



UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS FISICAS Y MATEMATICAS
DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA

SUSCEPTIBILIDAD DE REMOCION EN MASA EN
LA QUEBRADA DE MACUL, REGION METROPOLITANA

MEMORIA PARA OPTAR AL TITULO DE GEOLOGO

BEATRIZ DOMINIQUE MARTINEZ PEDRAZA

PROFESOR GUIA:
SR. SERGIO SEPULVEDA VALENZUELA

MIEMBROS DE LA COMISION:
SRA. SOFIA REBOLLEDO LEMUS
SRA. MARISOL LARA CASTILLO

SANTIAGO DE CHILE
2009

RESUMEN

La susceptibilidad es la capacidad o potencialidad de una unidad geológica o geomorfológica de sufrir un proceso geológico determinado, en este caso expresa la posibilidad de que un fenómeno de remoción en masa ocurra en un área.

El presente trabajo consiste del análisis de susceptibilidad de remoción en masa en la Quebrada de Macul, Región Metropolitana de Santiago, aplicando la metodología de Lara (2007).

La hoya hidrográfica de la Quebrada de Macul se dividió en 137 unidades geomorfológicas, basándose principalmente en la orientación de la ladera, la pendiente y la litología. Para la zona de estudio se analizaron cuatro tipos de remociones en masa: flujos de detritos, deslizamientos de suelos, deslizamientos de rocas y caídas de rocas. A cada unidad geomorfológica se le calculó un Índice de Susceptibilidad (IS) para cada uno de estos tipos de remociones. Este índice, que varía entre 0 y 100, se basa en la suma de los puntajes ponderados para cada uno de los factores condicionantes de remociones en masa, los que varían según el tipo de remoción. Las unidades con $IS \geq 50$ se considerarán como susceptibles y se seleccionarán para análisis específicos posteriores.

En los mapas de susceptibilidad de flujos y de deslizamientos de suelos, las más altas susceptibilidades se encuentran en la parte más alta de la quebrada de Macul. En el mapa de susceptibilidad de deslizamientos de rocas, éstas se encuentran mayoritariamente al sur del cauce principal, en la zona central del área de estudio. En el mapa de susceptibilidad de caídas de rocas, se encuentran las más altas susceptibilidades y la más alta cantidad de unidades con $IS > 50$. Éstas se distribuyen en la zona de estudio de una forma relativamente homogénea, predominando al sur del cauce principal.

Aún cuando la mayoría de los registros de remociones en masa que se tienen del sector son flujos de detritos y barro, la información obtenida de los análisis y de las evidencias encontradas en la alta cordillera, sugieren que son las caídas de rocas las remociones más recurrentes. Por lo tanto, por la aplicación de la metodología de Lara (2007), se obtienen resultados que respaldan lo encontrado en terreno.

INDICE

1.	INTRODUCCION	1
1.1	Objetivos	3
1.2	Ubicación y vías de acceso	3
1.3	Metodología de trabajo	5
1.3.1.	Trabajo de gabinete	5
1.3.2.	Trabajo de terreno	6
1.3.3.	Trabajo de laboratorio	6
2.	ANTECEDENTES	7
2.1	Marco Geológico Regional	7
2.1.1.	Geomorfología Regional	7
2.1.2.	Unidades de Rocas Estratificadas	9
2.1.3.	Rocas Intrusivas	11
2.1.4.	Estructuras	13
2.1.5.	Geología del Cuaternario	14
2.2	Antecedentes de peligros geológicos en la quebrada Macul	15
3.	METODOLOGIA	19
3.1	Metodología de Lara (2007)	19
3.2	Aplicación de la Metodología de Lara en el Area de Estudio	26
4.	AREA DE ESTUDIO	31
4.1	Geomorfología	32
4.2	Geología.	37
4.3	Geotecnia	44
4.4	Hidrología	46
4.5	Vegetación	46
4.6	Clima	47
4.7	Actividad Antrópica.	47
5.	ANALISIS DE SUSCEPTIBILIDAD	49
5.1	Unidades geomorfológicas	49
5.2	Cálculo de Índices de Susceptibilidad	51
5.2.1.	Flujos de Detritos	51
5.2.2.	Deslizamiento de Suelo	53
5.2.3.	Deslizamiento de Rocas	55
5.2.4.	Caídas de Rocas	57
6.	DISCUSIONES	59

7. CONCLUSIONES 62

REFERENCIAS 64

ANEXOS

A Metodología en detalle de gabinete, terreno, laboratorio

B Resultados de gabinete

C Resultados de laboratorio

1.- INTRODUCCION

Los fenómenos de remoción en masa están definidos como “procesos de transporte de material definidos como procesos de movilización lenta o rápida de determinado volumen de suelo, roca o ambos, en diversas proporciones, generados por una serie de factores” (Hauser, 1993). Estos movimientos tienen carácter descendente ya que están fundamentalmente controlados por la gravedad (Cruden, 1991).

Las remociones en masa han sido clasificadas por Varnes (1978) en las siguientes categorías principales:

- Desprendimientos o caídas
- Deslizamientos (rotacionales y traslacionales)
- Flujos
- *Toppling* o volcamientos
- Extensiones laterales

Esta clasificación considera factores, como los tipos de materiales involucrados, la granulometría del material y el grado de saturación que alcanza. Estos factores, junto con las características geológicas, geotécnicas y geomorfológicas del entorno, condicionan la potencial generación de remociones en masa, así como las velocidades de desplazamiento y el volumen de material desplazado.

La susceptibilidad es la capacidad o potencialidad de una unidad geológica o geomorfológica de sufrir un proceso geológico determinado. Usualmente expresa la posibilidad de que un fenómeno ocurra en un determinado espacio geográfico y depende de las características de ese terreno en particular (Sepúlveda, 1998).

El presente trabajo consiste en realizar un análisis de susceptibilidad de remoción en masa en la Quebrada de Macul, Región Metropolitana de Santiago. Este análisis forma parte de un proyecto mayor, el que pretende generar una metodología general de evaluación y zonificación de peligros de remoción en masa para que sea usada por científicos y profesionales en el campo de los desastres naturales. Para la validación de esta metodología se eligió como zona de prueba el sector de la Quebrada de Macul. Dicha Quebrada se ubica en el frente cordillerano del sector Oriente de Santiago, frente que por sus características geológicas y geomorfológicas, presenta un escenario propicio para este tipo de procesos.

La caracterización geológico-geotécnica es una de las fases iniciales para evaluar potenciales peligros geológicos, en especial remociones en masa, las que son el tipo más frecuente de peligro en la zona precordillerana de Santiago.

La cercanía con la ciudad y la constante presión de crecimiento urbano sobre los faldeos cordilleranos hacen que estos fenómenos constituyan una amenaza importante. Este crecimiento en la actualidad afecta sectores que naturalmente son zonas de depositación de material transportado durante eventos de remociones en masa que ocurren en la montaña.

Aspectos relevantes para realizar este análisis, son principalmente, la geología, factores geotécnicos, hidrogeológicos y climáticos. La geología de la zona ha sido reconocida y descrita por Thiele (1980), Naranjo y Varela (1996) , Wall, R.et al. (1999) y Rauld (2002); en tanto la descripción de la geografía y particularmente la hidrología del área de estudio ha sido descrita por Garrido (1987) y Naranjo y Varela (1996).

El mayor evento histórico corresponde a los flujos de detritos y barro del aluvión del 3 de Mayo de 1993, en las quebradas de Macul y San Ramón, los que fueron desencadenados por lluvias anormalmente intensas. Los flujos afectaron fuertemente la población causando 29 muertos y 9 desaparecidos, además de cuantiosos daños materiales (Naranjo y Varela, 1996).

Ferrando (2002) reconoce en el área una serie de situaciones que indican una alta inestabilidad, como la existencia de voluminosos depósitos de remoción en masa, una gran cantidad de materiales coluviales, deslizamientos de laderas y de derrumbes de frentes rocosos, los que son apartados de sus cauces y de sus respectivas corrientes.

Las laderas de la quebrada sufren constantemente derrumbes y deslizamientos locales producto de la evolución natural de los relieves, de la actividad sísmica, y de procesos inducidos por la intervención antrópica.

Este trabajo entrega información cuantitativa de algunas propiedades geotécnicas de la zona y la delimitación de las áreas con mayor susceptibilidad a que algún evento de remoción en masa ocurra en la zona.

1.1 Objetivos

General: Analizar la susceptibilidad de remoción en masa en la hoya hidrográfica de la Quebrada de Macul.

Objetivos Específicos:

1. Generar un mapa geológico de la Quebrada de Macul , a escala 1:25.000
2. Identificar y caracterizar las propiedades geotécnicas de los suelos y macizos rocosos.
3. Evaluar la susceptibilidad a generación de remociones en masa de cada unidad geomorfológica, para distintos tipos de remoción en masa.
4. Validar la metodología elaborada por Lara (2007) para la evaluación de susceptibilidad de remociones en masa en el frente cordillerano de Santiago.

1.2 Ubicación y vías de acceso

La ciudad de Santiago está ubicada en una cuenca que constituye una zona deprimida de aproximadamente 30 km. de ancho, entre las cordilleras de Los Andes y la de la Costa, entre los 33° S y los 34° S (Fig.1.1). La Quebrada de Macul se ubica en los faldeos cordilleranos de la zona oriente de Santiago, siendo ésta el límite entre las comunas de Peñalolén y La Florida . La Quebrada de Macul está limitada al norte por el Cerro EL Abanico (2152 m s.n.m.); al sur por la Quebrada El Durazno, que tributa a esta quebrada y que más al sur está limitada por los cerros Bandera (2077 m s.n.m.) y Las Minillas (2488 m s.n.m.); al este con el cerro Punta de Damas(3149 m s.n.m.) y por el oeste la ciudad de Santiago.

Por encontrarse en el límite oriente de la ciudad de Santiago, no hay una sino varias vías de acceso, y éstas comprenden grandes avenidas. El acceso directo por el norte es a través de la Av. Diagonal Las Torres, llegando a un camino privado que pertenece a la sede de postgrados de la Universidad Adolfo Ibáñez. Por el sur un acceso que se aproxima al sector de las piscinas de contención, es por la calle Nueva María Angélica, continuación de la bifurcación que se genera en la Avenida Alto Macul al oriente de la Av. Las Perdices. Por la Av. Los Presidentes o por Av. Quilín también hay accesos, pero no en vehículo. (Fig 1.2)

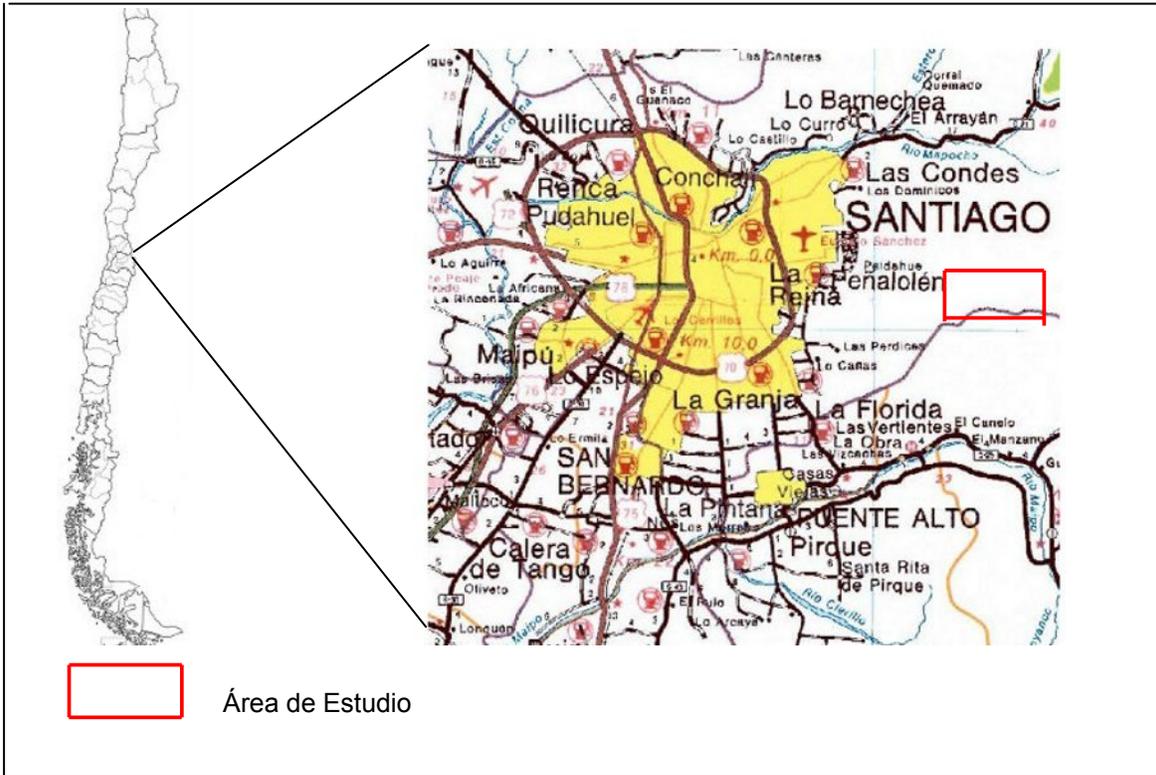


Figura 1.1 El área de estudio es el límite entre Peñalolén y La Florida.



Fig. 1.2.- Imagen en Google Earth de los accesos a la Quebrada de Macul.

1.3 Metodología de trabajo

Este trabajo aplica la metodología de Lara (2007), que consta de trabajo de gabinete, terreno y laboratorio. En gabinete se recopilan y analizan los antecedentes bibliográficos, fotos aéreas, etc. La información recopilada será posteriormente completada y corroborada en la etapa de trabajo en terreno. Se realizarán salidas a terreno para mapear el sector y construir un mapa geológico de la zona. Se tomarán muestras de suelo y roca, para caracterizar el macizo rocoso y el suelo en la quebrada, y así establecer una zonificación geológica-geotécnica del área en base a los datos obtenidos. En laboratorio se realizarán ensayos para la caracterización del suelo y su posterior clasificación.

A continuación se resumen los trabajos de terreno, gabinete y laboratorio realizados. En el capítulo 3 se presenta el detalle metodológico de cada etapa.

1.3.1 Trabajo de gabinete

El trabajo en gabinete se divide en 2 partes:

- a. En la primera etapa es necesario recopilar información y determinar las mejores herramientas para ello. Es necesario conocer los antecedentes históricos, la geología, geotecnia, geomorfología, hidrología e hidrogeología, vegetación, acción antrópica, antecedentes sísmicos y el clima de la zona de estudio, recurriendo principalmente a bibliografía, prensa, cartas geológicas y fotos aéreas.
- b. La segunda etapa, tiene como objetivos dividir la zona de estudio en unidades geomorfológicas y evaluar la susceptibilidad a remociones en masa. El resultado de esta fase es un mapa de susceptibilidad para cada uno de los tipos de remociones en masa estudiadas, con un índice de susceptibilidad (IS) comparable, que varía entre 0 y 100. Serán las unidades con un $IS > 50$, las que se considerarán para estudios posteriores de peligro geológico (Lara, 2007)

1.3.2 Trabajo de terreno

El trabajo en terreno se divide en 2 partes:

- ✓ La primera parte está enfocada a la realización de un mapa geológico básico, a escala 1:25.000 en el que debe ir la información recolectada en terreno y la recopilada en la revisión de antecedentes. La realización de este mapa incluye la caracterización geológica, geomorfológica y geotécnica de las unidades de suelo y roca presentes en la zona de estudio.

- ✓ La segunda parte del trabajo en terreno consiste básicamente de muestreo de material, tanto de roca como de suelo. En las zonas de muestreo debe existir material suficiente para ser recolectado, deben ser zonas de fácil acceso y deben corresponder a zonas que sean representativas.

1.3.3 Trabajo de laboratorio

En laboratorio se realizan los ensayos para determinar la densidad del suelo, y definir su granulometría y el tipo de suelo, según la clasificación USCS .

Para el cálculo de la densidad del suelo, se utilizan los datos de la muestra obtenida en terreno, el volumen del cono, la densidad de la arena normalizada, la humedad del material obtenido en terreno.

Finalmente se realizan los ensayos de corte directo con 6 diferentes tensiones y con estos datos se pueden conocer los parámetros de resistencia del suelo, el ángulo de fricción y la cohesión.

2.- ANTECEDENTES

2.1.- Marco Geológico Regional.

La zona de estudio se ubica en Chile Central, dentro del frente precordillerano del Sector Oriente de la ciudad de Santiago. Geomorfológicamente se divide en 3 unidades longitudinales, Cordillera de la Costa, Depresión Intermedia y Cordillera de la Costa (Fig.2.1). La geología básicamente está compuesta por depósitos volcánicos, intrusivos del Cretácico y del Mioceno y Depósitos Cuaternarios (Fig.2.2).

