La descarga pico potencial por flujo de escombros puede ser calculada como sigue:

$$Q_{sp} = \frac{0.01 \cdot C_*}{Cd} \cdot V$$

$$Cd = \frac{\rho \cdot \tan \theta}{(\sigma - \rho)(\tan \phi - \tan \theta)}$$

Donde  $Q_{sp}$ : descarga pico potencial por flujo de escombros,  $V$ : volumen de sedimento transportado por flujo de escombros,  $C$ : concentración volumétrica del depósito( = 0.6 ),  $Cd$ : concentración de flujo de escombros después de Takahashi,  $\sigma$ : densidad específica del sedimento ( $t/m^3$ ) ( = 2.6 ),  $\rho$ : densidad del flujo ( $t/m^3$ ) ( = 1.2 ),  $\phi$ : ángulo interno de fricción (grados) ( = 35 ),  $\theta$  : pendiente del lecho de quebrada (grados).

La unidad de medida de flujo de escombros y de velocidad del flujo escombros son como sigue:

$$\rho_d = \frac{\rho \cdot \tan \theta}{\tan \phi - \tan \theta}$$

$$U = \frac{h^{2/3} \cdot (\sin \theta)^{1/2}}{n}$$

Donde  $\rho_d$ : unidad de medida de flujo de escombros ( $t/m^3$ ),  $h$ : profundidad del flujo de escombros (m),  $U$ : velocidad media del flujo de escombros (m/s),  $n$ : Factor de aspereza de Manning( = 0.1 para canal natural).

Por lo tanto, la profundidad (altura) del flujo de escombros puede ser expresada como:

$$h = \frac{Q_{sp}}{B \cdot U} = \left( \frac{n \cdot Q_{sp}}{B \cdot (\sin \theta)^{1/2}} \right)^{3/5}$$

### 2. 3. 2. Ancho del Flujo de Escombros (B)

El ancho del flujo de escombros puede ser evaluado por dos clases de enfoques, a saber: el método de Manning y el método de Regime.

El método de Manning es para calcular el ancho del flujo que pueda satisfacer la siguiente ecuación:

$$Q_{sp} = \frac{1}{n} \left( \frac{A}{S} \right)^{2/3} (\sin \theta)^{1/2} \cdot A$$

Donde  $A$ : área del flujo ( $m^2$ ),  $S$ : radio hidráulico de la sección (m).

En el caso de un abanico aluvial lateralmente plano, es difícil evaluar el ancho del flujo a partir de estas fórmulas. Para tal caso, la teoría de Regime puede ser aplicada.

La teoría de Regime es como sigue:

$$B = 4 \sqrt{Q_{sp}}$$

Sí ambos métodos pueden ser aplicables para evaluar el ancho del flujo (B) en una sección transversal, se selecciona el ancho menor (B).

### 2. 3. 3. Cambio Longitudinal del Flujo de Escombros

Las siguientes ecuaciones representan la relación entre la concentración volumétrica del flujo de escombros y la descarga pico del flujo de escombros mientras el flujo de escombros va aguas abajo:

$$Qsp_i = \frac{C_* - Cd_{i-1}}{C_* - Cd_i} Qsp_{i-1}$$

Donde los sufijos (*i*) e (*i-1*) indican aguas abajo y aguas arriba, respectivamente.

### 2. 3. 4. Definición de “Zona Roja”

El área seriamente afectada por flujo de escombros, mejor conocida como “Zona Roja”, puede ser definida como la sección en la cual la fuerza hidráulica por el flujo de escombros es más grande que la fuerza de resistencia de la casa/ edificación.

La fuerza hidráulica en kN/m<sup>2</sup> se expresa como:

$$F_d = \frac{\rho_d}{g} U^2$$

La fuerza de resistencia de la casa/ edificación es:

$$P_2 = \frac{35.3}{H(5.6 - H)}$$

Donde  $P_2$  : fuerza de resistencia de una casa/ edificación ordinaria es dada en kN/m<sup>2</sup>,  $H$ : la altura del flujo de escombros cuando la fuerza es ejercida sobre la casa edificación por el flujo de escombros.

La ecuación de  $P_2$  ha sido autorizada en Japón por la Ley de Prevención de Desastres por Sedimentos, sin embargo, está basada en la estructura de madera de una casa ordinaria en Japón.

En este estudio, la fuerza de resistencia para las columnas de concreto para resistir el ataque del flujo de escombros fue desarrollada de la siguiente manera:

#### 1. Condiciones Básicas

Fuerza comprimida del concreto: “Sigma-c” (kgf/cm<sup>2</sup>)

Fuerza a corto plazo para la fuerza de corte del concreto:  $F_s = (\text{Sigma-c}) / 30 * 3$

Tamaño de la columna de concreto:  $D$  (cm)

Sección de la columna de concreto:  $A_s = D^2 o$

Fuerza de corte de rendimiento de la columna de concreto:  $Q_{dmax} = (2/3) * A_s * F_s$

Asumiendo que una carga uniforme ( $p$ ) actúa en la columna de concreto del 1er piso

$$2 * Q_d = h_0 * p * b$$

Donde,  $h_0$  es la altura de la columna (cm),  $p$  es la carga uniforme (kgf/cm<sup>2</sup>) y  $b$  es el palmo entre las dos columnas (cm).

El modelo de la estructura asumida se muestra en la Figura S12-2.3.1.

Se asume que la carga recibida por el flujo de escombros en la columna es una carga uniforme. La anterior fuerza estadísticamente indeterminada puede resolverse con la siguiente fórmula:

$$Q_{da} = \frac{pH}{8h_0^3} [4(H^2)h_0 - H^3] = \frac{pH^3}{8h_0^3} [4h_0 - H]$$

$$Q_{db} = \frac{pH}{8h_0^3} [8h_0^3 - 4(H^2)h_0 + H^3]$$

Por consiguiente, la carga uniforme  $p$  puede expresarse como una función de  $H$ , así:

$$p = \frac{8h_0^3 Q_{db}}{H(8h_0^3 - 4(H^2)h_0 + H^3)b} = \frac{8h_0^3 (Q_{d_{\max}})}{H(8h_0^3 - 4(H^2)h_0 + H^3)b} \quad \Lambda \text{ Eq(1)}$$

Los parámetros aplicados son los siguientes:

|  | Columnas de Concreto en el Área de Barrio | Columnas de Concreto en el Área Urbana | Columnas de Madera en Japón |
|--|---|--|-----------------------------|
| Altura de las Columnas $h_0$ (cm)                          | 300                                       | 300                                    | 280                         |
| Intervalo de Columnas $b$ (cm)                             | 350                                       | 600                                    | 91                          |
| Area de Columna $D^2$ (cm <sup>2</sup> )                   | 20*20                                     | 30*30                                  | 10.5 * 3.5                  |
| Fuerza Comprimida $\sigma_c$ (kgf/cm <sup>2</sup> )        | 80  | 180                                    | -                           |
| Fuerza de Corte a Corto Plazo $F_s$ (kgf/cm <sup>2</sup> ) | 80/30*3=8                                 | 180/30*3=18                            | 6*3*(4/3)=24                |

De acuerdo al análisis estructural mencionado en este estudio, la fuerza de rendimiento de las columnas de concreto de una casa de barrio en Caracas, es casi la misma que la de una casa de madera ordinaria en Japón. Sin embargo, la columna de concreto de una casa en el área formal en Caracas tiene más fuerza que la casa de madera ordinaria en Japón (Figura S12-2.3.2).

La Figura S12-2.3.3 y Tabla S12-2.3.2 muestran un ejemplo del cálculo. Los cortes transversales de la vista plana y la profundidad y ancho de cada sección se muestran aquí.

### 2. 3. 5. Definición de “Zona Amarilla”

El área normalmente afectada por flujo de escombros, mejor conocida como “Zona Amarilla”, puede ser definida como la sección en la cual el potencial de flujo de escombros puede ser alcanzado desde



el punto de vista topográfico. La zona amarilla es el punto básico aguas abajo y la pendiente de dos (2) grados aguas arriba, en principio.

El concepto para delinear la zona amarilla en el corte transversal en forma de valle se muestra en la Figura S12-2.3.4. Si la altura de la zona roja es menor de 5m, entonces la altura de la zona amarilla será de 5m. Si la altura de la zona roja es mayor de 5m, entonces la altura de la zona amarilla será 1m más arriba que la zona roja.

La “Regla de Abanico” es aplicable cuando el corte transversal es plano y el área con una altura de 5m no puede ser decidida. La regla de abanico se muestra en la Figura S12-2.3.5. El vector (línea punteada) con una longitud de 40m se describe como la dirección de pendiente más empinada desde el punto de vista de la zona amarilla. El vector (línea no punteada) para la zona amarilla se describe como 30 grados desde el vector punteado. El vector de la zona amarilla se repite hasta que la pendiente es menor de 2 grados.

### **2. 3. 6. Mapa de Amenaza / Riesgo por el Método -1**

La Figura S12-2.3.6 es el mapa de amenaza de flujo de escombros por el Método-1. El número de casas afectadas y el área total de casas en las Zonas Amarilla y Roja se muestran en la Tabla S12-2.3.3 y Tabla S12-2.3.4. De las 2.700 casas en la zona roja, 1.300 están ubicadas en los barrios, de las cuales alrededor de 1.000 casas están construidas en las quebradas por lo que se recomienda que las casas en las quebradas sean reubicadas.

La primera tabla es la base principal de las quebradas, en la cual los números de las propiedades contadas han duplicado las cuentas en los abanicos aluviales. La primera tabla puede ser referida cuando las quebradas principales individuales son comparadas en términos del potencial de amenaza.