A continuación se presenta una descripción de la zona, con una caracterización geomorfológica y geológica.

2.1.1 Geomorfología Regional

En la zona central de Chile, es posible identificar tres unidades geomorfológicas principales, las cuales se presentan paralelas entre sí y con una orientación aproximada N-S. De oeste a este y de acuerdo a los trabajos de García (2000), Fernández (2001), Rauld (2002), estas unidades corresponden a las siguientes (Fig.2.1):

- Cordillera de la Costa: esta unidad alcanza alturas del orden de los 2000 m s.n.m., mucho menores que las de la Cordillera de los Andes debido a que las rocas de la Cordillera de la Costa son mucho más antiguas, por lo que también su topografía es mucho más suave.
- Depresión Intermedia: Esta unidad, en la zona central, se encuentra limitada al norte por el cordón de Chacabuco y al sur por los cerros de Paine. Esta depresión, se encuentra entre las cotas 450 y 650 m s.n.m. y se encuentra rellena por una potente capa de sedimentos, llegando en algunos lugares hasta los 500 m de espesor. Estos sedimentos no consolidados fluvio-aluviales y fluvio-glaciales, los que provienen del río Maipo y del río Mapocho, depósitos de cenizas volcánicas provenientes de los volcanes de la Cordillera Principal y conos de deyección cuya fuente se encuentra en el relieve montañoso.
- Cordillera Principal: en esta zona alcanza alturas por sobre los 6000 m s.n.m.. Se caracteriza además por un relieve joven y con cotas que decrecen hacia el oeste. Esta unidad aporta la mayor cantidad de material que rellena la depresión intermedia, el cual es transportado principalmente por los ríos Maipo y Mapocho. La Cordillera Principal está compuesta por rocas

sedimentarias y volcánicas del Mesozoico y Cenozoico, las que son intruídas por cuerpos de diversa composición.

Dentro de este marco regional, la zona de estudio se encuentra en el extremo occidental de la Cordillera Principal, definida en el límite con la Depresión Intermedia.

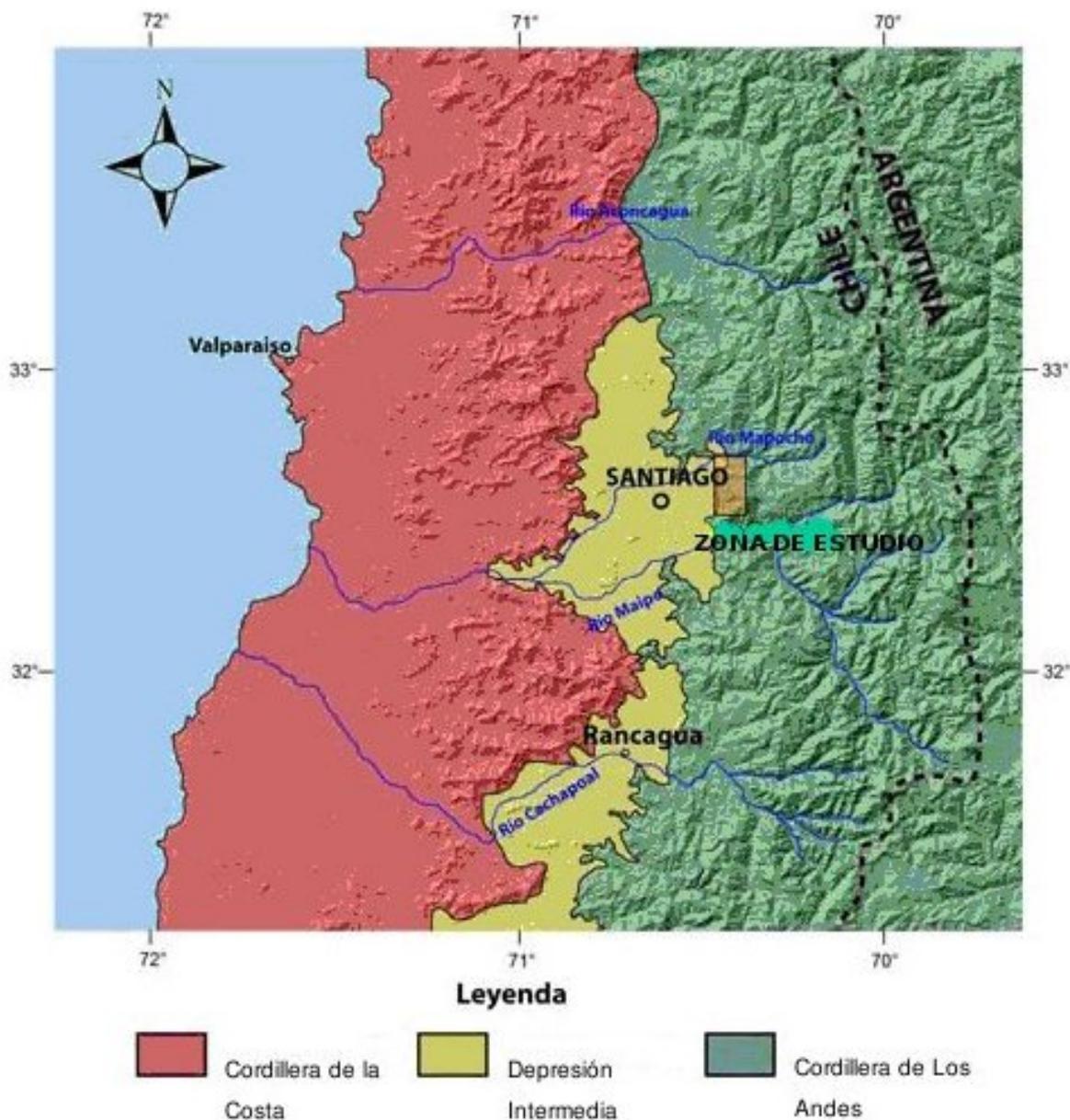


Fig. 2.1 Unidades Geomorfológicas Regionales de la Zona Central de Chile (Padilla, 2006).

2.1.2 Unidades de Rocas Estratificadas (Fig. 2.2)

Formación Farellones (Klohn, 1960)

Sucesión compuesta de lavas, tobas e ignimbritas con intercalaciones de brechas. Las lavas manifiestan un claro predominio sobre las tobas y brechas, mientras que la alternancia de rocas volcanoclásticas más finas, en tramos de 4 a 5 metros, producen una marcada estratificación en la serie (Thiele, 1980). A la Formación Farellones se le asigna una edad Miocena, de acuerdo a las dataciones radiométricas Ar/Ar (Fuentes, 2004) El espesor reportado para la Formación Farellones es de 2.500 m, aumentado por los numerosos mantos intrusivos y lacolitos del Mioceno Superior – Plioceno que la intruyen (Thiele, 1980; Rivano *et al*, 1990).

Formación Abanico (Aguirre, 1960)

La Formación Abanico de edad Eoceno-Mioceno Inferior (Charrier *et al.*, 1996; Gana y Wall, 1997), la conforman una secuencia de rocas volcánicas y volcano-clásticas continentales (Aguirre, 1960), que aflora al este de la Depresión Intermedia, en dos franjas de rumbo N-S. Esta secuencia está compuesta por tobas y brechas volcánicas con intercalaciones de lavas, depósitos volcano-clásticos y depósitos sedimentarios (lutitas y areniscas). La secuencia se encuentra fallada y plegada y presenta pliegues con vergencia hacia el oeste en su parte occidental y pliegues con vergencia hacia el este en su parte oriental. El contacto inferior de la franja occidental de la Formación Abanico ha sido descrito como discordante (Vergara y Drake, 1979); aparentemente concordante (Gana y Wall, 1997), mientras que el de la franja oriental como una discordancia angular (Klohn, 1960), concordante (Thiele, 1980) y tectónico (Godoy y Palma, 1990). Sobre la Formación Abanico, en discordancia angular (Thiele, 1980; Rivano *et al.*, 1990) y separando ambas franjas de ella, se encuentra la Formación Farellones. Esta secuencia se encuentra mejor estratificada y menos plegada que la Formación Abanico y mantiene una disposición subhorizontal (Thiele, 1980).

Formación Lo Valle (Thomas, 1958)

Constituida por ignimbrita riolítica y dacítica, flujos piroclásticos, andesitas y sedimentos lacustres de origen continental. Las rocas de esta Formación presentan una asociación mineralógica de alteración mediana, principalmente con cuarzo y zeolita, pero conservando en la mayoría de los casos, la plagioclasa, su composición y estructura original.

Formación Las Chilcas (Thomas, 1958)

Secuencia volcánica y sedimentaria. Se dispone en aparente concordancia sobre la Formación Veta Negra y subyace en discordancia de erosión a la Formación Lo Valle. Esta intruída por granitoides de 90-100 Ma. Los niveles basales se componen de rocas piroclásticas dacíticas a riolíticas con intercalaciones de lavas andesíticas y basálticas. Subiendo estratigráficamente gradan a conglomerados y areniscas con restos vegetales (depósitos sintectónicos), interpretados como facies de abanicos aluviales, en las cuales se intercala un distintivo nivel de calizas marinas fosilíferas. Hacia el techo se encuentran lavas basálticas y andesítico-basálticas.

Formación Lo Prado (Thomas, 1958; Piracés, 1976)

Unidad sedimentaria esencialmente marina, con intercalaciones volcánicas, constituída por calizas, lutitas y areniscas calcáreas fosilíferas, areniscas, brechas y conglomerados, lavas, lavas brechosas y tobas de composición andesítica a riolítica. Se dispone en aparente concordancia sobre rocas jurásicas de la Formación Horqueta; subyace concordantemente a la Formación Veta Negra. De norte a sur, la potencia varía entre los 3.600 y 4.700 m, a medida que aumentan los depósitos volcánicos. La Formación Lo Prado hospeda zonas de alteración hidrotermal, vetas de oro (Mina Santa Cecilia), oro-cobre, cobre, cobre-oro-plata, cobre-plata (minas San Antonio de Carén, Platosa) y plomo-zinc (Mina Fortuna); yacimientos estratoligados de cobre y de cobre-oro-plata (minas Los Tres Amigos, Los Amarillos); 'skarns' de cobre (Mina Dos Marías); mantos de caliza, mármol y caliza-wollastonita (Mina El Cristo).

Formación Veta Negra (Thomas, 1958)

Unidad volcánica andesítica con intercalaciones sedimentarias continentales, dispuesta concordantemente sobre la Formación Lo Prado. La Formación Veta Negra subyace hacia el este, a la Formación Las Chilcas (Thomas, 1958), cuyos niveles medios calcáreos son atribuidos al Albiano (Martínez-Pardo *et al.*, 1994; área de Polpaico). La Formación Veta Negra hospeda vetas de oro-cobre (minas Providencia, María, Calabozo) y cobre-oro-plata (Mina Ramayana).

La Formación se subdivide en los miembros Purehue (inferior) y Ocoa (superior).

2.1.3 Rocas Intrusivas

Intrusivos del Cretácico Inferior

Afloran en la parte más occidental del área de estudio, en el borde oriental de la Cordillera de la Costa . Corresponden a plutones y *stocks* cuya litología principal son dioritas, granodioritas y tonalitas, que intruyen a las Formaciones Lo Prado y Veta Negra. (Wall *et al.*, 1999; Sellés y Gana, 2001).

Intrusivos del Cretácico Superior

Corresponden a plutones y *stocks* monzodioríticos, granodioríticos, dioríticos y tonalíticos, e intrusivos hipoabisales, Diversas dataciones radiométricas K/Ar permiten asignarles una edad Albiano Superior – Turoniano Inferior. Intruyen a las Formaciones Las Chilcas y Veta Negra (Wall *et al.*, 1999; Sellés y Gana, 2001).

Intrusivos Hipoabisales del Eoceno Superior – Mioceno Inferior

Esta unidad agrupa a *stocks*, filones mantos, cuellos volcánicos y diques, cuya composición varía desde gabros a andesitas de piroxeno, formando cuerpos de tamaño inferior a 8 Km². Intruyen a las Formaciones Las Chilcas, Lo Valle y Abanico. Dataciones radiométricas permiten asignarle una edad Eoceno Superior – Mioceno Inferior. (Wall *et al.*, 1999).

Intrusivos del Mioceno Inferior

Corresponde a plutones cuyo rango de edad varía entre los 20 y 18 Ma. (Sellés y Gana, 2001). Intruyen a la Formación Abanico y su litología principal corresponde a granodioritas. Destaca el Plutón La Obra (río Maipo frente a la Depresión Central) (Thiele, 1980; Kurtz *et al.*, 1997).

Mapa Geológico Regional

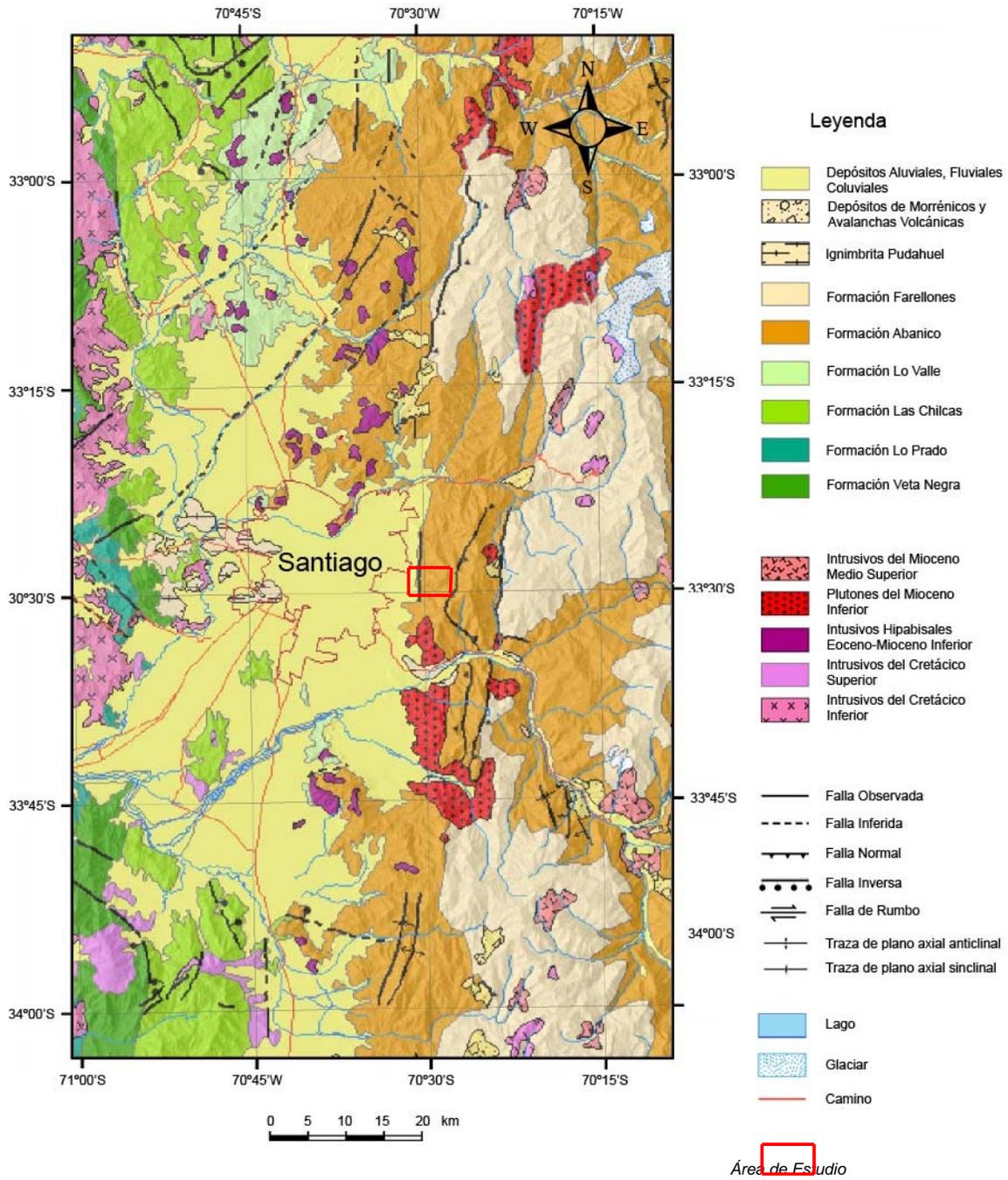


Fig.2.2. Mapa Geológico Regional (Fock, 2005)

2.1.4 Estructuras

Estructuras Mayores

En Chile Central, se presentan varias estructuras de falla, entre las que se destaca la falla San Ramón (Rauld, 2002). Su rumbo es aproximadamente NS, variando en algunos tramos a NNW-SSE, y afecta a la Formación Abanico. La continuación de esta falla hacia el norte, describe la Falla Pocuro (Fig. 2.2; Carter y Aguirre, 1965; Rivano et al., 1993; Rivano y Sepúlveda, 1990; Campbell, 2005).

Falla San Ramón

Esta falla se ubica en la zona centro sur del área de estudio (Fig. 2.2). Las características geomorfológicas de la zona de falla indicarían que la falla tendría un movimiento inverso (Rauld, 2002). Monta la Cordillera Principal sobre la Depresión Central (Rauld, 2002) deformando depósitos aluviales, coluviales y fluviales del Plioceno–Holoceno (Fock, 2005). Corresponde a una falla inversa de vergencia Oeste (Rauld, 2002, Charrier et al., 2005).

Falla Pocuro

Corresponde a la continuación al Norte de la Falla San Ramón (Fig. 2.2; Carter y Aguirre, 1965; Rivano et al., 1993; Rivano y Sepúlveda, 1990; Campbell, 2005). En el bloque oeste, la formación presenta estratos de rumbos N-S y manteos suaves de ca. 25-30° E, mientras que en bloque del este, los manteos son fuertes, verticales a subverticales (Naranjo y Varela, 1996).

Estas dos últimas fallas corresponden a un sistema de fallas denominado en este trabajo Sistema de Falla San Ramón-Pocuro.

Estructuras Menores

Más hacia el poniente, en la Cordillera de la Costa, se encuentra el sistema de Fallas Infiernillo, Cerro Blanco y Portezuelo de Chada, 3 fallas que se continúan de norte a sur.

Falla Infiernillo

Esta falla se observa en el Norte de la zona de estudio, en la zona de la Cuesta de Chacabuco (Fig. 2.2; Fock, 2005). Esta falla tiene un rumbo y manteo de 10°N/80°E (Fock, 2005). Los indicadores cinemáticos indican movimientos paralelos al manteo y el bloque oriental cabalga al occidental, por lo que se propone un fallamiento inverso (Fock, 2005).

Falla Cerro Renca

Esta falla sería el equivalente al Sur de la Falla Infiernillo (Fig. 2.2; Selles, 1999). Corresponde a una falla normal invertida con vergencia al Oeste (Selles, 1999).

Falla Portezuelo de Chada

Ubicada en la zona de la Angostura de Paine (Fig. 2.2), es una falla inversa con vergencia al Oeste (Fock, 2005).

2.1.5 Geología del Cuaternario

La geología de la quebrada se compone de unidades de roca y depósitos volcánicos asociados al arco volcánico actual y unidades de suelo.

Unidad Volcánica Antigua (Thiele y Katsui, 1969)

Se incluyen en la Unidad Volcánica Antigua (UVA) a los esqueletos de volcanes extinguidos, formados principalmente de coladas andesíticas y traquiandesíticas (Thiele y Katsui, 1969), que afloran principalmente en el área fronteriza, destacando entre ellos el Volcán Tupungato, Cerro Marmolejo y el cordón del Cerro Castillo (Thiele, 1980). El zócalo de la Unidad Volcánica Antigua lo constituyen las formaciones paleozoicas, mesozoicas y cenozoicas expuestas en la vertiente oriental de la Cordillera Principal, y no aparece afectada por fallas de importancia regional, sólo por fallas menores. Aparece sellando todas las estructuras de pliegues y fallas de fines del Mioceno que caracterizan la región. Se le asigna una edad pleistocena (Thiele, 1980).

Unidad Volcánica Nueva (Thiele y Katsui, 1969)

En esta unidad se agrupan los volcanes que presentan manifestaciones históricas de actividad, como el volcán Tupungatito y el volcán San José. Están formados por coladas andesíticas frescas, con intercalaciones de mantos de brechas y depósitos piroclásticos menores (bombas, lapilli y cenizas), predominantemente oscuras. En términos generales se le asigna una edad holocena (Thiele, 1980).

Depósitos Glaciales

Esencialmente morrenas marginales y acumulaciones de detritos provenientes de glaciales de roca que se pueden encontrar en la mayoría de las cabeceras de los esteros por sobre la cota de 2.500 m s.n.m. en circos glaciares y nichos en las altas cumbres (Thiele, 1980).

Depósitos aluviales

Corresponden a bloques, gravas, arenas, limos y arcillas. Son el principal material de relleno de la Depresión Central y de todos los valles interiores del área de estudio. Sobresalen entre estos últimos aquellos que forman los importantes niveles de terrazas en el valle del río Maipo. En términos generales, se puede sostener que sobre una cota promedio de 1.500 m s.n.m., los depósitos fluviales gradan a glaciofluviales (Thiele, 1980).

Depósitos gravitacionales

Estos depósitos se reconocen a través de toda el área de estudio. Los más importantes son aquellos resultantes de la reptación del suelo y talud que producen acumulaciones detríticas importantes en la base de las pendientes suaves, los primeros, y en las pendientes fuertes, los segundos (Thiele, 1980; Godoy et al., 1994).

2.2 Antecedentes de peligros geológicos en la quebrada Macul

Para la zona oriente de Santiago se cuenta con un catastro de remociones en masa que considera principalmente flujos de detritos y barro, los cuales han tenido como factor gatillante lluvias intensas en períodos cortos. Estos son descritos en los trabajos realizados por Urrutia y Lanza (1993), Hauser (1993), AC Ingenieros Consultores(1996), Naranjo y Varela (1996), García (2000), Padilla (2006) y Sepúlveda *et al.* (2006), los cuales son:

1. En 1908 un aluvión de barro y piedras transforma el cauce de la Quebrada de Macul y cruza sobre el canal San Carlos(Padilla, 2006).
2. En 1936 un aluvión en la quebrada de Macul produjo serios daños en el área del cruce con el canal San Carlos, bloqueando la pasada y arrasando terrenos agrícolas (Padilla, 2006).
3. En Abril de 1957, un aluvión de barro profundiza el cauce de la quebrada de Macul unos 2 m, ocupando unos 20 m de ancho. Se registraron daños agrícolas y el embanque del canal San Carlos (Padilla, 2006).
4. El 27 de Junio de 1982, El temporal que azotó a Chile Central durante esa fecha, causo grandes daños, sobre todo en las zonas cordilleranas de las regiones V y VI, y la Región Metropolitana. En Santiago, diarios del día 28 de junio destacan el desborde del río Mapocho en los sectores de Lo Curro, Bellavista y Quinta Normal, y de la ocurrencia de

importantes crecidas de las quebradas del Sector Oriente, en especial de la Quebrada de Macul, en la madrugada del día 27, la que genera, aguas abajo, el desborde del Zanjón de la Aguada, que dejó las calles cubiertas de barro. La crecida de la Quebrada de Macul se caracterizó por su gran caudal y el transporte de gran cantidad de sedimento, el cual se depositó entre las cotas 750 m s.n.m. y 1150 m s.n.m.. (Ayala, 1996). Se observaron además, derrumbes en Sewell y 6 rodados de nieve y tierra en Las Vizcachas y el Romeral, en el Cajón del Maipo. También el camino internacional Los Andes-Cristo Redentor estuvo cortado desde Los Andes a la Cordillera, por derrumbes y nevazones. Según Galle (1993), el sistema frontal que se dejó caer a partir del 23 hasta el 27 de junio estuvo compuesto por 4 frentes, de los cuales, el último frente, que comenzó en las últimas horas del día 25 y finalizó a medio día del 27, fue el causante de las inundaciones en la capital. Este último frente correspondía a un frente ocluido cálido durante el cual se precipitó un 44.6% del total de precipitaciones registradas en el período de 5 días que duró la tormenta y en promedio, la isoterma 0° C se ubicó a los 2400 m s.n.m. (Padilla, 2006).

5. Desde el 15 al 17 de Junio de 1986, se desarrolló una tormenta la cual afectó desde la V a la VII Región y que generó el desborde de los ríos Mapocho, Maipo y Tinguiririca. Además, 18 comunas de la Región Metropolitana fueron declaradas “Zonas de Catástrofe”. Para el Área Metropolitana, el registro periodístico del día 17 de junio destaca, como la situación de mayor peligro, el desborde del canal San Carlos y Zanjón de la Aguada, además del río Mapocho. También se destaca el aumento considerable del caudal de las quebradas del sector oriente de Santiago, destacándose la Quebrada de Macul, la cual depositó entre los 800 m s.n.m.. y 1150 m s.n.m..gran cantidad de sedimentos. Las principales crecidas ocurren en la madrugada del día 16 de junio cuando la lluvia alcanzó la mayor intensidad. El cauce de la Quebrada de San Ramón, también se desbordó dejando las calles de la comuna de La Reina con gran cantidad de depósitos de barro. Se destaca además las altas temperaturas ocurridas durante el temporal, determinándose la cota de la isoterma 0° C en torno a los 2900 m s.n.m. (Padilla, 2006).
6. El 14 de julio de 1987, de acuerdo a información periodística recopilada, como consecuencia del derretimiento de la nieve acumulada causado por las lluvias caídas sobre los 2500 m s.n.m., se produjo una inundación. La comuna de Peñalolén quedó

convertida en un lodazal. El día 15 de Julio se destaca el desborde del Zanjón de la Aguada y el día 17 del mismo mes se destaca la gran cantidad de material fino y grueso, compuesto por arena y fragmentos de rocas, que son arrastrados por el mismo canal (Padilla, 2006).

7. El 25 de diciembre de 1991 en una entrevista publicada en el diario "El Mercurio" se señaló la ocurrencia de un aluvión en la quebrada de Lo Cañas, al sur de la Quebrada de Macul, producto de una lluvia de 25.6 mm en 24 horas, el día 25 de diciembre (Padilla, 2006).
8. El 3 de Mayo de 1993 ocurrieron los eventos de mayor importancia de remociones en masa ocurridas en la zona del Sector Oriente de Santiago, debido al grado de desastre causado y por los volúmenes de material removido. El principal evento ocurrió en la Quebrada de Macul el que se inició con un primer flujo a las 11:40 horas. Este flujo sobrepasó el cauce del Zanjón de la Aguada y consistió en una ola de poco más de 1 metro de alto y aproximadamente 300 metros de ancho, que se desplazaba a una velocidad cercana a los 15 km/hr. Incluía bloques de roca de hasta 1 metro de diámetro, troncos de árboles y barro muy viscoso. Diez minutos más tarde un segundo flujo descendió por la quebrada (11:50 horas aproximadamente). En el eje del flujo, la ola sobrepasó los 3 metros de altura y avanzaba a aproximadamente 30 km/hr. La velocidad y espesor del flujo disminuía hacia los lados y a medida que el frente ya había pasado. Ya a las 12:15, el flujo disminuyó adquiriendo un aspecto similar al de las grandes crecidas de años anteriores (Naranjo y Varela, 1996). También fueron identificados flujos en las quebradas de San Ramón y Lo Cañas. En la Quebrada San Ramón, el flujo alcanzó una altura aproximada de 6 metros, entre las cotas 1200 m s.n.m. y 800 m s.n.m.. Las causas de este deslizamiento fueron atribuidas a precipitaciones de gran intensidad caídas a partir de las 11 de la mañana, con una acumulación aproximada de 10mm de agua en 1 hora, y también a la altura de la isoterma 0° C, la cual sobrepasó los 3000 m s.n.m. (Padilla, 2006).
9. 12 de noviembre de 2004 y 28 de agosto del 2005: En ambas fechas, en la zona de la quebrada de Lo Cañas, vecinos del sector de Santa Sofía de Lo Cañas, se ven afectados por la ocurrencia de flujos de detritos de similares características. Estos flujos cubrieron parte de sus terrenos y construcciones realizadas en la zona del cauce de la

quebrada, la que presenta un escurrimiento de tipo esporádico. En particular, para el evento del año 2005, el depósito observado tiene aproximadamente 1 metro de potencia, con una extensión en planta de 20 a 25 metros en torno al cauce de la quebrada. Este depósito está compuesto principalmente por grava arenosa, con bloques de hasta 50 cm y con poca cantidad de finos. El tamaño promedio de los detritos es de 20 cm. Los mayores daños se observan en los sectores donde el cauce ha sido intervenido, con la construcción de caminos e instalación de tuberías de drenaje, impidiendo el escurrimiento libre del flujo, quebrado abajo. En los sectores más altos de la quebrada, el flujo se concentró en el cauce por lo que sólo se observan algunos pequeños socavamientos en la ribera. Estas características son muy similares a las observadas en el evento del año 2004, según descripción de lugareños del sector (Padilla, 2006).

3. METODOLOGIA

Introducción

El análisis de susceptibilidad, de la quebrada de Macul, aplica la metodología propuesta por Lara (2007) para análisis de susceptibilidad y peligro de remoción en masa, con la cual se identifican zonas críticas para la generación de remociones en masa. Para determinar la susceptibilidad en este trabajo se desarrollan las primeras tres etapas de la metodología de Lara (Fig. 3.1). Adicionalmente se realiza en forma parcial la clasificación de suelo y roca, desarrollando las etapas T2 y L1 parcialmente. Con estos resultados, en un estudio posterior, se podrá evaluar el peligro de remoción en masa en el área de estudio.

3.1 El método de Lara (2007)

Para una más fácil visualización de las etapas, se presenta un esquema general de la metodología de evaluación de peligros de remoción en masa por Lara (2007).

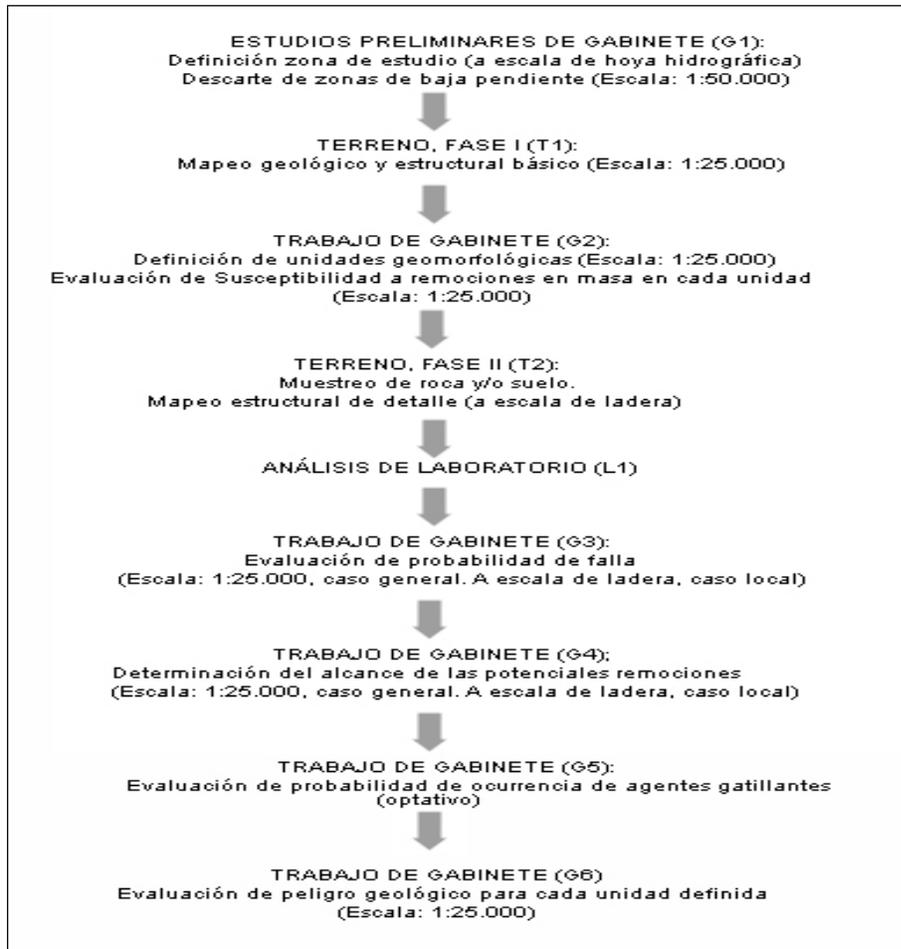


Fig.3.1 Esquema de la metodología de Lara (2007).

Estudios preliminares de gabinete (G1)

Esta fase consta de la recopilación de información y antecedentes para la zona de estudio para la evaluación de peligro geológico, mediante revisión bibliográfica, prensa, fotografías aéreas, mapas, cartas geológicas, entre otros.

Debe tenerse presente que esta fase corresponde a una etapa de trabajo en gabinete, donde la información recopilada será posteriormente completada y corroborada en la etapa de trabajo en terreno. Los principales puntos a considerar son la definición de la escala del trabajo, que podrá posteriormente ser modificada de acuerdo al nivel de detalle del trabajo que se vaya realizando, la identificación y descripción de los factores condicionantes y la identificación de los factores gatillantes de remociones en masa pasadas ocurridas en la zona de estudio, basado principalmente en la recopilación de antecedentes del área. Junto con esto, a partir del trabajo cartográfico deben descartarse las zonas de baja pendiente, irrelevantes para la generación de las remociones en masa que se evaluarán, laderas con pendientes menores a 10° serán descartadas del estudio.