La última tabla es la base para los abanicos aluviales, en la cual los números contados no tienen ninguna duplicación en los abanicos aluviales. Como un caso de escenario, si el flujo de escombros ocurre en todas las quebradas principales, el área de amenaza puede ser mostrada en la última tabla. (Figura S12-2.3.7).

El Mapa de Riesgo se muestra en la Figura S122.3.8. Este mapa está clasificado por los colores de acuerdo a la densidad de casas en el área de amenaza en base al mapa de amenaza.

## **2.4 Método 2: Método del Modelo FLO-2D**

### **2.4.1. Parte Hidrológica**

#### **(1) Área Modelada**

El informe del estudio hidrológico “Estudio de Crecidas” está enfocado en el área montañosa sobre la Cota Mil (Avenida sobre los 1.000 metros) de cada quebrada. El informe estudió el histograma de precipitación diseñado por período de retorno para las áreas. Asimismo, la descarga diseñada es calculada por el análisis de precipitación-escorrentía.

El resultado del estudio hidrológico está configurado como la condición del límite aguas arriba para el análisis hidráulico.

#### **(2) Análisis de Precipitación**

El “Estudio de Crecidas” establece que la distribución de la precipitación mensual en el Valle de Caracas es muy diferente a la del Estado Vargas, lo que significa que las características meteorológicas son diferentes entre ellas. Mientras que las distribuciones de la precipitación mensual dentro del Valle de Caracas son similares entre las estaciones pluviométricas, la distribución aérea en términos de precipitación de corta duración tiene una gran variación. Por lo tanto, cinco (5) estaciones pluviométricas fueron seleccionadas como estaciones representativas para la parte sureña de la Montaña El Ávila.

El informe resaltó que la precipitación fuerte en Caracas no continuó por varios días, como ocurrió en Vargas.

#### **(3) Cálculo de la Escorrentía**

Para la conversión de la cantidad de precipitación a la descarga de escorrentía, el método SCS fue utilizado para cuantificar la cantidad de precipitación efectiva y el método cinético de onda fue aplicado para producir hidrogramas de escorrentía.

### **2.4.2. Parte Hidráulica (FLO-2D)**

#### **(1) Aplicabilidad para la topografía del área a ser modelada**

El estudio hidráulico está enfocado en el área urbana de cada quebrada por debajo de la Cota Mil (vía rápida sobre los 1.000 metros). El área a ser modelada es el abanico aluvial compuesto por el sedimento de El Ávila. La pendiente a lo largo de las quebradas es muy escarpada y las líneas de contorno del área son en forma de abanico, por lo tanto el agua de inundación tiende a

fluir hacia abajo muy rápidamente y se esparce. El agua de inundación que pasa a través del ápice de abanico pudo distribuirse en dos direcciones dependiendo de la topografía. En este sentido, el uso del modelo hidrológico bidimensional “FLO-2D” es muy apropiado.

## **(2) Utilización en Venezuela**

El “FLO-2D” es un software comercial. Este fue desarrollado por el Dr. Jim O’Brien en los Estados Unidos de América y por el Dr. Reinaldo García en la Universidad Central de Venezuela (UCV). La UCV es una de la Contrapartes del Estudio.

La metodología para el uso del FLO-2D fue probada por la parte Venezolana en veinte tres sitios en la región de Caracas y el Estado Vargas. Los mapas de amenaza del Estado Vargas están siendo utilizados por los planificadores del Ministerio del Ambiente y los Recursos Naturales y otros organismos para diseñar planes de emergencia y políticas de uso de la tierra. La metodología está siendo expandida a otras regiones de amenaza de inundación en Venezuela.

## **(3) Utilización en el Mundo**

El FLO-2D es un software hidráulico oficialmente evaluado como una herramienta de mapeo de amenazas por la Agencia Federal de Administración de Emergencias de los Estados Unidos (FEMA, *Federal Emergency Management Agency*). Es ampliamente utilizada para el mapeo de peligro/amenaza de inundación en muchos países, así como en Estados Unidos. Esto significa que existe una gran cantidad de usuarios para el software en el mundo y que éste ha sido aplicado en muchos problemas prácticos.

## **(4) Concepto de Solución Hidráulica**

El FLO-2D es un modelo bidimensional de enrutamiento de inundación, representando una herramienta valiosa para delinear las amenazas de inundación, regular la zonificación de terrenos de inundación y diseñar la mitigación de inundaciones. El FLO-2D delinea un hidrogáfico de inundación mediante el uso de ecuaciones completas de la dinámica del momento de las ondas, garantizando la conservación del volumen para predecir con exactitud el área de inundación. Los términos de viscosidad de fluidos y presión/ fatiga producidos se toman en cuenta en este modelo. El cauce y la aspereza del terreno de inundación juegan un rol en las presiones turbulentas en la ecuación completa de la dinámica de ondas. Este modelo es efectivo para analizar el desbordamiento de las riberas de ríos, pero también es valioso para analizar problemas no convencionales de inundación, tales como flujos no confinados en topografías complejas y ásperas, flujos derramados, flujo de escombros/deslaves de inundación urbana. La clave para la aplicabilidad del modelo es la conservación del volumen que rastrea la

progresión de la onda de inundación sobre superficies no confinadas. El detalle de la delineación de la amenaza de inundación puede ser mejorado con el FLO-2D mediante la modelación de la precipitación e infiltración, aplicando los componentes de puente, alcantarilla y dique, simulando flujos de sedimentos hiper-concentrados o mediante la modelación de los efectos de las construcciones u obstrucciones al flujo.

## (5) Ecuaciones Matemáticas y Solución

Las ecuaciones que gobiernan el cálculo hidrodinámico son las siguientes:

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial h V_x}{\partial x} + \frac{\partial h V_y}{\partial y} = i$$

$$S_{fx} = S_{ox} - \frac{\partial h}{\partial x} - \frac{V_x}{g} \frac{\partial V_x}{\partial x} - \frac{V_y}{g} \frac{\partial V_y}{\partial y} - \frac{1}{g} \frac{\partial V_x}{\partial t} \quad S_{fy} = S_{oy} - \frac{\partial h}{\partial y} - \frac{V_y}{g} \frac{\partial V_y}{\partial y} - \frac{V_x}{g} \frac{\partial V_x}{\partial x} - \frac{1}{g} \frac{\partial V_y}{\partial t}$$

Donde  $h$  es la profundidad del flujo,  $V_x$  y  $V_y$  son los componentes a lo largo de las coordenadas  $x$ - y  $y$ - de la velocidad media de profundidad;  $I$  es el exceso de intensidad de la precipitación.

La forma diferencial de las ecuaciones de continuidad y el momento en el modelo del FLO-2D es resuelta con un esquema central de diferencia finita. El dominio de la solución es subdividido en elementos uniformes de cuadrículas.

Los componentes de fricción de la pendiente  $S_{fx}$  y  $S_{fy}$  están compuestos de componentes de rendimiento de la vertiente ( $S_y$ ); componente de viscosidad de la vertiente ( $S_v$ ); y componente de la turbulencia dispersiva de la vertiente ( $S_{td}$ ).

$$S_f = S_y + S_v + S_{td}$$

$$S_f : \text{friction slope} \quad S_y : \text{yield slope} \quad S_v : \text{viscous slope} \quad S_{td} : \text{turbulent - dispersive slope}$$

El FLO-2D delinea flujos de sedimentos hiper-concentrados (flujo de escombros y deslaves) como un fluido continuo mediante la predicción del movimiento del fluido viscoso. Para deslaves (flujos de barro), el movimiento de la matriz del fluido es gobernado por la concentración de sedimento. Un modelo cuadrático geológico para predecir viscosidad y tensiones producidas como función de la concentración de sedimentos es empleado y los volúmenes de sedimento son rastreados a través del sistema. A medida que cambie la concentración de sedimento para un elemento de una cuadrícula dado, los efectos de dilución, la cesación del deslave y la removilización de depósitos son simulados.

## **(6) Criterios de Simulación**

El modelo toma en cuenta las estructuras hidráulicas tales como canales, alcantarillas y puentes, y la infraestructura existente como la densidad de construcciones/ edificaciones.

El modelo es de dos (2) dimensiones y el tamaño de la cuadrícula es 30 m \* 30 m, excepto para los modelos de Tócome y Anauco. La estructura hidráulica puede ser modelada dentro de una cuadrícula.

El hidrogáfico de descarga para agua a ser usado está basado sobre el trabajo “Estudio de Crecidas”. Los mapas de amenaza han sido preparados para períodos de retorno de 10, 100 y 500 años.

El hidrogáfico para el material sedimentario en el límite aguas arriba está hecho para considerar la proporción de la concentración de sedimento sobre la descarga de agua.

El factor de reducción en el área de edificaciones, que podría afectar la profundidad del agua y sedimento, ha sido tomado en cuenta.

### **2. 4. 3. Modelación del FLO-2D para Caracas**

#### **(1) Área Modelada**

Los 11 abanicos aluviales fueron divididos en 2 áreas modeladas separadas, a saber: el modelo oriental y el modelo occidental. El modelo oriental cubre los abanicos aluviales de Caurimare, Tócome Agua de Maíz, Sebucán, Seca y Chacaíto. El modelo occidental cubre Maripérez, Canoas, Anauco, Catuche y Caroata.

Cada modelo puede simular las inundaciones de todos los abanicos aluviales en una sola corrida. Por lo tanto, el modelo puede simular la inundación de agua de 2 abanicos aluviales para converger y formar un área inundada contigua.