La revisión de fotos aéreas y cartas geológicas, la revisión bibliográfica y prensa constituyen las principales herramientas durante esta etapa. A partir de éstas será posible realizar un catastro de eventos ocurridos en la zona y recolectar la información necesaria para el análisis de estabilidad de laderas, como es geología, geomorfología, características geotécnicas, hidrología e hidrogeología, sismicidad, clima, vegetación y actividad antrópica.

Estudios en terreno (T1)

Esta etapa está enfocada en la realización de un mapa a la escala de trabajo definida, que reúna la información recolectada en terreno (mapeo geológico básico, que consta de la delimitación espacial de las unidades de suelo y roca, que es posible identificar en la zona) y la recopilada en la etapa de revisión de antecedentes. La confección del mapa va acompañado de la caracterización geológica, geomorfológica y geotécnica de las unidades de roca y de suelo presentes en la zona de estudio.

En cuanto a la geomorfología, uno de los rasgos más relevantes a considerar corresponde a las pendientes de laderas en el área de estudio, sus alturas, exposición al sol y geometrías asociadas, las cuales se pueden obtener a partir de la generación en SIG de un modelo de elevación digital (DEM). La geomorfología incluye también la identificación, delimitación y descripción de unidades geomorfológicas como terrazas, abanicos aluviales, unidades glaciares, depósitos de remociones antiguas, escarpes de falla, y escarpes de remoción en masa antiguos y recientes, además de la caracterización del drenaje del área involucrada en el

estudio y el encajonamiento de los cauces y quebradas.

La geotecnia debe ser descrita de manera básica, en cada depósito y afloramiento que sea posible. Esta caracterización será reforzada más adelante por estudios en laboratorio y generación de líneas de detalle en zonas que sean catalogadas en pasos posteriores como críticas para la generación de remociones en masa. Debe hacerse la caracterización geotécnica de la roca y del suelo.

Para la hidrología-hidrogeología, los estudios en terreno se centraran principalmente en la identificación de los cauces y quebradas que se presentan en los diversos mapas existentes. Asociado a esto, se incluye la determinación de cambios bruscos de pendientes de ejes hidráulicos que influirían en la energía de eventuales flujos.

La fase de terreno constará de un último punto referente a la identificación de la vegetación existente en la zona de estudio. La descripción de sus características debe enfocarse en el tipo de vegetación presente (diferenciando entre vegas, arbustos, árboles y praderas), cómo se encuentra distribuida, su densidad en términos relativos, alturas promedios y a qué tipo de depósito se encuentra asociada. Esto permitirá principalmente comparar estabilidad de laderas en base a este factor e identificar zonas que no han sufrido removilizaciones relativamente recientes de material al encontrarse provistas de densidades importantes de vegetación.

Trabajo de gabinete (G2)

Esta etapa, que se desarrolla luego de haber realizado la primera parte del trabajo de terreno, tiene dos puntos principales:

1. División de la zona de estudio en unidades geomorfológicas. Esta etapa consiste en dividir la zona de estudio en diferentes unidades según rasgos geomorfológicos y geológicos similares como son la orientación de la ladera (aspecto), la pendiente, litología y tipos de depósitos. Bajo este punto, quiebres de pendiente muy fuerte y cambios bruscos en el aspecto son factores para definir una nueva unidad; de esta manera cada una de ellas quedará definida por un aspecto y pendiente promedio. Si bien la cantidad de unidades a definir dependen del tamaño del área de estudio, no se recomienda definir más de unas 150 unidades, de manera que la continuación del estudio sea práctico y eficiente.
2. Evaluación de la susceptibilidad a remociones en masa. Habiendo dividido la zona de estudio en las diversas unidades, se procede a evaluar la susceptibilidad a generación de remociones en masa mediante el cálculo de un Índice de Susceptibilidad (IS). Este

índice se calcula para cada unidad definida y se basa en la suma de los puntajes ponderados para cada uno de los factores condicionantes de remociones en masa. Como la incidencia de los factores condicionantes varía según el tipo de remoción en masa, el cálculo del IS se realizará por separado. De esta manera, cada unidad tendrá un IS asociado a deslizamientos, a flujos y a caídas de manera independiente. Las unidades con $IS \geq 50$ se considerarán como susceptibles y se seleccionarán para análisis específicos posteriores. El resultado de esta fase es un mapa de susceptibilidad para cada uno de los tipos de remociones en masa estudiadas, con un Índice de Susceptibilidad (IS) comparable que varía entre 0% y 100%.

Para el cálculo de los IS, cada tipo de remoción tiene un grupo de factores condicionantes, donde cada uno además tiene un porcentaje de importancia para generarlos. Considerando que las características geológicas, geotécnicas y geomorfológicas son las más relevantes en ese aspecto, se tiene, para cada tipo de remoción, los siguientes factores con sus respectivos pesos (Tablas 3.1 a 3.4). El detalle de las propiedades a identificar para asignar los pesos se presenta en el anexo A.

**Tabla 3.1: Ponderación máxima de los factores condicionantes de flujos
(Lara, 2007).**

FACTOR		
GEOMORFOLOGÍA	Pendiente de laderas	35%
	Pendiente canal de drenaje	
	Encajamiento canal de drenaje	
	Exposición al sol	
GEOLOGÍA- GEOTECNIA	Características geológicas-geotécnicas del material	35%
	Condiciones de humedad y saturación	
CLIMA - VEGETACIÓN	Acumulación de nieve	10%.
	Cobertura vegetal	
CLIMA - VEGETACIÓN	Desestabilización artificial de laderas	10%
	Obstrucción de canal de drenaje	
ANTECEDENTES	Aluviones declarados en la hoya	10%

De esta manera, el IS para cada unidad geomorfológica se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$IS = (\sum \text{factores condicionantes}) * f_i \quad \text{donde } f_i = 1 \text{ si la unidad es suelo}$$

$$0 \text{ si la unidad es roca.}$$

En el caso en que una unidad asociada sólo a roca entregue un IS=0, pues el valor $f_i = 0$, debe tenerse en cuenta, que las zonas que geológicamente representan unidades de roca pero que presentan suelo superficial de espesor $\geq 1\text{m} - 1.5\text{m}$ deberán tener siempre un $f_i = 1$, pues podrían generar tanto deslizamientos superficiales de suelo como deslizamientos de roca y/o caídas de roca. Debe considerarse que el espesor de suelo señalado es sugerido ya que depende de la escala de trabajo.

Tabla 3.2 : Ponderación máxima de los factores condicionantes de deslizamientos de suelo (Lara, 2007).

FACTOR		
GEOMORFOLOGÍA	Pendiente de laderas	35 %
	Exposición al sol	
GEOLOGÍA - GEOTECNIA	Características geológicas- geotécnicas del material	30 %
	Condiciones de humedad y saturación	
CLIMA – VEGETACIÓN	Acumulación de nieve	10 %
	Cobertura vegetal	
ANTRÓPICO	Desestabilización artificial de laderas	10 %
ANTECEDENTES	Deslizamientos declarados en la ladera	15%
	Deslizamientos declarados en la unidad de suelo	

Similarmente, el IS para cada unidad geomorfológica se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$IS = (\sum \text{factores condicionantes}) * f_i \quad \text{donde } f_i = 1 \text{ si la unidad es suelo}$$

$$0 \text{ si la unidad es roca.}$$

En el caso en que una unidad asociada sólo a roca entregue un IS=0, pues el valor $f_i = 0$, debe tenerse en cuenta, que las zonas que geológicamente representan unidades de roca pero que presentan suelo superficial de espesor $\geq 1\text{m} - 1.5\text{m}$ deberán tener siempre un $f_i = 1$, pues podrían generar tanto deslizamientos superficiales de suelo como deslizamientos de roca y/o caídas de roca.

Debe considerarse que el espesor de suelo señalado es sugerido ya que depende de la escala de trabajo.

Tabla 3.3: Ponderación máxima de los factores condicionantes de deslizamientos en rocas (Lara, 2007).

FACTOR		
GEOMORFOLOGÍA	Pendiente de laderas	35%
GEOLOGÍA-GEOTECNIA	Características geológicas-geotécnicas del material	35%
CLIMA	Acumulación de nieve	5%
ANTRÓPICOS	Desestabilización artificial de laderas	10%
ANTECEDENTES	Deslizamientos declarados en la ladera	15%

En este caso, el IS para cada unidad geomorfológica se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$IS = (\sum \text{factores condicionantes}) * f_i \quad \text{donde } f_i = 1 \text{ si la unidad es roca}$$

$$0 \text{ si la unidad es suelo.}$$

Tabla 3.4: Ponderación máxima de los factores condicionantes de caídas de rocas (Lara, 2007).

FACTOR		
GEOMORFOLOGÍA	Pendiente de laderas	35%
GEOLOGÍA - GEOTECNIA	Características geológicas-geotécnicas del material	35%
CLIMA	Acumulación de nieve	10%
ANTRÓPICOS	Desestabilización artificial de laderas	5%
ANTECEDENTES	Caídas de rocas declaradas en la ladera	15%

De igual modo, el IS para cada unidad geomorfológica se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$IS = (\sum \text{factores condicionantes}) * f_i \quad \text{donde } f_i = 1 \text{ si la unidad es roca}$$

$$0 \text{ si la unidad es suelo.}$$

3.2 Aplicación de la Metodología de Lara en el Área de Estudio

Para la realización del análisis de susceptibilidad ha sido necesario seguir la metodología de Lara hasta el punto G2. Sin embargo en este trabajo adicionalmente se realiza la fase dos de terreno (T2) y el análisis de laboratorio (L1). Además de una evaluación de susceptibilidad de remoción en masa en la quebrada de Macul, se clasificó el suelo y la roca del sector.

A continuación se presenta paso a paso la metodología de Lara utilizada. Los resultados se presentan en los capítulos 4 y 5 y en los anexos.

Estudios preliminares de gabinete (G1)

En esta primera etapa, se lleva a cabo la recopilación de la información y antecedentes de la zona. El estudio realizado por Naranjo y Varela(1996) en la quebrada de Macul, debido al aluvión del año 1993, es fundamental en este estudio, ya que describe las características de este evento así como la geología y geomorfología de la zona de estudio. La memoria de título de Padilla (2006), entrega un catastro de eventos de remoción en masa y datos de precipitaciones en el sector. La geología del área de estudio se obtiene de la hoja Santiago (Thiele, 1980), además de los trabajos de Rauld (2002) y de Fock (2005) y Wall et. al (1999). Se utilizan fotografías aéreas para analizar estructuralmente la zona, SAF 95, Geotec 004692 a la 004694 a escala 1:50.000 y SAF 97, Fondef 039533 a la 039536 a escala 1:20.000. En ella se pueden observar fallas, lineamientos y el relieve de las zonas. Se utiliza también Google Earth, para familiarizarse con la topografía y la vegetación y ver la accesibilidad de la zona. En base al detalle necesario para este análisis y la dimensión del sector de estudio, se determina que la escala de trabajo será 1:25.000, que será la escala utilizada en los mapas finales de susceptibilidad de remociones en masa.

En planos de la ciudad se obtienen los posibles caminos y accesos para llegar a la zona de interés.

Estudios en terreno (T1)

En esta etapa se realizó la primera campaña de terreno. Se realizó un mapa geológico que complementa el trabajo de Jerez (2007), junto con una caracterización geológica, geomorfológica y geotécnica del sector. El objetivo fue recorrer el área reconociendo unidades geomorfológicas como terrazas, abanicos aluviales, unidades glaciares, depósitos de remociones antiguas, escarpes de falla, escarpes de remoción en masa antiguos y recientes. En los puntos donde fue posible, se caracterizó geotécnicamente la roca o el suelo.

Para realizar el mapeo del área, se requirió de 4 visitas a la zona, de un día de duración cada una. Se usaron 2 caminos diferentes para llegar a distintos puntos de la quebrada.

Para recorrer la parte norte de la quebrada se realizaron 2 visitas.

Para la parte más baja de la quebrada, se debió acceder por la Universidad Adolfo Ibáñez llegando por el lado norte de ésta. Las pendientes en algunos sectores son muy pronunciadas por lo que no fue viable pasar hacia el lado sur.

Para llegar a la parte oriente de la quebrada, se debió ir a caballo. Se hicieron en el sector mediciones estructurales y puntos de control geológico. Se escogieron posibles zonas de muestra de suelo, pero de roca, no se encontraron afloramientos apropiados para tomar muestras de roca.

Para ingresar a la parte sur de la quebrada se realizan 2 visitas, las que deben realizarse pasando por la compañía de Áridos Pétreos Quilín. Por este acceso se puede llegar en vehículo más al oriente.

En el cauce también se observaron pequeñas represas con rocas, creadas por el hombre, para retener un poco el cauce del río y así generar piscinas “naturales”. Son numerosas, sin embargo no provocan un importante impacto en el cauce. Por esta vía se logró acceder muy al oriente, sin embargo para llegar a los afloramientos de roca que escasamente se observan, fue prácticamente imposible a pie.

La ladera norte se presenta como un gran murallón sub-vertical que llega hasta los senderos que hay en ese lado de la quebrada. Solo desde esos senderos es factible acceder a las laderas y a los afloramientos de roca que se encuentren, desde el cauce solo se puede observar hasta donde se encuentran los senderos.

Con esta campaña, se obtuvo la información necesaria, la que sumada a la obtenida en gabinete (G1), permitió generar el mapa geológico. Se determinó el punto de donde se obtendrá la muestra de suelo para los ensayos y se concluyó que no es posible la toma de muestra de roca para realizar los ensayos de laboratorio. Aquellos puntos donde se encuentran afloramientos de roca que son aptos para tomar una muestra presentan dificultad de acceso e imposibilidad de acercarse en vehículo, y aquellos que permiten el acceso, no son aptos para muestras para realizar los ensayos en roca, por su tamaño o por el intenso fracturamiento, lo que no permite sacar colpas de roca de 20x20x20 cm³, que es el tamaño mínimo requerido para la realización de los ensayos.

Trabajo de gabinete (G2)

Esta etapa de la metodología se dividió en 2 etapas.

1. Se trabajó con la información obtenida en terreno referente a litologías, geomorfología y estructuras, que completan la información bibliográfica recopilada en **G1**. Además se trabajó con el modelo de elevación digital y el mapa geológico de la quebrada de Macul, dividiendo la zona de estudio en unidades geomorfológicas. Esta zona fue delimitada en el paso **G1**.
2. En la segunda parte del trabajo de gabinete **G2**, se realizó la evaluación de la susceptibilidad a remociones en masa.

Para cada una de estas unidades geomorfológicas, se calculó el Índice de Susceptibilidad (IS) de remoción en masa, para flujos, deslizamientos de suelo, deslizamientos de rocas y caídas de rocas.

Trabajo en terreno (T2)

La segunda fase de terreno se orienta al muestreo de material y mapeo estructural en detalle, si fuese necesario, de zonas definidas como críticas. Los ensayos de laboratorio permitieron determinar las propiedades del material necesarias para la generación de modelos de estabilidad, como granulometría, permeabilidad, plasticidad, densidad y resistencia, tanto en suelo como en roca.

Para esta segunda fase se realizó una visita a la zona de estudio donde previamente se escogió el punto para tomar una muestra de suelo (Fig.3.2). En terreno se tomó una muestra a la que se le determinó la humedad. Para ello se debió tomar una pequeña cantidad de suelo e inmediatamente debe ser llevada al laboratorio donde se pesó y se dejó secar. Para sacar las muestras que fueron utilizadas en la determinación de la densidad del suelo, se debió llevar a terreno el cono. La metodología de cómo se realiza la toma de muestra se encuentra detallada en el Anexo A.

Se requirió una muestra de 10 a 15 kg, para realizar los ensayos que permitieron clasificar el suelo por granulometría, en cambio para la realización del Corte Directo, se necesitaron 4 a 5 bolsas de 15 kg cada una.



Fig. 3.2: Punto de muestreo de suelo, en la parte baja del cauce principal de la quebrada de Macul.

Análisis de laboratorio (L1)

El cálculo de la humedad se realizó en el laboratorio. En cuanto llegan todas las muestras tomadas, se debe poner en el horno a secar. Posteriormente se pesa la muestra seca para determinar con la diferencia de los pesos, el contenido de humedad del suelo muestreado.

Para la clasificación de suelos, se tamiza el contenido de una de las bolsas y se clasifica según la USCS. El porcentaje de finos, es decir, la cantidad de material que pasa por el tamiz 200, indicara si debe determinarse la plasticidad de los suelos finos. Esto es necesario cuando los finos superen el 5% en volumen de la muestra según la USCS, propiedad que se obtiene mediante los Límites de Atterberg, con la determinación de los límites líquido y plástico. *Para la obtención de parámetros geomecánicos como cohesión, ángulo de fricción interna y resistencias máximas, se realiza el ensayo de corte directo, con 6 diferentes tensiones (Anexo C).*

4. ÁREA DE ESTUDIO

El área de estudio es la Hoya Hidrográfica de la Quebrada de Macul, ubicada en el piedemonte de la Cordillera Principal, al oriente de la ciudad de Santiago. En este capítulo presenta una descripción de la zona de estudio destacando sus principales características y unidades geomorfológicas así como sus características geológicas y geotécnicas.



 Quebrada de Macul

Fig. 4.1 Mapa ubicación Quebrada de Macul

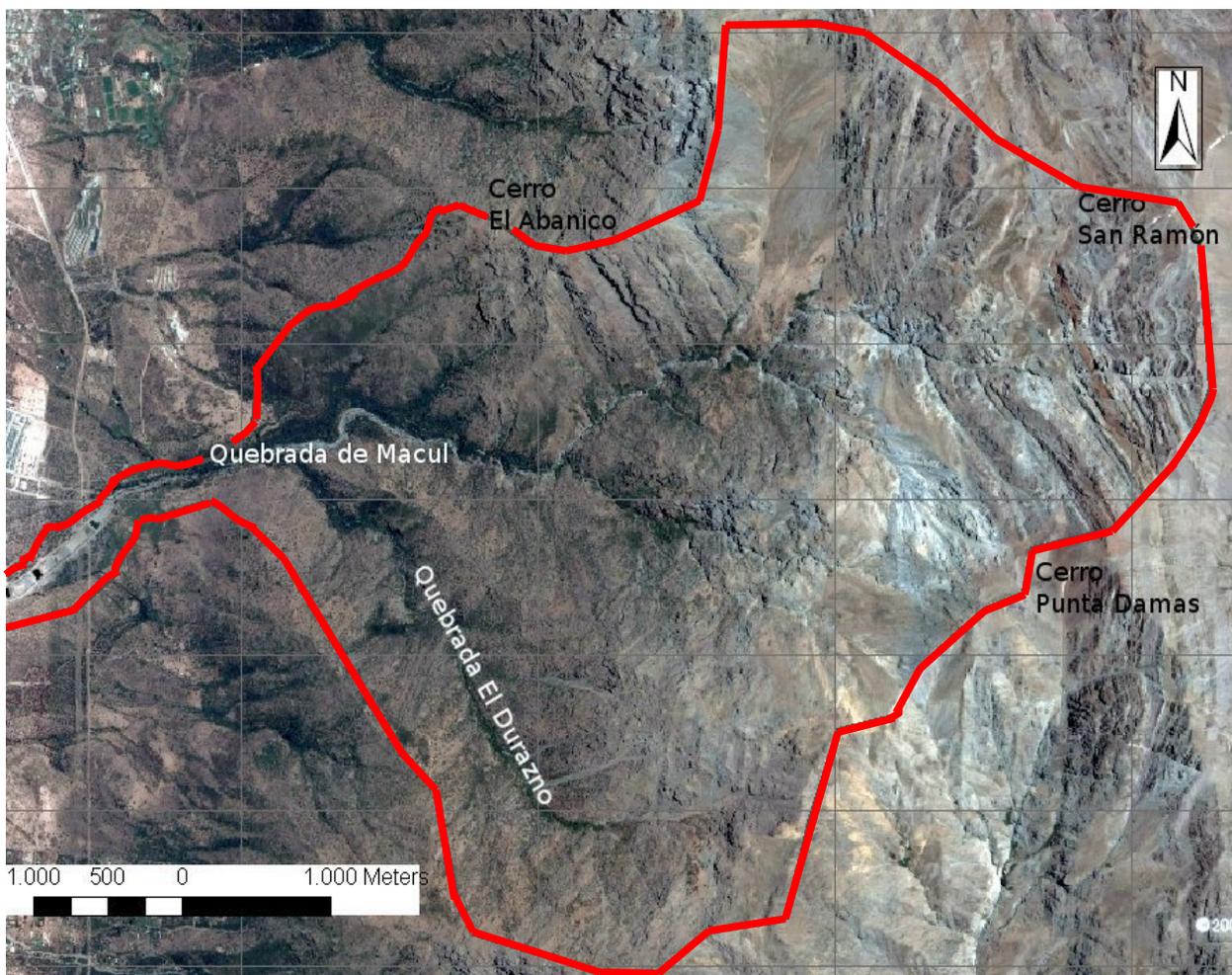


Fig. 4.2- Imagen de la Quebrada de Macul donde se indica el límite del Área de Estudio.

4.1 Geomorfología

La hoya hidrográfica de la Quebrada de Macul (Fig. 4.1 y Fig. 4.2) se encuentra en el límite entre la Depresión Intermedia y la Cordillera Principal, abarcando los faldeos cordilleranos de la zona sur oriente de Santiago, con una orientación este-oeste. El cauce principal tiene un largo mayor a 12 km.

La hoya se ubica en parte en el macizo cordillerano y al oriente de éste en la depresión intermedia sobre la que se expande su cono de deyección aluvial. La hoya tiene una superficie de ca. 23.3 km² y su cauce principal tiene una extensión de 17 km. aproximadamente.

Está limitada por cordones montañosos donde la cumbre más alta corresponde al cerro San Ramón (3250m), cerro El Abanico (2152 m), cerro Punta de Damas (3149 m).

La quebrada de Macul presenta grandes pendientes en sus laderas y en sus cauces, dominando en la hoya, aquellas entre los 30° y 45°, pero se suaviza aguas abajo.

En la ladera norte del sector central de la quebrada se encuentran terrazas, un cono de deyección, deslizamientos de suelo, afloramientos de roca que aparecen bajo el material removido, escombros de falda, suelos aluviales y coluviales, mucha vegetación. Las zonas aterrazadas presentan abruptos cambios topográficos(Fig. 4.8).

Por los senderos que hay en la ladera norte (Fig.4.3), se encuentran morfologías de remociones en masa, deslizamientos grandes y pequeños, coluvios y afloramientos de roca con diaclasamiento.



Fig.4.3 Quebrada de Macul vista hacia el oriente. En la parte superior izquierda se observa uno de los senderos que se siguen a caballo.

Por el cauce y por la ladera sur, se identifican escombros de falda, depósitos coluviales, deslizamientos, escasos afloramientos de roca con fracturamiento y en la quebrada se observan grandes bloques de hasta 2m (Fig.4.4). En la ribera norte se encuentran sedimentos caóticos, bloques angulosos con un tamaño promedio de 5m, y se aprecia un muro subvertical de unos 6m de alto en la ladera norte.



Fig. 4.4 Deslizamientos en la ladera sur de la Quebrada de Macul.

La quebrada El Durazno, que se localiza cerca de la zona de descarga, es una tributaria de 5 km de largo aproximadamente (Fig. 4.2). Es inaccesible por el cauce debido a la densa vegetación. Se encuentran en esta quebrada también escombros de falda y suelos residuales, pero no se observan afloramientos de roca.

Se encuentran afloramientos de roca, en zonas de la ladera sur, las que presentan terrenos con abundante vegetación o en sectores con pendientes muy altas (Fig.4.5).



Fig.4.5 Afloramientos de roca y vegetación en la ladera sur.

En la geomorfología, uno de los rasgos más relevantes para la generación de remociones en masa a considerar, corresponde a las pendientes de laderas en el área de estudio, sus alturas, exposición al sol y geometrías asociadas, las cuales se pueden obtener a partir de la generación en SIG de un modelo de elevación digital (DEM).

Con el modelo de elevación digital, se pueden dividir las unidades en 6 rangos de pendientes. Para esto se usa el DEM, el que entrega un Mapa de Pendientes, (Fig. 4.6) en el que se observa que los valores considerados para diferenciar los rangos de pendientes son cada 15° . Como en la metodología a aplicar, se indica que los sectores con pendientes inferiores a 10° no serán consideradas para ningún estudio, se identifican éstas áreas. Para las pendientes de bajo ángulo, el rango va hasta los 10° , y el siguiente considera hasta los 30° . Desde ese rango y hasta 90° , los rangos se consideran cada 15° .

En el mapa se puede observar que en la hoya hidrográfica existen altas pendientes, pero estas no exceden los 60° .

El siguiente mapa refleja el modelo DEM para pendientes de laderas en la quebrada de Macul (Fig. 4.6)

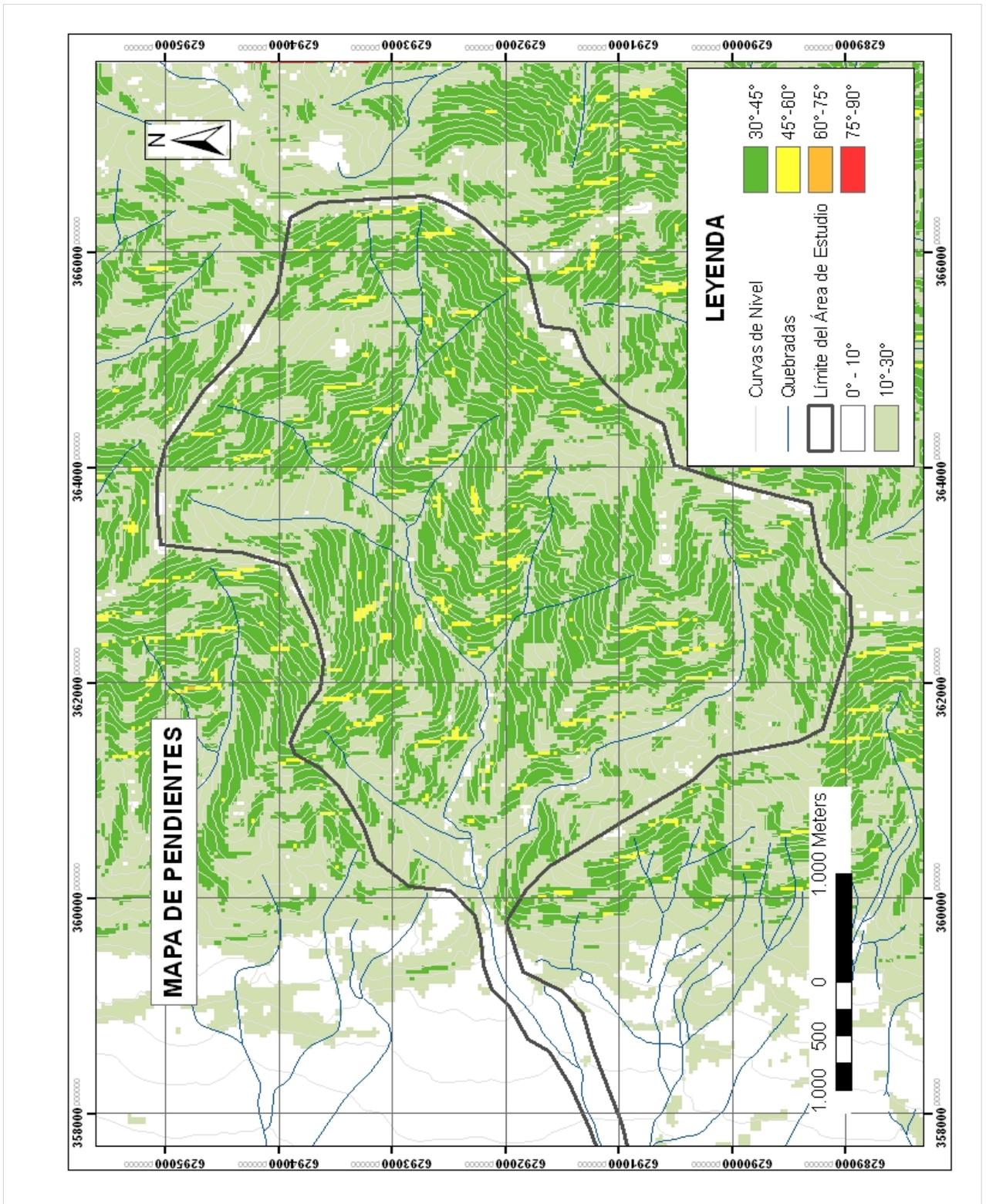


Fig. 4.6 Modelo de elevación digital de las pendientes de laderas.

Para determinar los distintos grados de exposición al sol en las laderas, se usa el DEM que entrega un Mapa de Aspectos (Fig. 4.7). En él se observa una predominancia de las laderas expuestas hacia el S, es decir laderas con menor exposición al sol, suelos principalmente húmedos. Las laderas cuya orientación es al E comparten el dominio en la zona con las laderas orientadas al S, siguiéndole en cobertura aquellas expuestas al W. Ambas situaciones, donde las laderas están expuestas al este o al oeste, indican una exposición al sol parcial, es decir, presentan suelos con menor humedad. Las laderas con orientación al norte, como se observa en el mapa, tienen una escasa presencia en la zona de estudio y son éstas por su alta exposición al sol, las que presentan predominantemente suelos áridos.

El siguiente mapa refleja el modelo DEM de aspectos de laderas en la quebrada de Macul (Fig. 4.7)

4.2 Geología

La geología de la zona se presenta en la figura 4.8.

Unidades de roca

Formación Abanico (Tsa):

La Formación Abanico aflora en toda la zona de estudio. Se encuentra compuesta por lavas, brechas volcánicas y tobas, con intercalaciones sedimentarias que incluyen lutitas y areniscas de grano fino. En la zona norte central del área de estudio la Formación Abanico es intruída por un filón inferido de composición basáltica que presenta una orientación general N-S. En general, la roca se presenta fracturada y meteorizada.

Las rocas más incompetentes corresponden a lavas de grano fino (andesitas) e intercalaciones sedimentarias (lutitas y areniscas finas). Las rocas de grano más grueso (lavas de grano grueso, brechas, tobas) son más competentes, presentándose fracturadas pero formando bloques mayores entre los sets de estructuras. Esta unidad presenta zonas con cubierta de suelos no mayores a 1 m de espesor.

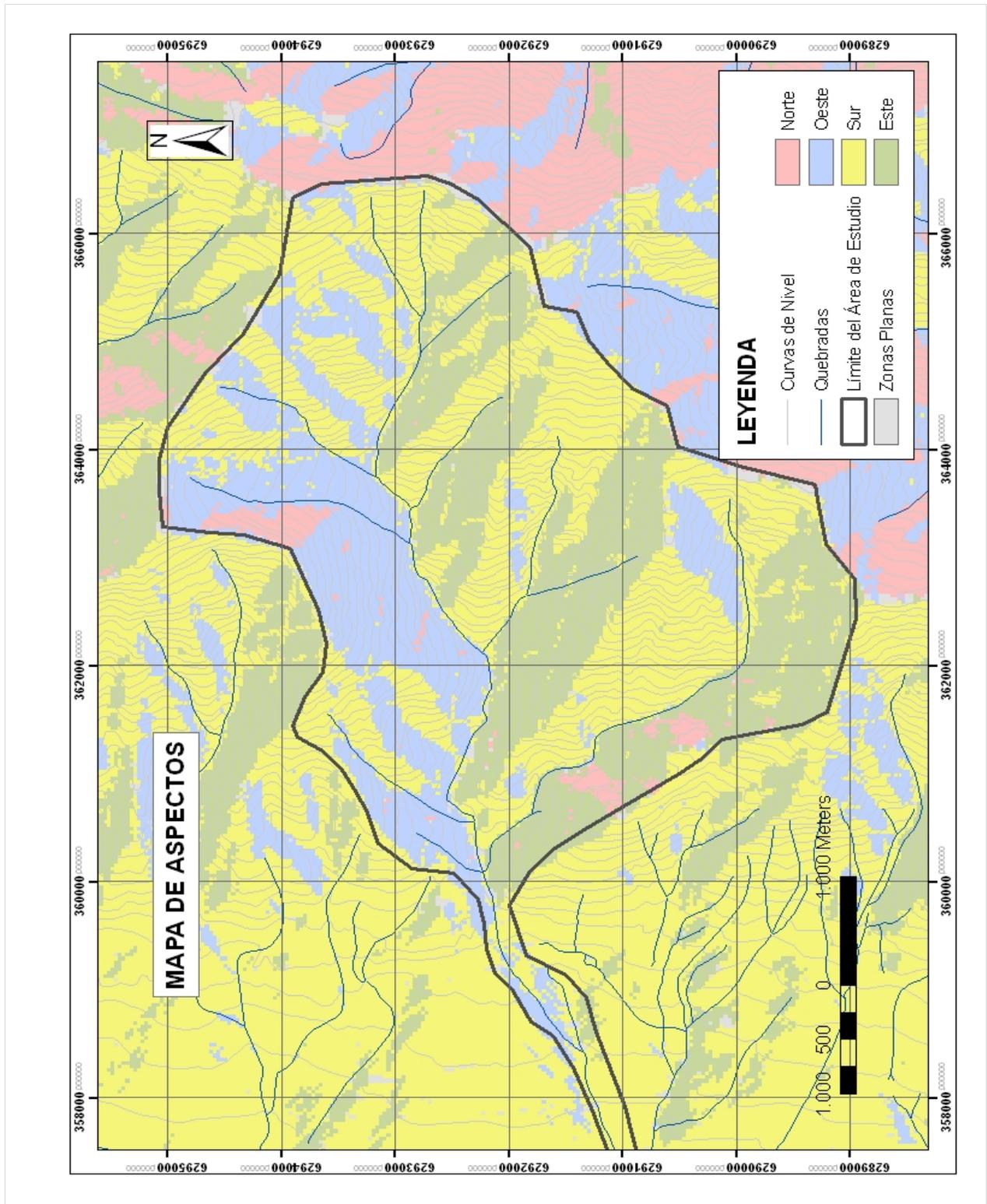


Fig. 4.7 Modelo de elevación digital del aspecto de laderas.