#### **(2) Tamaño de la Cuadrícula y Elevación de la Cuadrícula**

El tamaño de la cuadrícula fue fijado en un cuadrado de 100 m \* 100 m. Se decidió considerar la escala espacial de exactitud topográfica, así como también el volumen de trabajo modelado. Especialmente, el tamaño de la cuadrícula puede afectar el volumen de trabajo modelado directamente porque es necesario ajustar los datos del modelo, tales como elevación, sección del canal y aspereza para cada celda de cuadrícula en el curso de corridas repetidas de simulación.

La elevación de la cuadrícula fue dada por la elevación media de los datos del punto de elevación de resolución DTM de 5 metros, la cual fue generada del mapa (escala 1:5.000) para este estudio.

### (3) Canal

El canal dentro de la cuadrícula fue configurado para las principales quebradas en ambos modelos. Todos los canales son considerados como cauces abiertos con forma rectangular.

### (4) Concentración de Sedimento

Debido al requerimiento del software para la simulación del flujo de escombros, la concentración de sedimento debe ser por lo menos 0,20. Para el caso del escenario, se decidió que la concentración de sedimento incluyera el volumen total de sedimento como la porción excedente de la concentración de sedimento de 0.20, igual para el volumen de sedimento objetivo.

En base al concepto FLO-2D, la descarga de sedimento es calculada de la siguiente manera:

$$Q_{sp} = \frac{C_v}{1 - C_v} Q_p$$

$C_v$  : *concentracion volumetrica de se dim ento*

$Q_p$  es la descarga de agua proporcionada por el cálculo de escorrentía y precipitación. Como se muestra en la Figura S12-2.4.1, a continuación, el gráfico de la descarga de sedimento se proporciona al fijar el perfil de concentración de sedimento (serie de tiempo). El volumen de escorrentía de sedimento se muestra en la Tabla S12-2.3.1, por ejemplo  $V=101,400$  m<sup>3</sup> para la cuenca de Caurimare, es casi equivalente a la integración del perfil de la descarga de sedimento.

El momento adecuado para la ocurrencia del flujo de escombros se fijó aproximadamente a 30 minutos alrededor del pico del hidrograma de descarga de agua.

#### **2. 4. 4. Corridas del Modelo del FLO-2D**

##### **(1) Caso**

Los casos simulados son 10 y 100 años en términos del período de retorno de la precipitación diseñada, bajo la condición existente. Las condiciones de sedimento consideradas son: no ocurrencia de flujo de escombros ( $C_v = 0.2$  constante) para 10 años, volumen de escorrentía de sedimento para 100 años.

Como una referencia, asumiendo que todos los Diques Sabo son construidos en El Ávila, un (1) caso fue simulado para un período de retorno de 100 años.

##### **(2) Resultados**

La Figura S12-2.4.2 y la Figura S12-2.4.3 representan la profundidad y la velocidad para un período de retorno de 100 años bajo la condición existente. Los valores de profundidad y velocidad son el valor medio para cada celda de la cuadrícula.

La Figura S12-2.4.4 es la profundidad para un período de retorno de 100 años asumiendo que todos los Diques Sabo sean construidos en el futuro. La descarga pico fue reducida debido a menos concentración de sedimento, resultando un área inundada también reducida.

**Tabla S12-2.1.1 Quebradas Sujetas al Mapeo de Amenaza por Flujo de Escombros**

|    | <b>20 quebradas por el E/E de JICA</b> | <b>Nombre del Abanico Aluvial</b> | <b>Estudio Venezolano</b> |
|----|--|-----------------------------------|---------------------------|
| 1  | Caroata, Agua Salud, Agua Salada       | Caroata                           | “Proyecto Caracas”        |
| 2  | Catuche                                | Catuche                           | “Mapa de Amenaza”         |
| 3  | Cotiza, Anauco, Gamboa                 | Cotiza-Anauco-Gamboa              | “PREVENE”                 |
| 4  | Sarria (Canoas)                        | Canoas                            | “Proyecto Caracas”        |
| 5  | Maripérez                              | Maripérez                         | “Mapa de Amenaza”         |
| 6  | Capellán, Chacaíto                     | Chacaíto-Capellán                 | “Mapa de Amenaza”         |
| 7  | Quintero                               | Quebrada Seca                     | “Mapa de Amenaza”         |
| 8  | Pajaritos, Sebucan                     | Pajaritos-Sebucan                 | “Mapa de Amenaza”         |
| 9  | Tenería                                | Agua de Maíz                      | “Mapa de Amenaza”         |
| 10 | Tocome, La Julia                       | Tócome-La Julia                   | “PREVENE”                 |
| 11 | Pasaquire, Galindo, Caurimare          | Caurimare-Galindo-Pasaquire       | “Mapa de Amenaza”         |

**Tabla S12-2.2.1 Estructura Modelo**

|  | <b>PREVENE</b>          | <b>Proyecto Ávila / Caracas</b>   | <b>Estudio de JICA</b>                                    |
|--|-------------------------|---|---|
| Modelo de Escorrentía de Precipitación | Unidad Hidrográfica     | Onda Cinética (Informe MARN-CGR)  | Onda Cinética (Informe MARN-CGR)                          |
| Modelo Hidráulico                      | FLO-2D (Tocome, Anauco) | FLO-2D (11 abanicos aluviales, cada abanico aluvial tiene un modelo separado) | FLO-2D (11 abanicos aluviales, combinados en dos modelos) |
|  | Cuadrícula de 25 m      | Cuadrícula de 30 m  | Cuadrícula de 100m  |

**Tabla S12-2.2.2 Diferencia entre el Modelo FLO-2D del Proyecto Ávila y el del Equipo de Estudio**

|                               | <b>Proyecto Ávila / Caracas</b>  | <b>Equipo de Estudio</b>  |
|-------------------------------|--|---|
| Influjo Hidrográfico          | Hidrográfico del Agua (Informe CGR)+valor estándar de concentración de sedimento | Hidrográfico del Agua (Informe CGR)+ volumen de sedimento propuesto |
| Tamaño de la Cuadrícula       | 30 m   | 100 m   |
| Canal dentro de la Cuadrícula | considerado  | considerado   |
| Alcantarilla, Calle           |  |   |