Cuerpos Intrusivos (Tf):

Se asoma levemente en la parte norte de la zona de estudio un intrusivo inferido de composición basáltica que afecta a la Formación Abanico. Este intrusivo es de orientación N-S, de grano fino y color negro, con pequeños cristales de plagioclasa en su matriz.

Hay además una serie de intrusivos de menor tamaño, que abarcan desde composiciones graníticas a dioríticas, que afectan a la secuencia de la Formación Abanico. Estos intrusivos menores en general se encuentran medianamente alterados y bastante fracturados generando bloques de roca que al caer se acumulan en las laderas de la quebrada.

Unidades de suelo

En este trabajo se mantiene y adopta la clasificación de unidades de suelo utilizada para la Quebrada San Ramón por Lara (2007).

Depósitos aluviales, fluviales y de remoción en masa antiguos (Qaf)

Estos depósitos son intercalaciones de depósitos aluviales, fluviales y de remoción en masa. Son depósitos que se encuentran bastante estables, presentando taludes subverticales en cortes de 2 a 3 metros de altura generados por caminos. La potencia de estos depósitos llega a superar los 20m. Granulométricamente son depósitos gravo-arenosos con algunos bloques que llegan en algunos casos a medir 1 metro de diámetro, presentando como matriz un material arenoso fino de color pardo, con una cantidad menor a un 2% de suelo limoso. El material está compuesto por partículas en general subredondeadas, de composición volcánica proveniente de las rocas que conforman la Formación Abanico. Su presencia en la zona se manifiesta en la parte poniente, bajo los 1100 m s.n.m.

Depósitos Abanicos Aluviales (Qaa)

Son depósitos aluviales de granulometría gruesa, gravo-arenosa con matriz limo-arcillosa, que se encuentran rellenando el pie de las quebradas. Topográficamente generan un relieve suave y de poca pendiente. Estos depósitos se encuentran a los pies de las quebradas.

Depósitos aluviales aluvionales antiguos (Qaaa)

Son depósitos que corresponden a material de origen aluvial y aluvional, de más de 20m de espesor de detritos (bloques, gravas y arena), que rellenan los cauces actuales. Son producto de intercalaciones de flujos de detritos y de flujos de agua de diversa energía. Se encuentran

formando colinas. Estos son depósitos bastante compactos y estables que forman superficies de poco desnivel topográfico.

Depósitos de remoción en masa aterrazados (Qrmt)

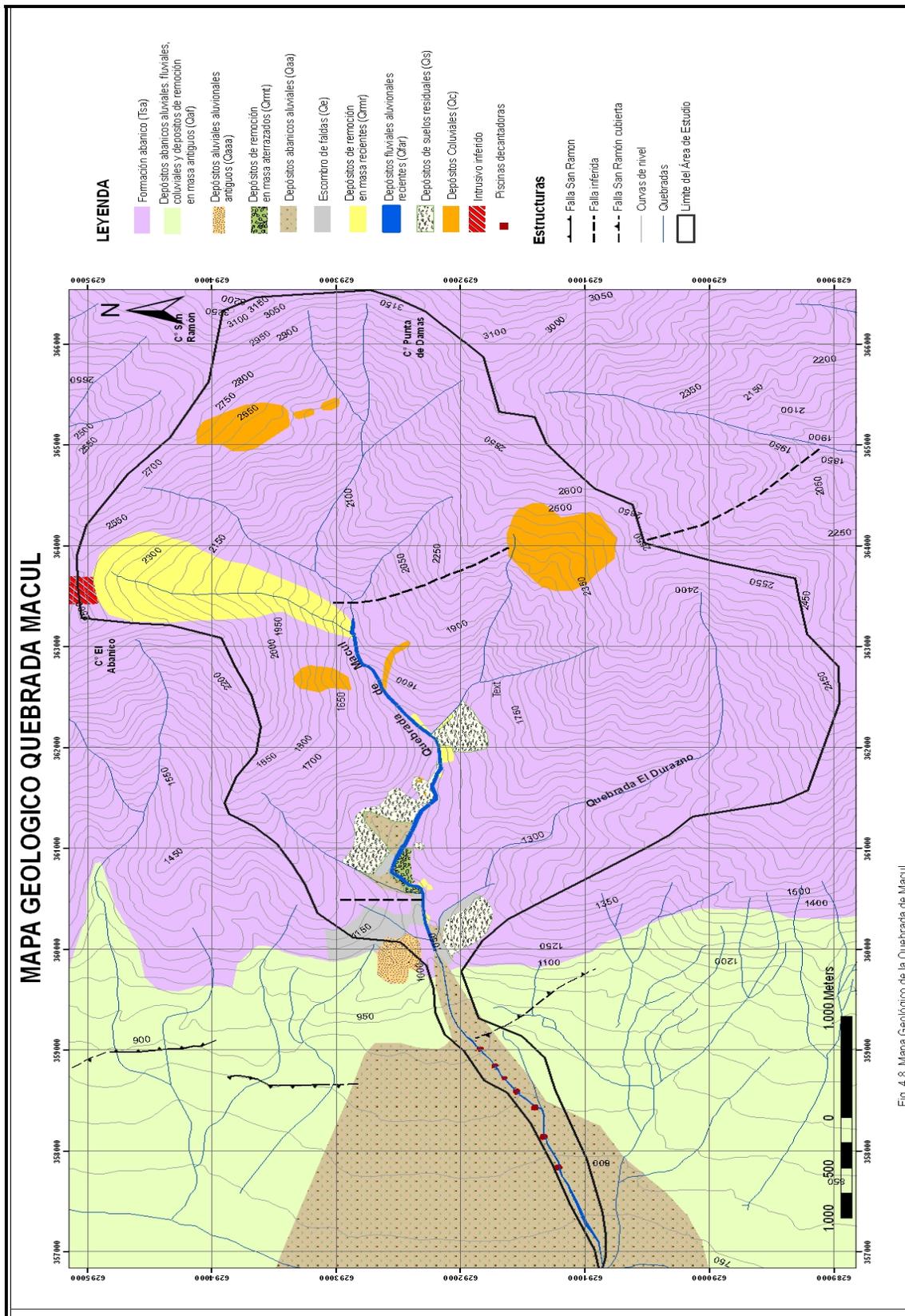
Esta unidad se define como depósitos de granulometría media, con bloques en una matriz limo-arcillosa, de espesor mayor a 20m compactos y estables. Corresponden a antiguos eventos de remoción en masa. Forman un nivel aterrazado extenso en el tramo donde la quebrada principal cambia abruptamente su orientación de E-W a NW-SE.

Escombros de falda (Qe)

Depósitos de espesor superior a 1m. Compuestos de arena, grava y bloques inmersos en una matriz limo-arenosa que se encuentra en las laderas de los cerros. Son depósitos gravitacionales, de compacidad media y se encuentran distribuidos en las laderas de los cerros. Se encuentran bloques angulosos de hasta 2m de diámetro y grava fina, en una matriz limo-arenosa de color pardo oscuro que presenta humedad natural de terreno. Estos depósitos se encuentran bajo los 1200m s.n.m., en ambos lados de la Quebrada de Macul, lados norte y sur.

Depósitos coluviales (Qc)

Acumulaciones de bloques, grava y arena sin o con escasa matriz. Se encuentran en zonas de alta pendiente en laderas de cerros, en la zona, principalmente en la parte alta de la quebrada. Generalmente se encuentran con un espesor mayor a 1m. Son depósitos de baja compacidad que se concentran en el centro del depósito, al pie de afloramientos rocosos. Son depósitos en equilibrio inestable. Litológicamente, corresponden a lavas, lavas brechosas y brechas pertenecientes a la Formación Abanico.



Depósitos de remoción en masa recientes (Q_{mr})

Depósitos de bloques y lavas en matriz arenosa ligeramente arcillosa, abarcando las laderas y el eje de la quebrada. Corresponden a depósitos de baja compacidad, susceptibles a ser removilizados, que muestran evidencias de reptación.

Depósitos fluviales y aluvionales recientes (Q_{far})

Depósitos de detritos (bloques, gravas y arenas) en matriz arcillosa que rellenan los cauces actuales. Producto de intercalaciones de flujos de detritos y flujos de agua de diversa energía. Se encuentran levées y represas en el cauce. En la zona, se encuentran en el cauce principal de la Quebrada de Macul.

Depósitos de suelos residuales (Q_s)

Depósitos con un espesor superior a 1m. Compuesto de bloques en matriz de limo arenosa. Cubren zonas extensas en la parte baja y media de la quebrada.

Estructuras

A continuación se presenta la información estructural del área de estudio, recopilada de antecedentes, mapas, fotos aéreas, y del trabajo en terreno efectuado.

Estructuras Mayores

La mayor estructura corresponde a la Falla San Ramón (Rauld, 2002). Su rumbo es aproximadamente NS, variando en algunos tramos a NNW-SSE, y afecta a los Depósitos Q_{af}, y en la parte baja de la Quebrada de Macul afecta al área de estudio, específicamente en su parte más occidental (Fig. 4.8). Las características geomorfológicas de la zona de falla indicarían que la falla tendría un movimiento inverso (Rauld, 2002).

Estructuras menores.

Estructuras medidas en la zona de estudio definen sets estructurales cuyas orientaciones muestran en general una tendencia perpendicular a la Falla San Ramón, es decir EW (Fig. 4.9 y 4.10).

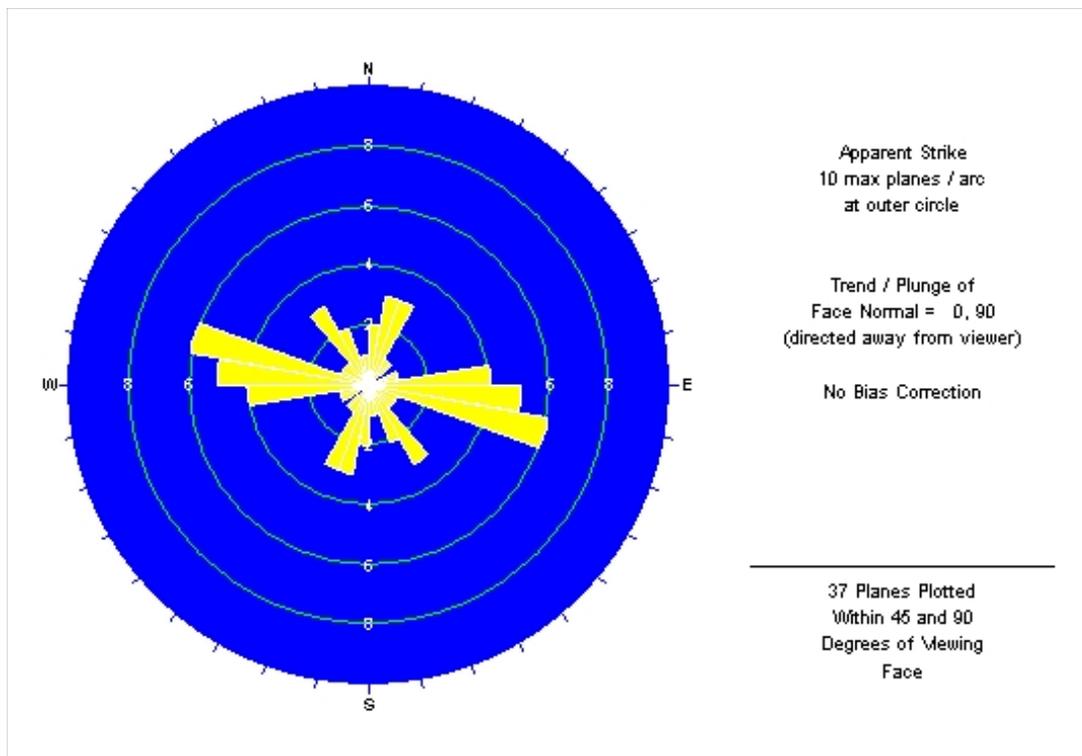


Fig. 4.9. Roseta de Estructuras Menores

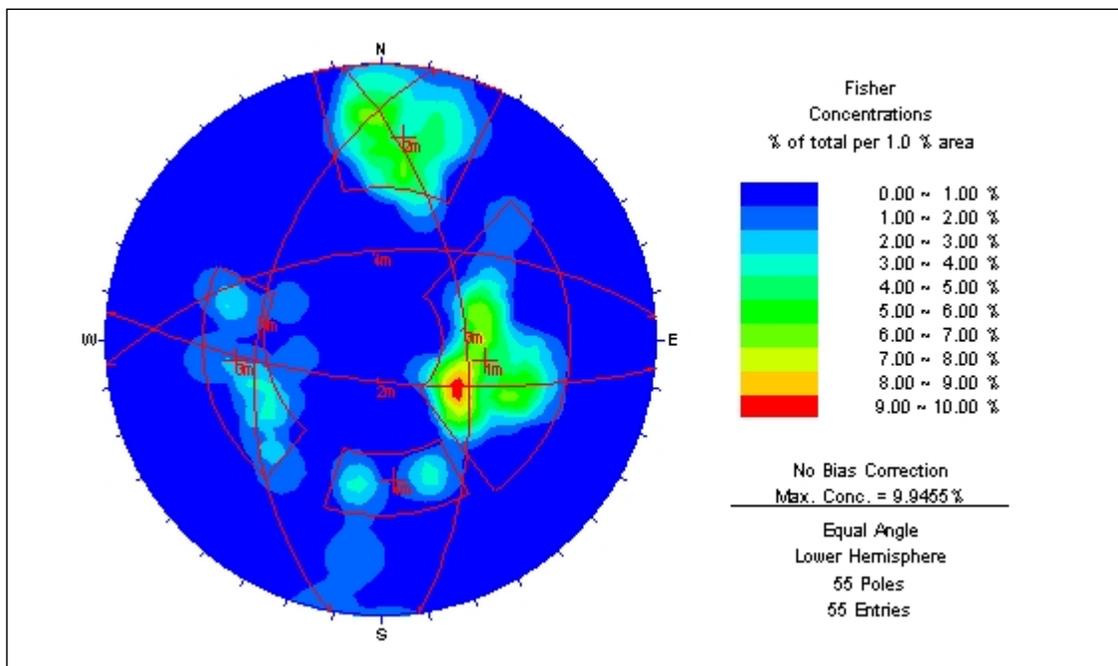


Fig.4.10. Diagrama de Polos.

El sector está localizado en la zona alta de la Quebrada de Macul, sobre los 1500 m s.n.m., en el lado norte. Aproximadamente en la zona centro del área de estudio. Se puede observar de las figuras que la concentración de orientaciones está en la dirección WNW-ESE. Esta tendencia a la perpendicularidad con las estructuras mayores, podría deberse a que la falla San Ramón, al ser una estructura de movimiento inverso, implica compresión. Esto genera en la perpendicular extensión, y las diaclasas son estructuras de extensión.

4.3 Geotecnia

Las propiedades geotécnicas para suelo y roca han sido obtenidas mediante el trabajo de terreno y mediante ensayos de laboratorio efectuados en materiales muestreados en la zona de estudio.

Suelos

Se analizaron muestras de la unidad de suelo Qaf, depósitos de abanicos aluviales, fluviales y coluviales. En general, los suelos de la zona muestreada, la que está ubicada en la parte baja del cauce, se clasifican desde un punto de vista geotécnico como GW, grava bien graduada. Los suelos gravo-arenosos son los definen principalmente las unidades que rellenan los cauces. Dado el acceso y la disponibilidad de material, se obtuvieron las muestras de suelo del cauce de la Quebrada de Macul en su parte baja, donde la pendiente es suave. Se realizaron ensayos de densidad *in situ*, granulometría, y resistencia por corte directo. Los ensayos se realizaron en el Laboratorio de Sólidos de la Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas de la Universidad de Chile. Las curvas granulométricas para el suelo muestreado y los resultados obtenidos a partir de los ensayos se presentan en las siguientes figuras y tabla:

Rocas

En la zona de estudio, los sectores donde aflora el macizo rocoso, se presentan de muy difícil acceso a pie, pero imposible con vehículo, por lo que se descartó realizar ensayos en roca. Las litologías son similares a las descritas por Lara (2007), para la Quebrada San Ramón, cuyas propiedades geotécnicas se resumen en la tabla 4.1.