**Tabla S12-2.3.1 Volumen de Escorrentía de Sedimento mediante el Método-1 y Método-2**

| No. de Captaciones | Código | Nombre de la Captación |              | Área (km <sup>2</sup> ) | Volumen de Escorrentía de Sedimento |                   | Ajuste (m <sup>3</sup> ) | Cada Mil capacidad de bolsa aguas arriba (m <sup>3</sup> ) | Volumen de Escorrentía de Sedimento para el Método 1 y 2 |                                    | Cp para el Método 1 (m <sup>3</sup> /s) |
|--------------------|--------|------------------------|--------------|-------------------------|-------------------------------------|-------------------|--------------------------|--|--|------------------------------------|---|
|                    |        |                        |              |                         | (m <sup>3</sup> )                   | (m <sup>3</sup> ) |                          |  | (m <sup>3</sup> )  | (m <sup>3</sup> /km <sup>2</sup> ) |   |
| 1                  | 4H     |                        | Caurimare    | 0,161                   |                                     | 4,300             |                          |  | 58,000   | Vec                                | 8,1                                     |
| 2-0                | 46     |                        | Caurimare    | 0,887                   | 0,107                               | 21,100            | 2,40C                    |  | 21,500   | Ve                                 | 24,8                                    |
| 2-1                |        |                        |              | 0,955                   | 0,155                               |                   | 3,40C                    |  | 3,400  |                                    |   |
| 2-2                |        |                        |              |                         | 0,071                               |                   | 1,60C                    |  | 1,600  |                                    |   |
| 2-3                |        |                        |              |                         | 0,622                               |                   | 3,70C                    |  | 13,700   |                                    |   |
| 3                  | 48     |                        | Caurimare    | 0,075                   |                                     | 3,800             |                          |  | 51,000   | Vec                                | 3,7                                     |
| 4                  | 48     | Caurimare              | Caurimare    | 6,354                   |                                     | 101,400           |                          |  | 101,400  | Vec                                | 75,0                                    |
| 5                  | 48     | Galindo                | Caurimare    | 3,845                   |                                     | 52,000            |                          |  | 58,000   | Vec                                | 68,0                                    |
| 6                  | 48     |                        | Caurimare    | 0,087                   |                                     | 3,600             |                          |  | 6,600  | Vec                                | 3,2                                     |
| 7                  | 48     |                        | Caurimare    | 0,3C                    |                                     | 13,300            |                          |  | 16,500   | Vec                                | 14,4                                    |
| 8                  | 40     | Pasaquite              | Caurimare    | 1,14C                   |                                     | 34,200            |                          | 13,400   | 20,000   | Ve                                 | 34,0                                    |
| 9                  | 48     |                        | Caurimare    | 0,117                   |                                     | 7,000             |                          |  | 7,000  | Ve                                 | 5,1                                     |
| 10                 | 48     |                        | Caurimare    | 0,055                   |                                     | 3,300             |                          |  | 3,500  | Ve                                 | 2,4                                     |
| 11                 | 50     | Gamburi                | Topome       | 0,247                   |                                     | 15,100            |                          |  | 15,100   | Vec                                | 10,6                                    |
| 12                 | 50     | La Julia               | Topome       | 21                      |                                     | 62,800            |                          |  | 62,800   | Vec                                | 74,0                                    |
| 13                 | 50     |                        | Topome       | 0,327                   | 0,142                               | 39,700            | 7,24C                    |  | 17,240   | Ve                                 | 13,9                                    |
| 14                 | 50     | Tucume                 | Tucume       | 9,44E                   |                                     | 152,200           |                          |  | 152,200  | Vec                                | 162,0                                   |
| 15                 | 50     | Tenerias               | Topome       | 1,40E                   |                                     | 45,200            |                          |  | 45,200   | Ve                                 | 47,0                                    |
| 16                 | 52     | Agua de molc           | Agua de molc | 0,3E                    | 0,142                               | 32,100            | 2,00C                    |  | 12,000   | Ve                                 | 12,0                                    |
| 17                 | 54     | Sebucan                | Sebucan      | 1,57                    |                                     | 43,700            |                          | 13,700   | 38,000   | Vec                                | 53,0                                    |
| 18                 | 54     |                        | Sebucan      | 0,167                   | 0,1                                 | 13,300            | 0,96C                    |  | 10,960   | Ve                                 | 7,1                                     |
| 19                 | 54     | Pajarito               | Sebucan      | 1,374                   |                                     | 44,700            |                          |  | 44,700   | Vec                                | 42,0                                    |
| 20                 | 54     |                        | Sebucan      | 0,112                   |                                     | 7,800             |                          | 2,400  | 5,400  | Ve                                 | 4,8                                     |
| 21                 | 54     |                        | Sebucan      | 0,27                    | 0,223                               | 24,900            | 20,57C                   | 4,900  | 15,670   | Vec                                | 11,5                                    |
| 22                 | 56     | Guirtero               | Seza         | 1,07E                   |                                     | 53,200            |                          |  | 56,200   | Vec                                | 41,2                                    |
| 23                 | 56     | Seza                   | Seza         | 0,775                   |                                     | 30,800            |                          |  | 30,800   | Vec                                | 25,9                                    |
| 24                 | 56     |                        | Seza         | 0,207                   | 0,84                                | 15,100            | 6,13C                    |  | 6,130  | Ve                                 | 8,8                                     |
| 25                 | 58     | Chacaito               | Chacaito     | 6,33C                   |                                     | 112,400           |                          |  | 112,400  | Vec                                | 117,0                                   |
| 26                 | 58     |                        | Chacaito     | 0,15E                   |                                     | 13,100            |                          |  | 64,500   | Ve                                 | 6,7                                     |
| 27                 | 58     |                        | Chacaito     | 0,25E                   | 0,18                                | 13,100            | 3,58C                    |  | 13,580   | Ve                                 | 10,3                                    |
| 28                 | 50     | Chapellin              | Chacaito     | 1,19C                   |                                     | 50,000            |                          | 1,000  | 49,000   | Ve                                 | 40,0                                    |
| 29                 | 58     |                        | Chacaito     | 0,06E                   |                                     | 4,100             |                          |  | 58,000   | Ve                                 | 3,8                                     |
| 30                 | 58     | Cuno                   | Chacaito     | 0,59E                   |                                     | 57,100            |                          | 3,800  | 53,300   | Ve                                 | 24,5                                    |
| 31                 | 58     |                        | Chacaito     | 0,23E                   | 0,136                               | 14,000            | 8,10C                    |  | 8,100  | Ve                                 | 10,9                                    |
| 32                 | 62     |                        | Mariperez    | 0,057                   |                                     | 3,400             |                          |  | 60,000   | Ve                                 | 2,7                                     |
| 33                 | 62     | Mariperez              | Mariperez    | 0,69E                   |                                     | 23,600            |                          |  | 26,600   | Vec                                | 34,0                                    |
| 34                 | 63     | Canoas                 | Canoas       | 0,092                   | 0,054                               | 3,500             | 2,03C                    |  | 2,030  | Ve                                 | 4,3                                     |
| 35                 | 63     |                        | Canoas       | 0,56E                   |                                     | 23,200            |                          |  | 23,200   | Vec                                | 28,0                                    |
| 36                 | 66     |                        | Anaucc       | 0,26E                   | 0,107                               | 17,100            | 6,88C                    |  | 6,880  | Ve                                 | 8,9                                     |
| 37                 | 66     | Gemboa                 | Anaucc       | 3,071                   |                                     | 82,300            |                          |  | 82,500   | Ve                                 | 52,8                                    |
| 38                 | 66     |                        | Anaucc       | 0,19C                   |                                     | 11,400            |                          |  | 11,400   | Ve                                 | 6,4                                     |
| 39                 | 66     | Beatas                 | Anaucc       | 0,427                   |                                     | 15,600            |                          |  | 15,600   | Vec                                | 10,0                                    |
| 40                 | 66     |                        | Anaucc       | 0,181                   |                                     | 11,400            |                          |  | 11,400   | Ve                                 | 6,4                                     |
| 41                 | 66     | Anaucc                 | Anaucc       | 3,6E                    |                                     | 103,900           |                          | 63,500   | 30,400   | Ve                                 | 50,0                                    |
| 42                 | 66     | Optiza                 | Anaucc       | 3,79E                   |                                     | 144,500           |                          | 93,000   | 51,500   | Vec                                | 56,0                                    |
| 43                 | 67     |                        | Catuche      | 0,26E                   |                                     | 11,300            |                          |  | 42,000   | Vec                                | 10,4                                    |
| 44                 | 67     | Catuche                | Catuche      | 4,49E                   |                                     | 95,900            |                          |  | 95,900   | Vec                                | 59,0                                    |
| 45                 | 69     | Stisabel               | Catmata      | 0,091                   |                                     | 3,400             |                          |  | 5,400  | Ve                                 | 3,0                                     |
| 46                 | 69     |                        | Catmata      | 0,082                   |                                     | 4,900             |                          |  | 4,900  | Ve                                 | 2,7                                     |
| 47                 | 69     | Agua Salud             | Catmata      | 0,47E                   |                                     | 21,700            |                          |  | 21,700   | Vec                                | 14,7                                    |

**Tabla S12-2.3.2 Ejemplo del Resultado del Cálculo (Catucho)**

| Sección Transversal | h: Altura del Flujo de Escombros (m) | B: Ancho del Flujo de Escombros (m) | U: Velocidad del Flujo de Escombros | Fd: Fuerza Hidráulica (kN/m <sup>2</sup> ) | P2: Fuerza de Resistencia (kN/m <sup>2</sup> ) |
|---------------------|--------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|--|--|
| 1                   | 5,16                                 | 34,24                               | 8,04                                | 101,52                                     | 4,50   |
| 2                   | 4,52                                 | 38,92                               | 6,92                                | 69,62                                      | 4,50   |
| 3                   | 4,71                                 | 36,34                               | 6,45                                | 58,85                                      | 4,50   |
| 4                   | 5,04                                 | 32,87                               | 6,38                                | 57,41                                      | 4,50   |
| 5                   | 4,27                                 | 48,40                               | 5,04                                | 33,55                                      | 4,50   |
| 6                   | 4,22                                 | 49,42                               | 5,88                                | 45,62                                      | 4,50   |
| 7                   | 4,18                                 | 50,13                               | 5,74                                | 43,61                                      | 4,50   |
| 8                   | 4,17                                 | 50,31                               | 5,36                                | 37,98                                      | 4,50   |
| 9                   | 2,18                                 | 148,54                              | 4,72                                | 29,48                                      | 4,74   |
| 10                  | 2,28                                 | 145,71                              | 3,99                                | 20,66                                      | 4,66   |
| 11                  | 2,82                                 | 102,61                              | 5,18                                | 34,87                                      | 4,50   |
| 12                  | 2,44                                 | 129,97                              | 4,34                                | 24,48                                      | 4,58   |
| 13                  | 2,58                                 | 118,53                              | 5,16                                | 34,59                                      | 4,53   |
| 14                  | 2,28                                 | 145,71                              | 4,79                                | 29,76                                      | 4,66   |
| 15                  | 2,48                                 | 127,10                              | 5,08                                | 33,54                                      | 4,56   |
| 16                  | 2,86                                 | 100,30                              | 5,95                                | 45,94                                      | 4,50   |
| 17                  | 2,53                                 | 122,46                              | 4,55                                | 26,83                                      | 4,54   |
| 18                  | 2,28                                 | 145,71                              | 4,65                                | 28,12                                      | 4,66   |
| 19                  | 2,28                                 | 145,71                              | 4,65                                | 28,03                                      | 4,66   |
| 20                  | 2,32                                 | 145,71                              | 3,93                                | 19,99                                      | 4,64   |
| 21                  | 2,36                                 | 141,52                              | 4,10                                | 21,77                                      | 4,62   |
| 22                  | 2,32                                 | 145,71                              | 4,64                                | 27,88                                      | 4,64   |
| 23                  | 2,33                                 | 144,35                              | 3,87                                | 19,30                                      | 4,63   |
| 24                  | 3,34                                 | 79,43                               | 4,68                                | 28,26                                      | 4,50   |
| 25                  | 3,30                                 | 80,85                               | 5,13                                | 33,92                                      | 4,50   |
| 26                  | 3,44                                 | 89,45                               | 3,55                                | 15,89                                      | 4,50   |
| 27                  | 2,69                                 | 134,57                              | 4,39                                | 24,25                                      | 4,51   |
| 28                  | 2,61                                 | 141,75                              | 3,46                                | 15,03                                      | 4,52   |
| 29                  | 2,61                                 | 141,75                              | 4,17                                | 21,91                                      | 4,52   |
| 30                  | 2,78                                 | 127,37                              | 5,20                                | 33,95                                      | 4,50   |
| 31                  | 2,61                                 | 141,75                              | 3,87                                | 18,84                                      | 4,52   |
| 32                  | 2,61                                 | 141,75                              | 4,59                                | 26,49                                      | 4,52   |
| 33                  | 2,61                                 | 141,75                              | 5,03                                | 31,84                                      | 4,52   |
| 34                  | 5,30                                 | 43,57                               | 5,16                                | 33,43                                      | 4,50   |
| 35                  | 3,58                                 | 83,89                               | 5,72                                | 41,20                                      | 4,50   |
| 36                  | 2,81                                 | 125,48                              | 5,33                                | 35,78                                      | 4,50   |
| 37                  | 2,61                                 | 141,75                              | 3,87                                | 18,80                                      | 4,52   |
| 38                  | 3,84                                 | 77,86                               | 3,40                                | 14,47                                      | 4,50   |
| 39                  | 3,23                                 | 139,29                              | 2,44                                | 7,33                                       | 4,50   |
| 40                  | 3,23                                 | 139,29                              | 5,24                                | 33,74                                      | 4,50   |
| 41                  | 4,12                                 | 93,14                               | 5,19                                | 33,01                                      | 4,50   |
| 42                  | 4,34                                 | 85,45                               | 5,50                                | 37,10                                      | 4,50   |
| 43                  | 4,27                                 | 87,82                               | 4,89                                | 29,29                                      | 4,50   |
| 44                  | 3,36                                 | 130,88                              | 3,69                                | 16,66                                      | 4,50   |
| 45                  | 3,62                                 | 115,41                              | 3,70                                | 16,79                                      | 4,50   |
| 46                  | 3,66                                 | 113,20                              | 3,20                                | 12,56                                      | 4,50   |
| 47                  | 3,23                                 | 139,29                              | 4,41                                | 23,81                                      | 4,50   |
| 48                  | 3,23                                 | 139,29                              | 2,97                                | 10,83                                      | 4,50   |
| 49                  | 3,23                                 | 139,29                              | 3,16                                | 12,23                                      | 4,50   |
| 50                  | 3,64                                 | 114,59                              | 4,45                                | 24,34                                      | 4,50   |
| 51                  | 3,23                                 | 139,29                              | 3,97                                | 19,36                                      | 4,50   |
| 52                  | 3,23                                 | 139,29                              | 4,30                                | 22,69                                      | 4,50   |
| 53                  | 3,23                                 | 139,29                              | 3,79                                | 17,63                                      | 4,50   |
| 54                  | 3,23                                 | 139,29                              | 3,14                                | 12,10                                      | 4,50   |
| 55                  | 3,23                                 | 139,29                              | 3,98                                | 19,44                                      | 4,50   |
| 56                  | 3,23                                 | 139,29                              | 4,29                                | 22,58                                      | 4,50   |
| 57                  | 3,23                                 | 139,29                              | 5,21                                | 33,28                                      | 4,50   |
| 58                  | 3,23                                 | 139,29                              | 5,43                                | 36,20                                      | 4,50   |
| 59                  | 3,23                                 | 139,29                              | 4,90                                | 29,45                                      | 4,50   |
| 60                  | 3,23                                 | 139,29                              | 4,35                                | 23,24                                      | 4,50   |
| 61                  | 3,23                                 | 139,29                              | 3,25                                | 12,98                                      | 4,50   |
| 62                  | 3,70                                 | 138,10                              | 1,94                                | 4,58                                       | 4,50   |
| 63                  | 3,70                                 | 138,10                              | 3,12                                | 11,85                                      | 4,50   |
| 64                  | 3,70                                 | 138,10                              | 3,73                                | 16,90                                      | 4,50   |
| 65                  | 3,70                                 | 138,10                              | 4,16                                | 21,02                                      | 4,50   |
| 66                  | 3,70                                 | 138,10                              | 4,84                                | 28,53                                      | 4,50   |
| 67                  | 3,70                                 | 138,10                              | 4,37                                | 23,18                                      | 4,50   |
| 68                  | 3,70                                 | 138,10                              | 3,64                                | 16,15                                      | 4,50   |
| 69                  | 3,70                                 | 138,10                              | 3,58                                | 15,60                                      | 4,50   |
| 70                  | 3,70                                 | 138,10                              | 3,13                                | 11,95                                      | 4,50   |
| 71                  | 3,70                                 | 138,10                              | 1,94                                | 4,60                                       | 4,50   |
| 72                  | 3,70                                 | 138,10                              | 2,46                                | 7,34                                       | 4,50   |

**Tabla S12-2.3.3 Propiedad en Zonas Amarilla y Roja (Base Quebradas Principales)**

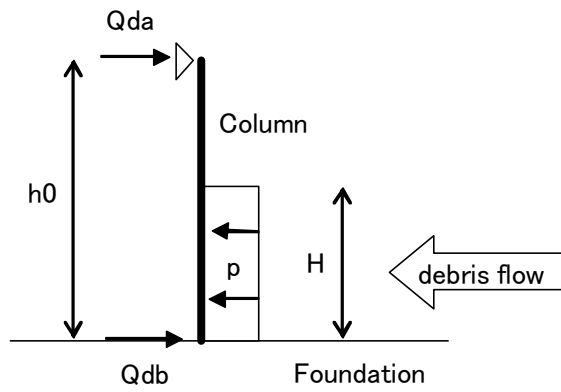
| Cuenca Principal |                | Zona Amarilla           |             |            |                       |                       |                      | Zona Roja               |             |            |                       |                       |                      |
|------------------|----------------|-------------------------|-------------|------------|-----------------------|-----------------------|----------------------|-------------------------|-------------|------------|-----------------------|-----------------------|----------------------|
|                  |                | Conteo de Edificaciones |             |            | Área de Edificaciones |                       |                      | Conteo de Edificaciones |             |            | Conteo de Área        |                       |                      |
| No.              | Nombre         | Barrio nos.             | Formal nos. | Total nos. | Barrio m <sup>2</sup> | Formal m <sup>2</sup> | Total m <sup>2</sup> | Barrio nos.             | Formal nos. | Total nos. | Barrio m <sup>2</sup> | Formal m <sup>2</sup> | Total m <sup>2</sup> |
| 02 1             |                | 46                      | 0           | 46         | 2,272                 | 0                     | 2,272                |                         | 0           |            |                       | 0                     |                      |
| 02 2             |                | 231                     | 168         | 399        | 11,312                | 55,591                | 66,903               |                         | 0           |            |                       | 0                     |                      |
| 02 3             |                | 195                     | 96          | 291        | 10,348                | 48,343                | 58,691               | 9                       | 27          | 36         | 339                   | 10,272                | 10,610               |
| 4                | Caurimare      | 316                     | 271         | 587        | 20,981                | 121,969               | 142,950              | 109                     | 103         | 212        | 6,107                 | 79,994                | 86,101               |
| 5                | Galindo        | 0                       | 18          | 18         | 0                     | 5,702                 | 5,702                |                         | 0           | 16         |                       | 4,733                 | 4,733                |
| 6                |                | 0                       | 198         | 198        | 0                     | 46,569                | 46,569               |                         | 0           |            |                       | 0                     |                      |
| 7                |                | 0                       | 90          | 90         | 0                     | 21,377                | 21,377               |                         | 0           | 41         |                       | 5,741                 | 5,741                |
| 8                | Pasaquire      | 0                       | 233         | 233        | 0                     | 54,548                | 54,548               |                         | 0           | 60         |                       | 7,355                 | 7,355                |
| 9                |                | 0                       | 171         | 171        | 0                     | 51,812                | 51,812               |                         | 0           |            |                       | 0                     |                      |
| 10               |                | 0                       | 336         | 336        | 0                     | 141,091               | 141,091              |                         | 0           |            |                       | 0                     |                      |
| 11               | Gamburi        | 0                       | 246         | 246        | 0                     | 66,192                | 66,192               |                         | 0           | 12         |                       | 1,937                 | 1,937                |
| 12               | La Julia       | 10                      | 696         | 706        | 888                   | 187,272               | 188,159              | 8                       | 397         | 405        | 838                   | 97,416                | 98,255               |
| 13               |                | 0                       | 92          | 92         | 0                     | 29,800                | 29,800               |                         | 0           | 9          |                       | 3,803                 | 3,803                |
| 14               | Tocome         | 0                       | 638         | 638        | 0                     | 160,183               | 160,183              |                         | 42          | 42         |                       | 11,909                | 11,909               |
| 15               | Tenerias       | 0                       | 92          | 92         | 0                     | 24,275                | 24,275               |                         | 0           |            |                       | 0                     |                      |
| 16               | Agua de maiz   | 115                     | 247         | 362        | 5,487                 | 64,580                | 70,068               |                         | 0           | 2          |                       | 610                   | 610                  |
| 17               | Sebucan        | 0                       | 742         | 742        | 0                     | 255,255               | 255,255              |                         | 0           |            |                       | 0                     |                      |
| 18               |                | 0                       | 507         | 507        | 0                     | 152,338               | 152,338              |                         | 0           |            |                       | 0                     |                      |
| 19               | Pajarito       | 0                       | 517         | 517        | 0                     | 210,755               | 210,755              |                         | 1           | 1          |                       | 503                   | 503                  |
| 20               |                | 0                       | 805         | 805        | 0                     | 352,716               | 352,716              |                         | 0           | 1          |                       | 460                   | 460                  |
| 21               |                | 0                       | 900         | 900        | 0                     | 389,840               | 389,840              |                         | 0           |            |                       | 0                     |                      |
| 22               | Quintero       | 9                       | 1,157       | 1,166      | 62                    | 454,710               | 454,772              |                         | 0           | 184        |                       | 37,703                | 37,703               |
| 23               | Seca           | 24                      | 529         | 553        | 683                   | 186,530               | 187,213              |                         | 57          | 57         |                       | 7,639                 | 7,639                |
| 24               |                | 69                      | 397         | 466        | 6,355                 | 140,453               | 146,808              |                         | 0           | 1          |                       | 548                   | 548                  |
| 25               | Chacaito       | 63                      | 454         | 517        | 5,487                 | 162,209               | 167,696              | 39                      | 209         | 248        | 2,635                 | 55,814                | 58,450               |
| 27               |                | 303                     | 484         | 787        | 23,016                | 127,160               | 150,176              |                         | 4           | 4          |                       | 781                   | 781                  |
| 28               | Chapellin      | 255                     | 139         | 394        | 18,325                | 30,036                | 48,361               |                         | 0           | 2          |                       | 152                   | 152                  |
| 29               |                | 278                     | 143         | 421        | 19,247                | 26,440                | 45,687               |                         | 0           |            |                       | 0                     |                      |
| 30               | Cuno           | 248                     | 106         | 354        | 17,581                | 21,626                | 39,207               |                         | 0           | 10         |                       | 1,700                 | 1,700                |
| 31               |                | 259                     | 105         | 364        | 17,843                | 21,796                | 39,639               |                         | 0           |            |                       | 0                     |                      |
| 33               | Mariperez      | 0                       | 106         | 106        | 0                     | 23,550                | 23,550               |                         | 3           | 32         |                       | 6,545                 | 6,545                |
| 34               |                | 920                     | 154         | 1,074      | 61,584                | 45,133                | 106,717              |                         | 0           | 1          |                       | 1                     | 1                    |
| 35               | Canoas(Sarria) | 551                     | 341         | 892        | 34,297                | 69,282                | 103,578              | 5                       | 5           | 163        | 4,471                 | 7,132                 | 11,602               |
| 36               |                | 463                     | 755         | 1,218      | 20,953                | 174,237               | 195,190              |                         | 0           |            |                       | 0                     |                      |
| 37               | Gamboa         | 83                      | 315         | 398        | 11,277                | 68,997                | 80,274               |                         | 2           | 17         |                       | 2,179                 | 2,179                |
| 38               |                | 191                     | 433         | 624        | 22,346                | 99,098                | 121,444              |                         | 0           |            |                       | 0                     |                      |
| 39               | Beatas         | 184                     | 169         | 353        | 15,849                | 28,282                | 44,131               |                         | 0           |            |                       | 0                     |                      |
| 40               |                | 319                     | 255         | 574        | 28,308                | 40,941                | 69,249               |                         | 8           | 8          |                       | 815                   | 815                  |
| 41               | Anauro         | 339                     | 340         | 679        | 32,774                | 58,615                | 91,389               | 290                     | 188         | 478        | 26,218                | 23,045                | 49,263               |
| 42               | Cotiza         | 64                      | 69          | 133        | 3,636                 | 12,680                | 16,316               |                         | 0           |            |                       | 0                     |                      |
| 44               | Catucho        | 659                     | 696         | 1,355      | 59,691                | 194,692               | 254,383              | 660                     | 399         | 1,059      | 59,967                | 111,363               | 171,330              |
| 45               | St. Isabel     | 224                     | 0           | 224        | 13,050                | 0                     | 13,050               |                         | 0           |            |                       | 0                     |                      |
| 46               |                | 299                     | 275         | 574        | 20,588                | 26,812                | 47,400               | 23                      | 10          | 33         | 828                   | 443                   | 1,271                |
| 47               | Agua Salud     | 158                     | 224         | 382        | 11,774                | 23,590                | 35,364               | 134                     | 0           | 299        | 8,665                 | 13,071                | 21,736               |