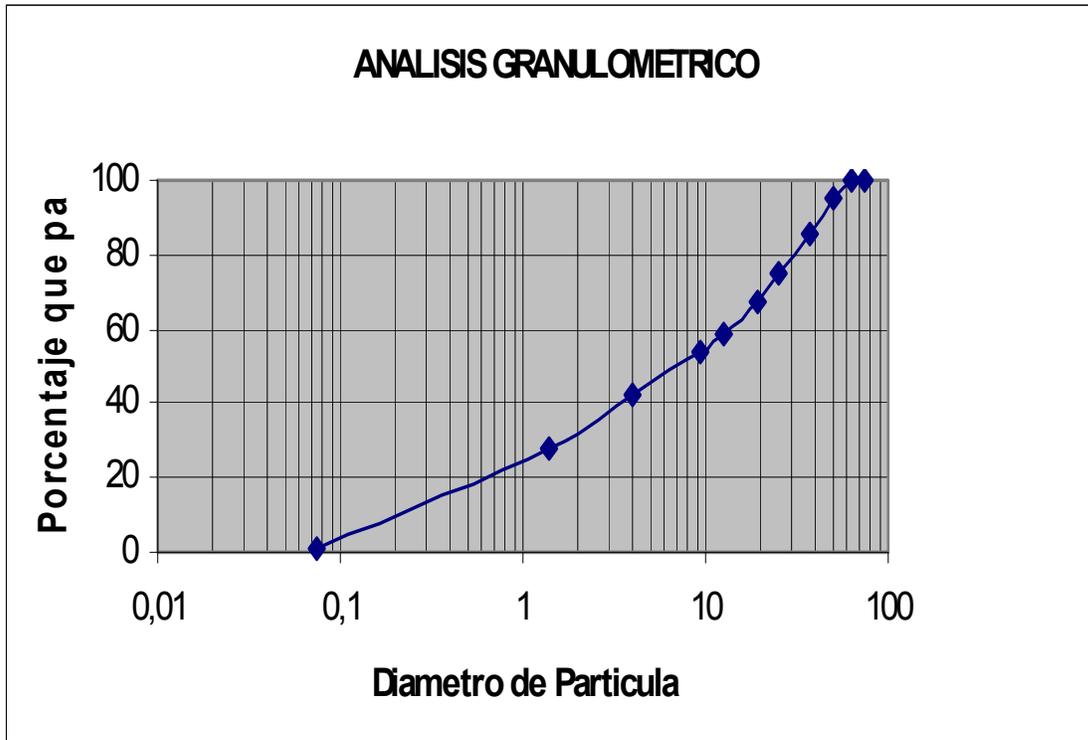


Gráfico 1.- Curva granulométrica.

De acuerdo al Grafico 1, se obtiene la clasificación USCS, que concluye que el suelo es una grava bien graduada (GW).

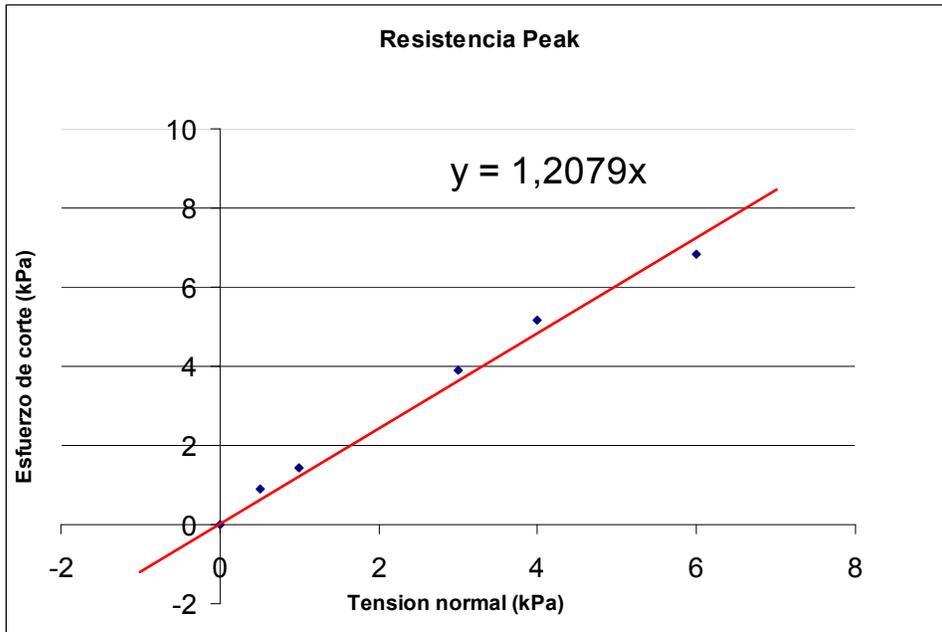


Gráfico 2.- Resultado corte directo.

Del Grafico 2, de Resistencias máximas se obtiene el ángulo de fricción (ϕ) y la cohesión.

$$C = 0$$

$$\phi = 50,4^\circ$$

Tabla 4.1. Resultados de propiedades geotécnicas en rocas de la Formación Abanico para la Quebrada San Ramón (Lara, 2007).

PROPIEDAD	R1	R2
Densidad (g/cm ³)	2.6	2.5
UCS (MPa)	50	86
E (GPa)	9	93
m _i	24	9
ϕ [°]	51	39
Cohesión (MPa)	9	30

4.4 Hidrología

El cauce de la quebrada tiene características de alta torrencialidad, determinadas por los factores geomorfológicos que se expresan en escaso tiempo de concentración, alta velocidad y turbulencia del caudal. Las crecidas son rápidas y violentas, con gran poder de erosión y arrastre de materiales. Como éste sistema es característico solo en período de invierno, se debe agregar que en primavera-verano, las lluvias son casi nulas, por lo que no hay infiltraciones de aguas superficiales, solo el agua que corre por el cauce que en los meses de calor es veloz, pero con una turbulencia más bien moderada.

4.5 Vegetación

En la zona de estudio, es posible identificar dos zonas de vegetación, lo cual está íntimamente relacionado con las características climáticas que dominan en cada una.

Desde los 500 m s.n.m. hasta aproximadamente los 1500 m s.n.m. y los 2000 m s.n.m., en la zona de climas templados con estación seca prolongada, dominan los bosques esclerófilos. Estos bosques se caracterizan por tener una vegetación que no pierde sus hojas en invierno. Las especies arbóreas y arbustivas que se presentan en este tipo de bosques son el Peumo, el Boldo, el Litre, el Quillay, Maitén, Colliguay, Añañucas y el Guayacanes, que se caracterizan

por sus hojas duras e internados cortos (distancia entre las hojas y el pedúnculo). En las zonas con mayor humedad, cercano a los cauces de las quebradas (Fig. 4.11), se pueden encontrar también especies como la Patagua, el Lingue y el Canelo (BCN, 2004). Por sobre los 1500 a 2000 m.s.n.m. domina la vegetación característica de climas andinos. La sequedad atmosférica y las bajas temperaturas permanentes a través de todo el año, así como las oscilaciones diarias de temperatura, son los factores preponderantes. En general se asocia con especies vegetales rastreras o acojinadas, con espinas o achaparradas, adaptadas para resistir las exigentes condiciones climáticas. La especies características en la zona central son la Hierba Blanca, el Pichi-Pichi y el Pingo-Pingo (BCN, 2004).

4.6 Clima

El clima de la región central de Chile, puede ser clasificado como mediterráneo, caracterizado por una estación cálida y seca en el verano y una estación fría y lluviosa durante el invierno (Miller 1976, Fuenzalida, 1982). Dentro de esta clasificación general, y particularmente para la Región Metropolitana, se distinguen dos subtipos climáticos:

- Clima templado cálido con estación seca prolongada.
- Clima templado cálido con estación seca de 4 a 5 meses.

En la zona de estudio se presenta el clima templado cálido con estación seca prolongada, lo que implica un período seco de 7 a 8 meses con precipitaciones bajo los 40 mm. Las precipitaciones se concentran entre Mayo y Abril, y por sobre los 1500 m s.n.m., éstas precipitaciones son principalmente de nieve. Las condiciones de humedad son bajas. Sin embargo sobre los 2000 m s.n.m., en la zona de estudio se tiene el clima templado cálido con estación seca de 4 a 5 meses. El período lluvioso es más extenso, de 7 a 8 meses, donde predominan las temperaturas bajo los 0° C por lo que las precipitaciones son de tipo nieve.

4.7 Actividad Antrópica

El control que ejerce el factor humano sobre la estabilidad de laderas es importante en la generación de eventos de remoción en masa. En el cauce, las pequeñas represas que se realizan a lo largo de él, podrían en algún momento provocar el arrastre del material que las represa. La construcción de las piscinas de contención preparadas para recibir material de algún evento de remoción y de caudales mayores.



Fig.4.11 Cauce Quebrada de Macul, donde se observan bloques y alguna variedad de la vegetación presente.

5. ANÁLISIS DE SUSCEPTIBILIDAD

El análisis de susceptibilidad de la quebrada de Macul, aplica la metodología propuesta por Lara (2007) para análisis de susceptibilidad y peligro de remoción en masa, con la cual se identifican zonas críticas para la generación de remociones en masa. Para determinar la susceptibilidad en este trabajo, se aplican los primeros 3 pasos de la metodología de Lara (Fig.3.1). Adicionalmente, se realiza la clasificación de suelo y roca, realizando los pasos T2 y L1. Con estos resultados, en un estudio posterior, se podrá evaluar el peligro de remoción en masa en el área de estudio.

5.1 Unidades Geomorfológicas

La determinación de las unidades geomorfológicas del área se basa en la geología y geomorfología de la zona, las pendientes y la exposición al sol de laderas principalmente.

No es recomendable, según el método de Lara, que el sector de estudio sea dividido en más de 150 unidades. Estas unidades geomorfológicas se pudieron obtener a partir de la generación en SIG (Sistema de Información Geográfica), de un modelo de elevación digital (DEM). En base a estos modelos de elevación digital y en conjunto con el mapa geológico, el área de estudio se dividió en 137 unidades geomorfológicas, como se observa en el Mapa de Unidades Geomorfológicas (Figura 5.1), en el que además de aprecian las unidades con sus pendientes.

Para cada una de estas unidades, se calcularon 4 Índices de Susceptibilidad (IS) de remoción en masa. Un índice para flujos, deslizamiento de suelo, deslizamiento de rocas y caídas de rocas.

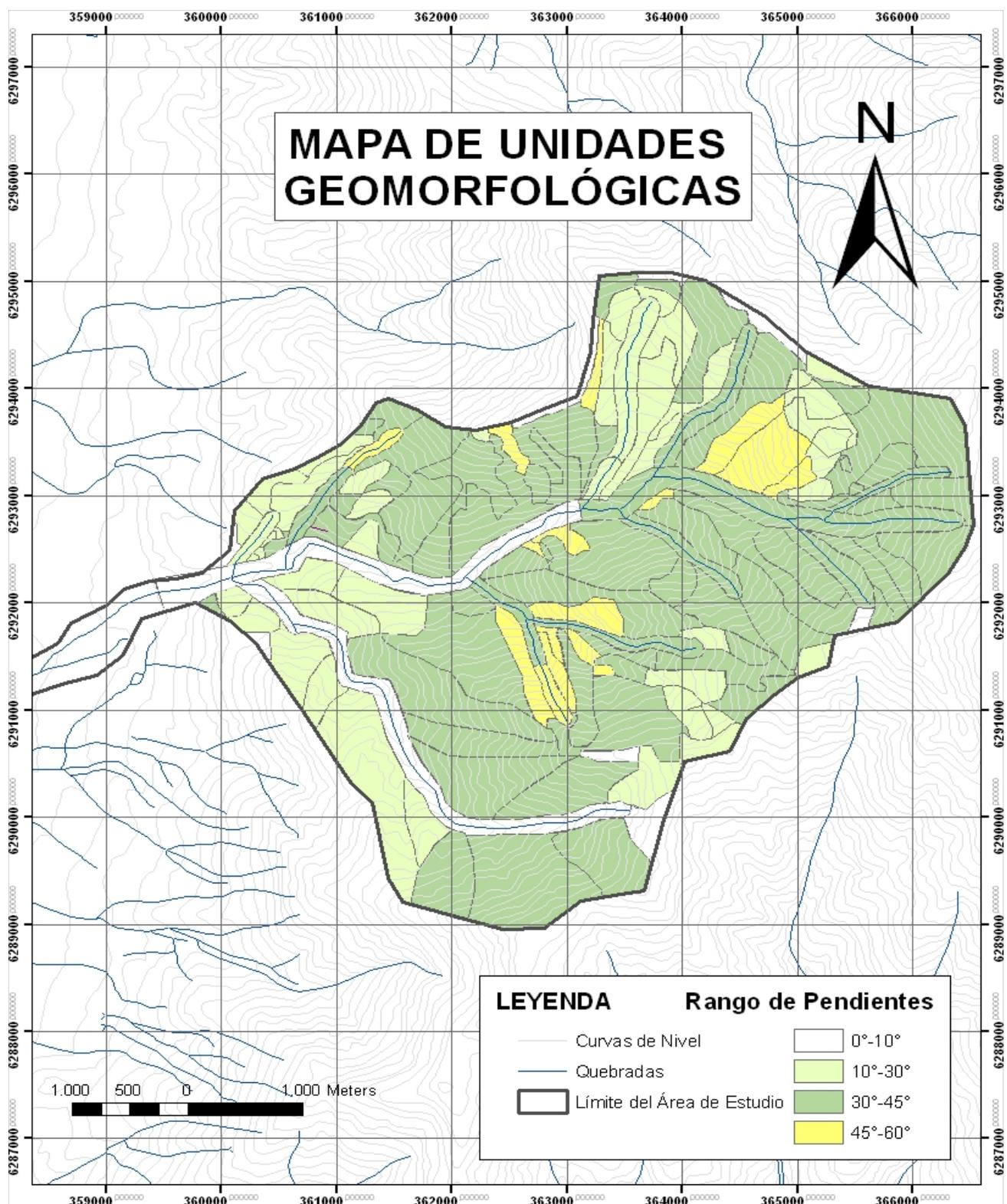


Fig. 5.1 Mapa de Unidades Geomorfológicas de la Hoya Hidrográfica de la Quebrada de Macul.

5.2 Cálculo de Índices de Susceptibilidad

Se calcula un IS para cada tipo de remoción, basándose en los factores condicionantes y sus respectivas ponderaciones máximas (Lara, 2007). La metodología se describió en el capítulo 3 y el valor asignado en este estudio a cada factor está detallado en el Anexo B.

Para este estudio, la metodología de Lara (2007) solo considera unidades con $IS > 50$ como áreas susceptibles. Solo estas áreas serán consideradas para estudios posteriores de evaluación de peligro geológico.

5.2.1 Flujos de Detritos

En el mapa de Índice de Susceptibilidad de Flujos de Detritos (Fig. 5.2), se observa que en la hoya hidrográfica de la Quebrada de Macul hay un claro dominio de índices de susceptibilidad inferiores a 25. Si se revisan las tablas con los valores de los IS para flujos en el anexo B, se puede ver que los IS que dominan en este mapa, tienen valor 0, principalmente debido a que el material predominante en la zona de estudio es roca y eso le asigna un valor 0 al IS de este tipo de remoción.

En la quebrada principal, se observan unidades con pendientes medias inferiores a 10° bajo los 1500 metros aproximadamente y en el cauce y cabecera de la quebrada El Durazno. Estas unidades no se consideran pues aquellas con pendientes medias menores a 10° no son consideradas para este estudio.

En la figura se puede ver que hay zonas susceptibles en las partes altas, donde las pendientes que predominan son inferiores a 45° , aún cuando hay pequeñas zonas con pendientes entre los 45° y 60° .

Las unidades que presentan los IS más altos están directamente relacionados con las pendientes que se orientan al W y al E, es decir su exposición al sol es media, lo que implica una moderada presencia de vegetación, la que está directamente relacionada a la estabilidad. La exposición al sol no está considerada en todo tipo de remociones y en las de tipo flujo se presenta con una muy baja incidencia.

Las áreas susceptibles se pueden observar principalmente en afluentes de la quebrada principal y hacia las cabeceras. También al sur del cauce principal de la quebrada de Macul, en la zona central y una unidad en la parte baja de la quebrada, en el lado norte.