Nota: El número y el área de las casas/edificios se calcularon basándose en el mapa base (escala 1:5,000)

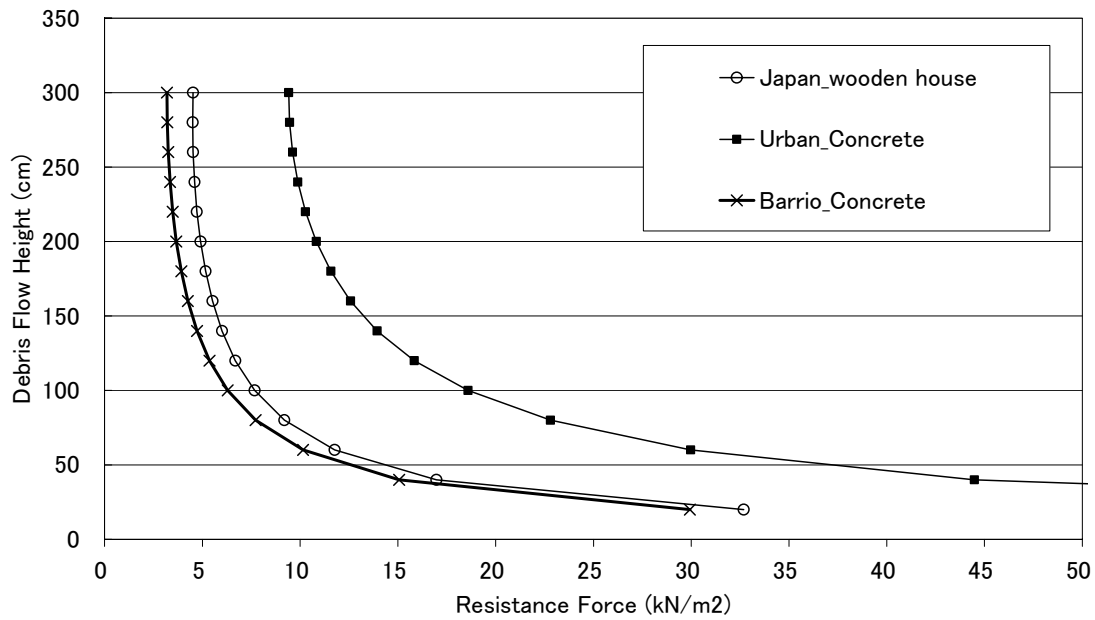
**Tabla S12-2.3.4 Propiedad en Zonas Amarilla y Roja (Base Abanicos Aluviales)**

| Sistema de Cuenca | Zona Amarilla           |             |            |                       |           |           | Zona Roja               |             |            |                       |           |           |
|-------------------|-------------------------|-------------|------------|-----------------------|-----------|-----------|-------------------------|-------------|------------|-----------------------|-----------|-----------|
|                   | Cuento de Edificaciones |             |            | Área de Edificaciones |           |           | Cuento de Edificaciones |             |            | Área de Edificaciones |           |           |
|                   | Barrio nos.             | Urbana nos. | Total nos. | Barrio m2             | Urbana m2 | Total m2  | Barrio nos.             | Urbana nos. | Total nos. | Barrio m2             | Urbana m2 | Total m2  |
| No.               |                         |             |            |                       |           |           |                         |             |            |                       |           |           |
| Caurimare         | 458                     | 965         | 1423       | 27,800                | 370,200   | 398,000   | 118                     | 130         | 248        | 6,400                 | 50,000    | 56,400    |
| Tocome            | 10                      | 1,303       | 1,313      | 900                   | 331,300   | 332,200   | 8                       | 440         | 448        | 800                   | 100,000   | 100,800   |
| Agua de Maiz      | 115                     | 415         | 530        | 5,500                 | 111,700   | 117,100   |                         | 0           | 0          | 0                     | 0         | 0         |
| Sebucan           | 0                       | 1,525       | 1,525      | 0                     | 524,000   | 524,000   |                         | 0           | 0          | 0                     | 0         | 0         |
| Seca              | 30                      | 879         | 909        | 700                   | 337,100   | 337,900   |                         | 50          | 50         | 0                     | 38,500    | 38,500    |
| Chacato           | 483                     | 1,063       | 1,546      | 37,000                | 312,200   | 349,200   | 39                      | 215         | 254        | 2,600                 | 55,000    | 57,600    |
| Mariperez         | 0                       | 106         | 106        | 0                     | 23,600    | 23,600    |                         | 3           | 3          | 0                     | 600       | 600       |
| Canoas            | 1,270                   | 592         | 1,862      | 83,300                | 127,200   | 210,600   | 5                       | 5           | 10         | 4,500                 | 700       | 5,200     |
| Anauco            | 688                     | 1,006       | 1,694      | 56,200                | 226,100   | 282,300   | 290                     | 190         | 480        | 26,200                | 22,000    | 48,200    |
| Catuche           | 659                     | 502         | 1,161      | 59,700                | 164,500   | 224,200   | 660                     | 394         | 1,054      | 60,000                | 111,100   | 171,100   |
| Caroata           | 596                     | 433         | 1,029      | 39,100                | 40,800    | 79,900    | 157                     | 10          | 167        | 9,500                 | 1,000     | 10,500    |
| 51                | 0                       | 4           | 4          | 0                     | 300       | 300       |                         | 0           | 0          | 0                     | 0         | 0         |
| 55                | 0                       | 38          | 38         | 0                     | 17,200    | 17,200    |                         | 0           | 0          | 0                     | 0         | 0         |
| 57                | 0                       | 284         | 284        | 0                     | 86,500    | 86,500    | 0                       | 1           | 1          | 0                     | 0         | 0         |
| 64                | 207                     | 517         | 724        | 9,000                 | 104,400   | 113,400   |                         | 0           | 0          | 0                     | 0         | 0         |
| 68                | 0                       | 201         | 201        | 0                     | 27,800    | 27,800    |                         | 0           | 0          | 0                     | 0         | 0         |
| Total             | 4,516                   | 9,833       | 14,349     | 319,300               | 2,804,800 | 3,124,100 | 1,277                   | 1,438       | 2,715      | 110,100               | 378,900   | 489,000   |
|                   |                         |             |            |                       |           |           |                         |             |            |                       |           | 2,228,400 |

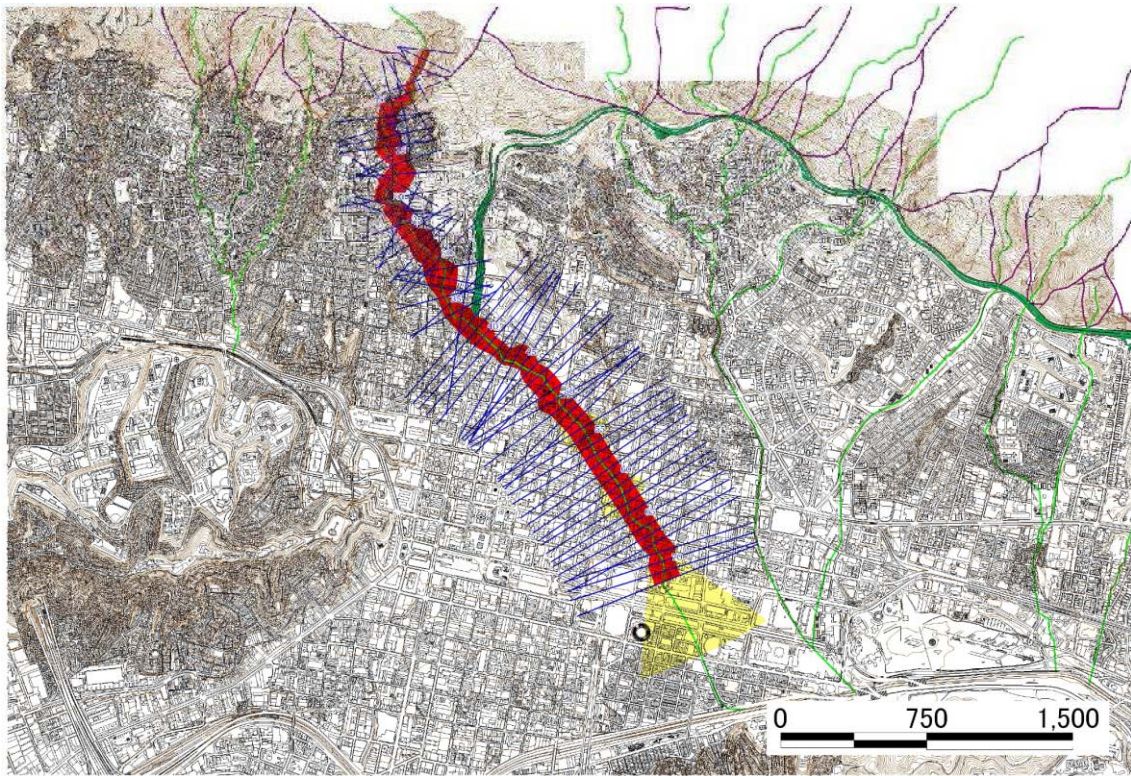
Nota: El número y el área de las casas/edificios se calcularon basándose en el mapa base (escala 1:5,000)



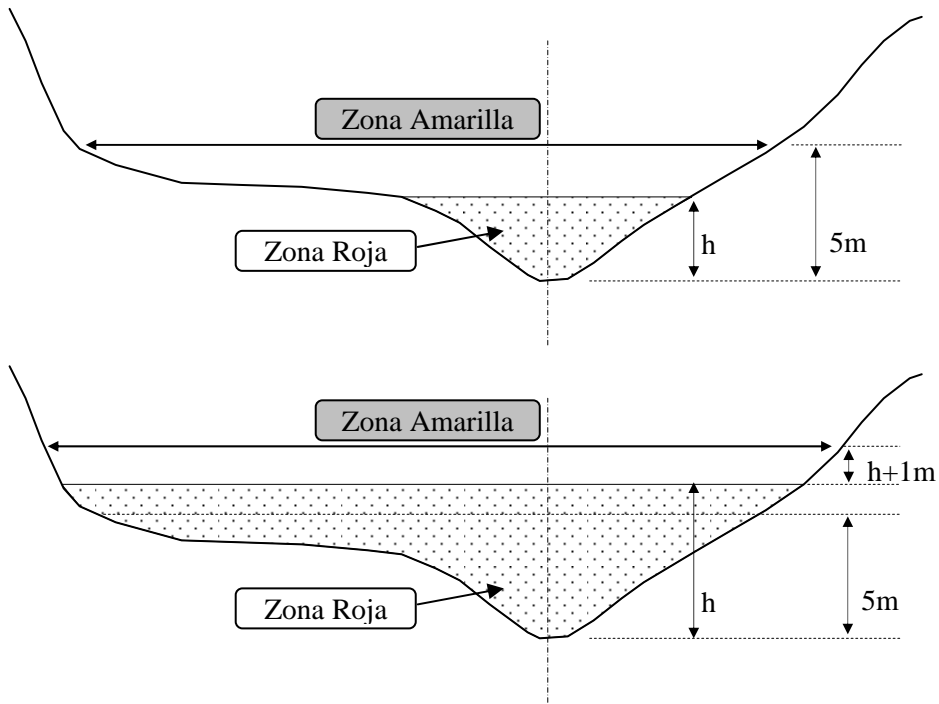
**Figura S12-2.3.1 Modelo Estructural para la Columna de Concreto**



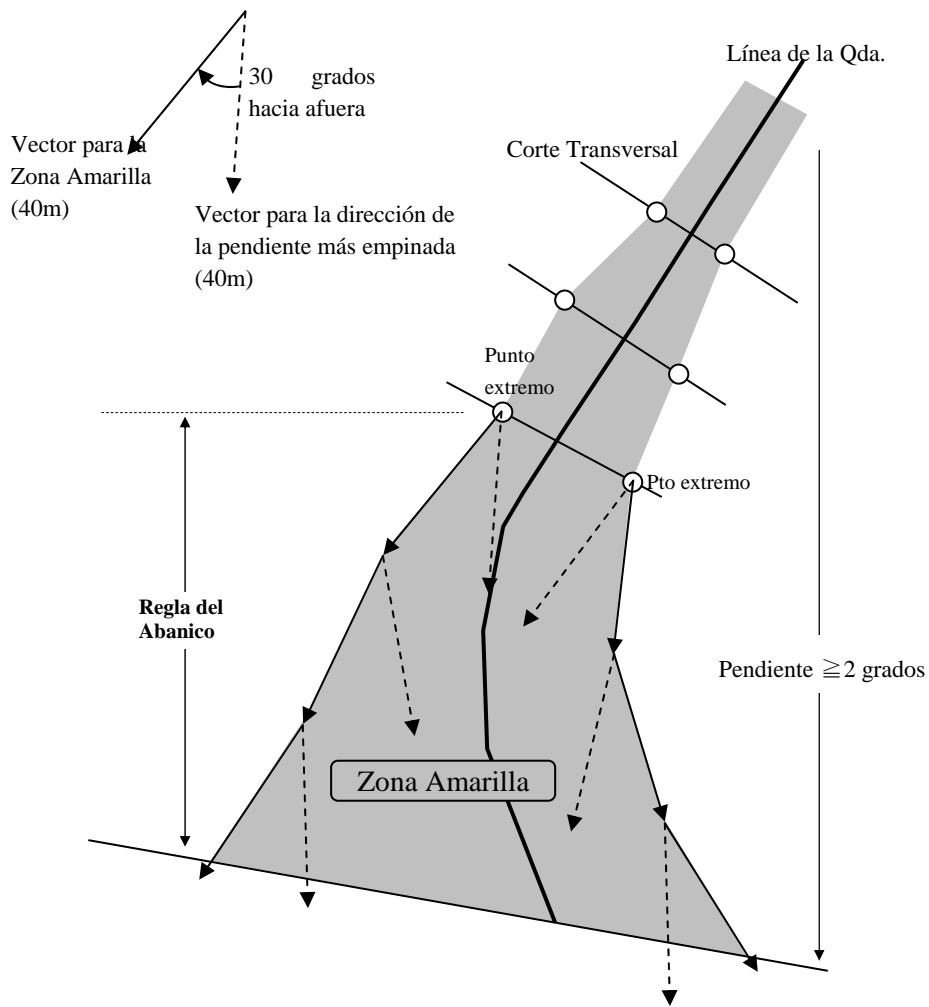
**Figura S12-2.3.2 Curvas de la Fuerza Resistente para la Delineación de la Zona Roja**



**Figura S12-2.3.3 Ejemplo de los Cortes Transversales para el Método 1**



**Figura S12-2.3.4 Definición de la Zona Amarilla**



**Figura S12-2.3.5 Regla del Abanico**



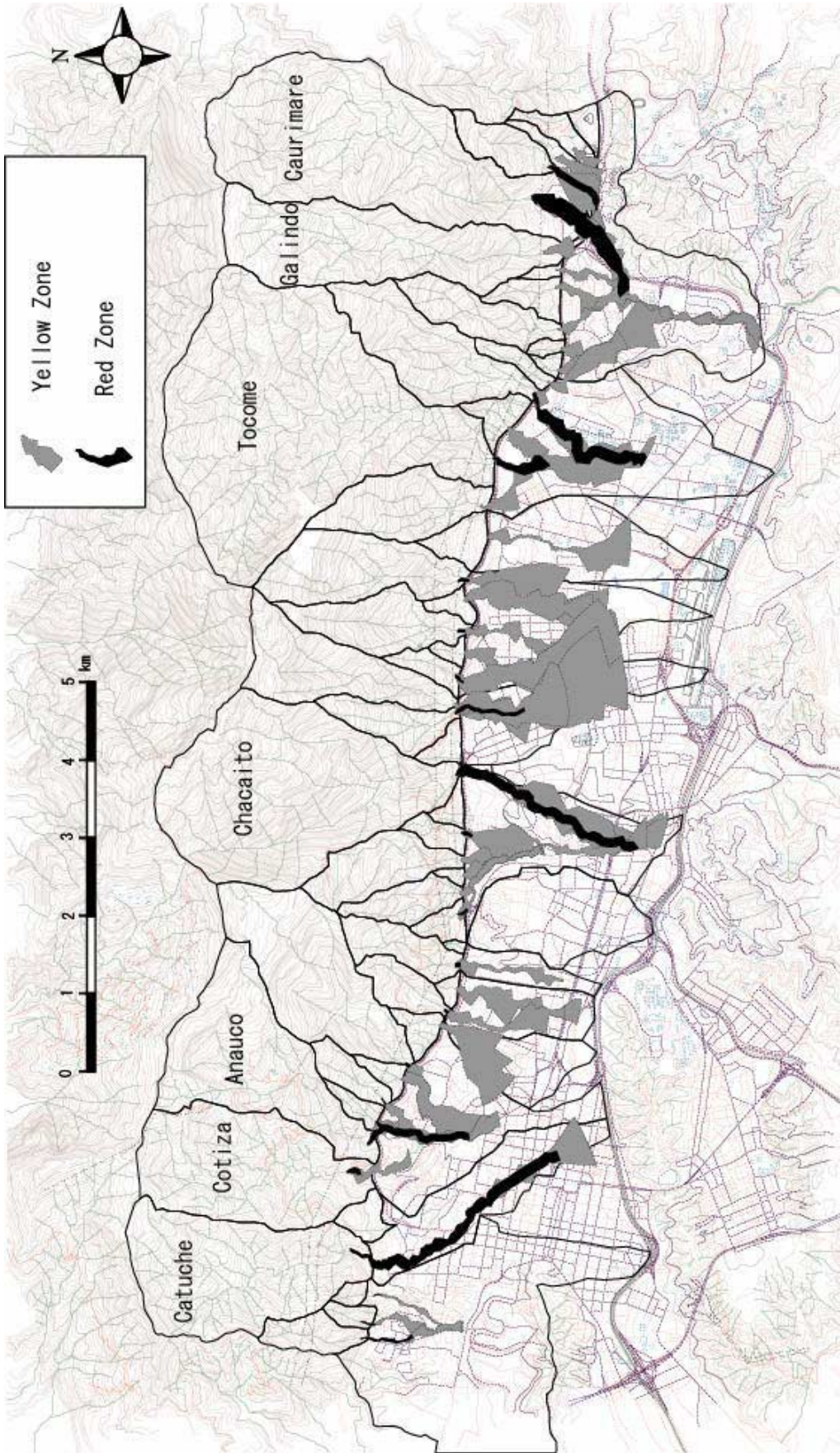
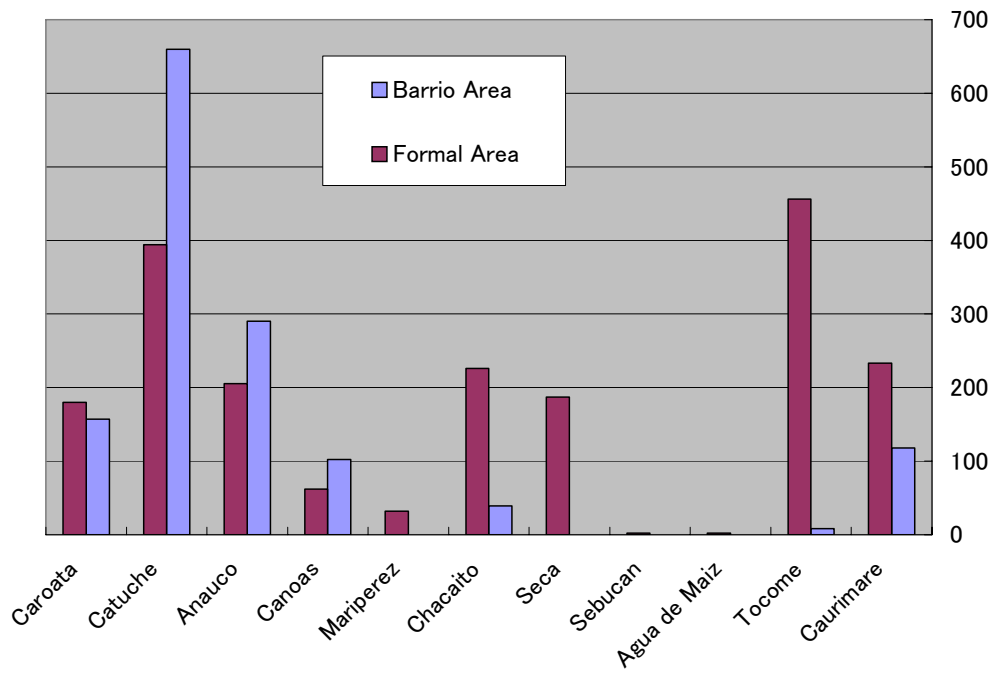


Figure S12-2-3.6 Mapa de Amenaza por Flujo de Escombros Utilizando el Método-1





**Figura S12-2.3.7 Cantidad de Casas en la Zona Roja**

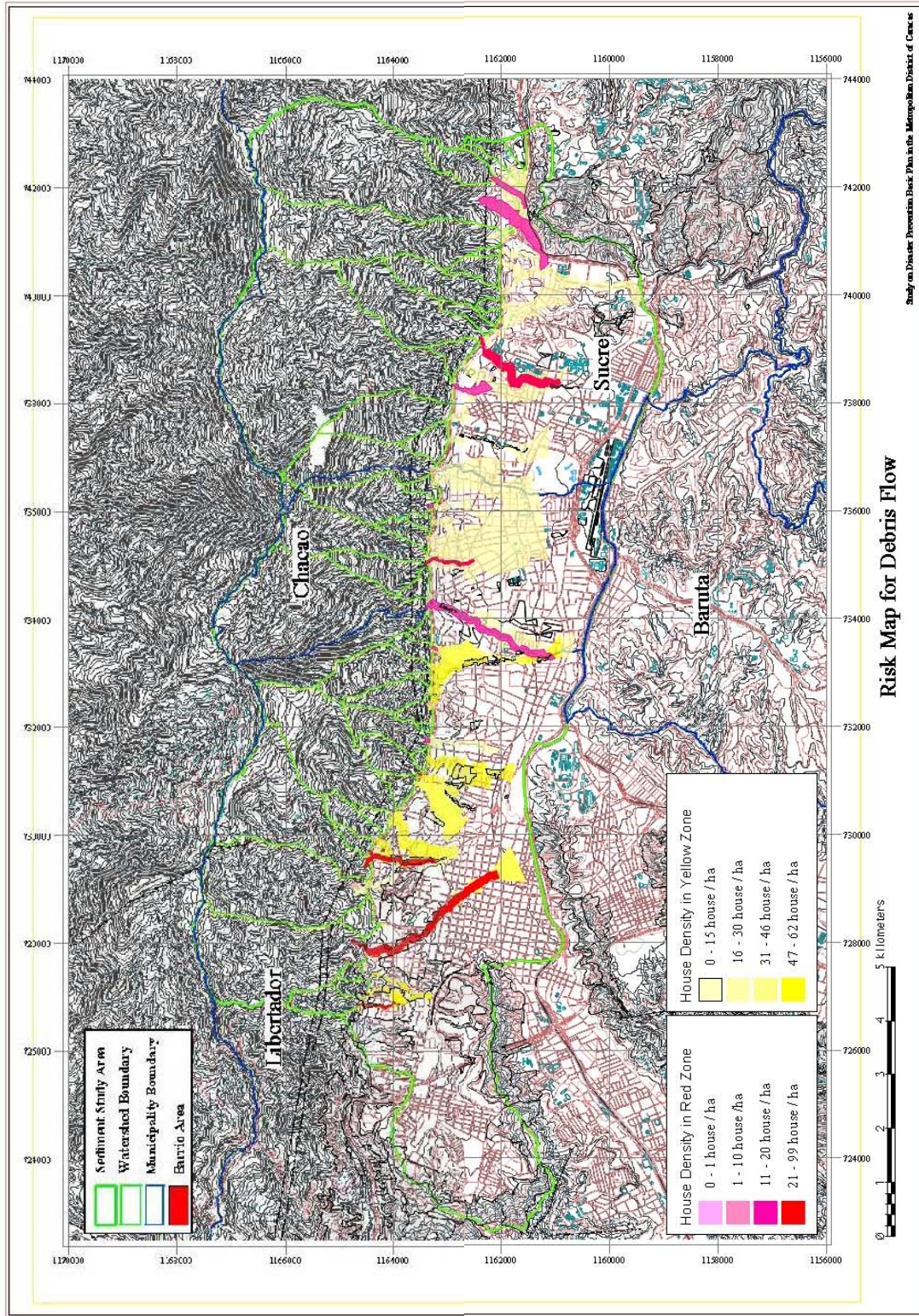


Figura S12-2.3.8 Mapa de Riesgo para el Flujo de Escombros