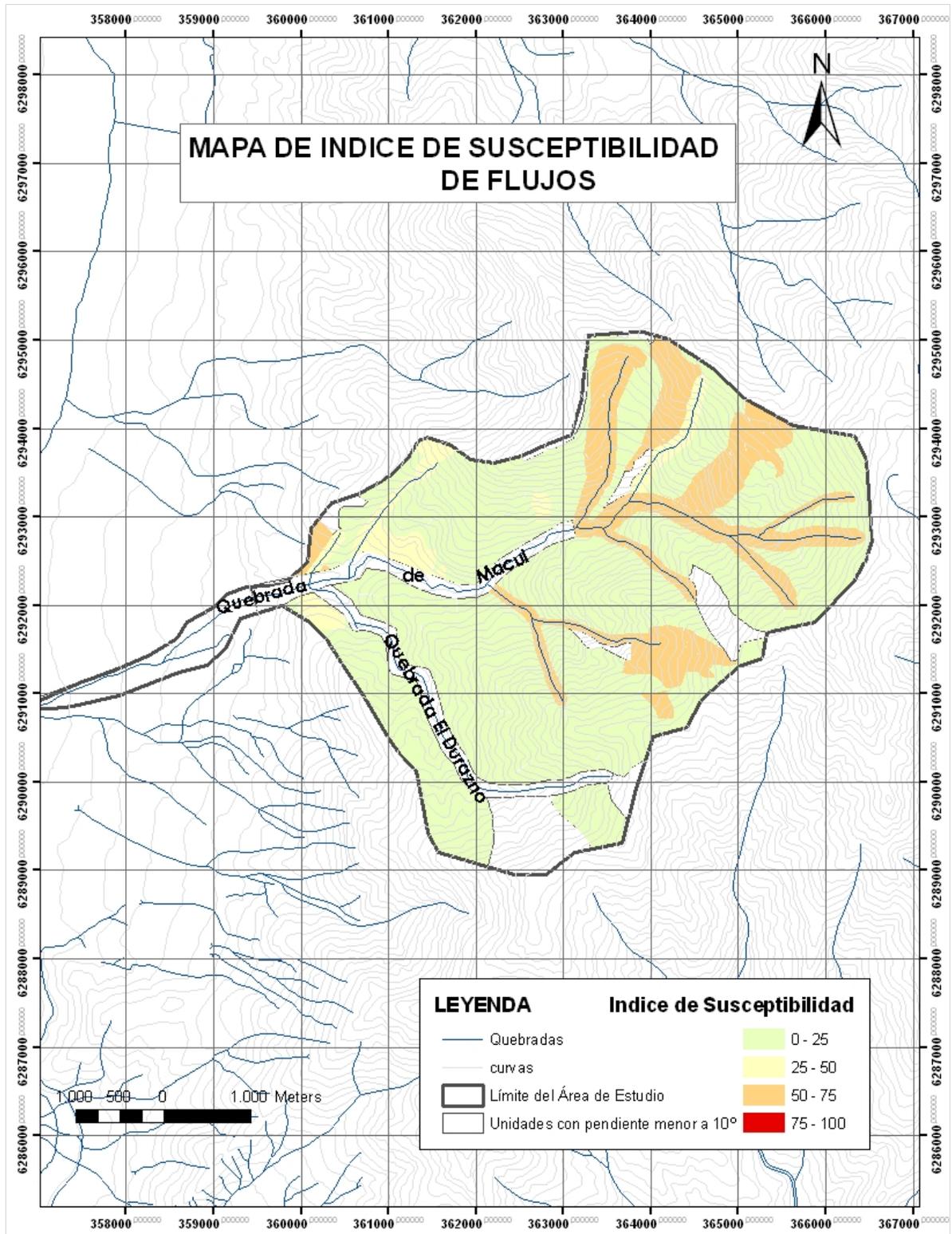


Figura 5.2 Mapa de Índice de Susceptibilidad de Flujos de Detritos.

5.2.2 Deslizamiento de Suelos

En el mapa de Índice de Susceptibilidad de Deslizamiento de Suelos (Fig. 5.3), en la hoya hidrográfica de la Quebrada de Macul, se observa un claro dominio de índices de susceptibilidad inferiores a 25. Si se revisan las tablas con los valores de los IS para flujos en el anexo B, se constata que los IS que dominan en este mapa, tienen valor 0, principalmente debido a que el material predominante en la zona de estudio es roca. También se observa que la proporción de suelo presente es muy inferior a la de roca, lo mismo se observa en el caso anterior.

En la quebrada principal, se observan unidades con pendientes medias inferiores a 10° bajo los 1500 metros aproximadamente y en el cauce y cabecera de la quebrada El Durazno. Estas unidades no se consideran pues aquellas con pendientes medias menores a 10° no son consideradas para este estudio.

En la figura se puede ver que hay zonas susceptibles en las partes altas, donde las pendientes que predominan son inferiores a 45° , aún cuando hay pequeñas zonas con pendientes entre los 45° y 60° .

Las unidades que presentan los IS más altos están directamente relacionados con las pendientes que se orientan al W y al E, es decir su exposición al sol es media, lo que implica una moderada a escasa presencia de vegetación, la que está directamente relacionada a la estabilidad. La exposición al sol no está considerada en todo tipo de remociones, en los deslizamientos de suelos, se presenta con una muy baja incidencia, aunque algo mayor al caso anterior.

Como se mencionó, las zonas susceptibles se consideran con un $IS > 50$, por lo que, en este caso no hay zonas susceptibles en la parte baja del área de estudio. En la parte central, hacia la parte sur del cauce principal de la quebrada de Macul, se encuentran unidades susceptibles a este tipo de remoción. Estas unidades se localizan en la parte alta de las quebradillas que tributan al cauce principal. En esta situación, las áreas consideradas susceptibles cubren menos de la cuarta parte del área total.

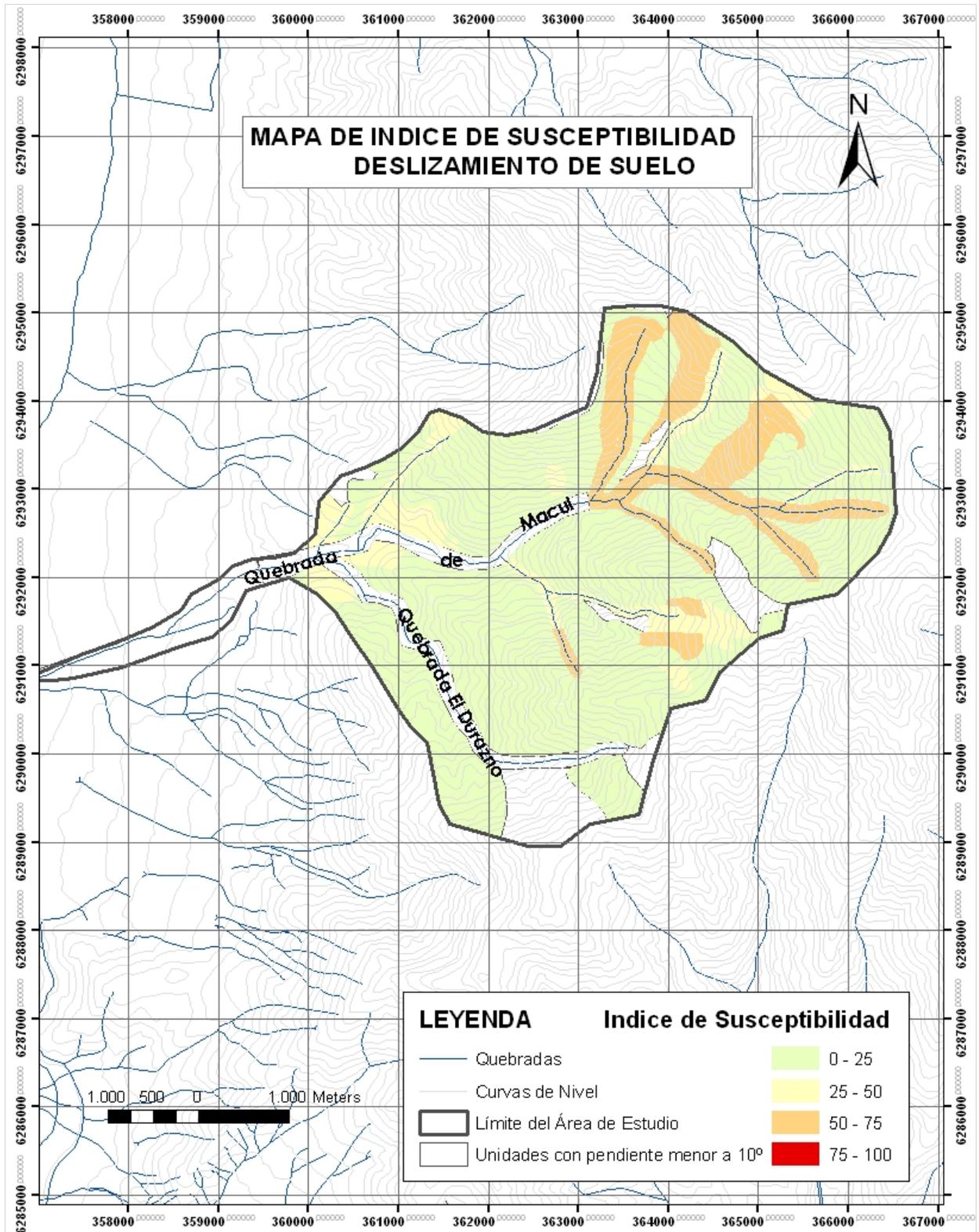


Figura 5.3: Mapa de IS de Deslizamiento de Suelos.

5.2.3 Deslizamiento de Rocas

En el mapa de Índice de Susceptibilidad de Deslizamiento de Rocas (Fig. 5.4), en la hoya hidrográfica de la Quebrada de Macul, se observa un claro dominio de índices de susceptibilidad en un rango entre 25 y 50, principalmente debido a que el material predominante en la zona de estudio es roca. También se observa que la proporción de suelo presente es muy inferior a la de roca.

En la quebrada principal, se observan unidades con pendientes medias inferiores a 10° bajo los 1500 metros aproximadamente y en el cauce y cabecera de la quebrada El Durazno. Estas unidades no se consideran pues aquellas con pendientes medias menores a 10° no son consideradas para este estudio, así como en los casos anteriores.

En la figura se puede ver que hay zonas susceptibles en las partes centrales de la zona de estudio, donde las pendientes que predominan se encuentran entre los 30° y los 45° , aún cuando hay pequeñas zonas con pendientes entre los 45° y 60° . A diferencia de los casos anteriores, estas zonas aparecen en forma más frecuente.

Las unidades que presentan los IS más altos presentan pendientes que se orientan al S y al E, es decir su exposición al sol es baja a media, sin embargo la exposición al sol no está considerada en este tipo de remociones, por lo que la presencia o ausencia de vegetación no tendrá incidencia alguna.

Como se mencionó, las zonas susceptibles se consideran con un $IS > 50$, por lo que, en este caso no hay zonas susceptibles en la parte baja del área de estudio. En el área central, hacia la parte sur del cauce principal de la quebrada de Macul, se encuentran principalmente las unidades susceptibles a este tipo de remoción. Se observan también un par de unidades susceptibles en el lado norte del cauce principal y una en la parte alta de la quebrada.

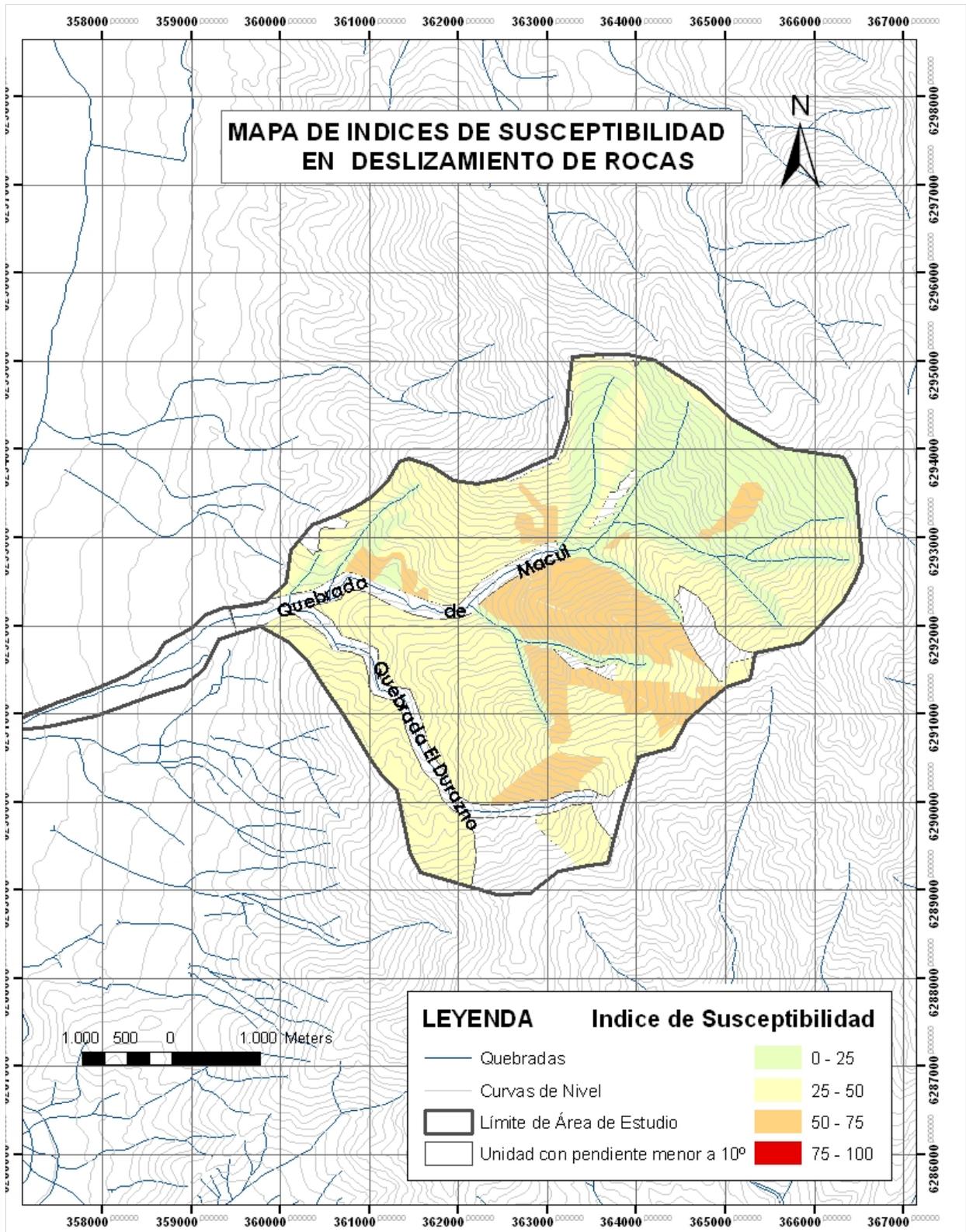


Figura 5.4: Mapa de los IS de Deslizamiento de Rocas

5.2.4 Caídas de Rocas

En el mapa de Índice de Susceptibilidad de Caídas de Rocas (Fig. 5.5), de la hoya hidrográfica de la Quebrada de Macul, se observa como en caso anterior, que este tipo de material cubre gran parte del área. Además se observa un claro dominio de índices de susceptibilidad en un rango entre 25 y 75, principalmente debido a que el material predominante en la zona de estudio es roca. En este tipo de remoción, se presentan índices de susceptibilidad mayores a 75, que es el rango más alto en la clasificación con la que se ha trabajado en este estudio, en la parte alta y central de la quebrada.

En la quebrada principal, se observan unidades con pendientes medias de 10° o menores, las que se encuentran en su mayoría bajo los 1500 m aproximadamente y en el cauce y cabecera de la quebrada El Durazno. Estas unidades no se consideran pues aquellas con pendientes medias menores a 10° no son consideradas para este estudio, así como en los casos anteriores.

En la figura se puede ver que hay zonas susceptibles en las partes centrales de la zona de estudio, donde las pendientes que predominan se encuentran entre los 30° y los 45° , aún cuando hay pequeñas zonas con pendientes entre los 45° y 60° . Similar al caso anterior donde estas zonas aparecen en forma más frecuente.

Las unidades que presentan los IS más altos presentan pendientes que se orientan al S en su mayoría, siguiéndole en cobertura las zonas con orientaciones al E y al W. Por lo tanto, se puede decir que su exposición al sol es de baja a media, sin embargo la exposición al sol no está considerada en este tipo de remociones, por lo que la presencia o ausencia de vegetación no tendrá incidencia alguna.

Como se mencionó, las zonas susceptibles se consideran con un $IS > 50$, por lo que, en este caso hay zonas susceptibles prácticamente en la totalidad del área de estudio, aunque se encuentren en su mayoría en el lado sur del cauce principal de la Quebrada de Macul. Hay una importante porción del área total que abarcan las unidades susceptibles localizadas en la zona central, hacia la parte sur del cauce principal. Se localizan en esa parte también la mayor parte de las unidades con un $IS > 75$. Sin embargo estas unidades son muy pequeñas.

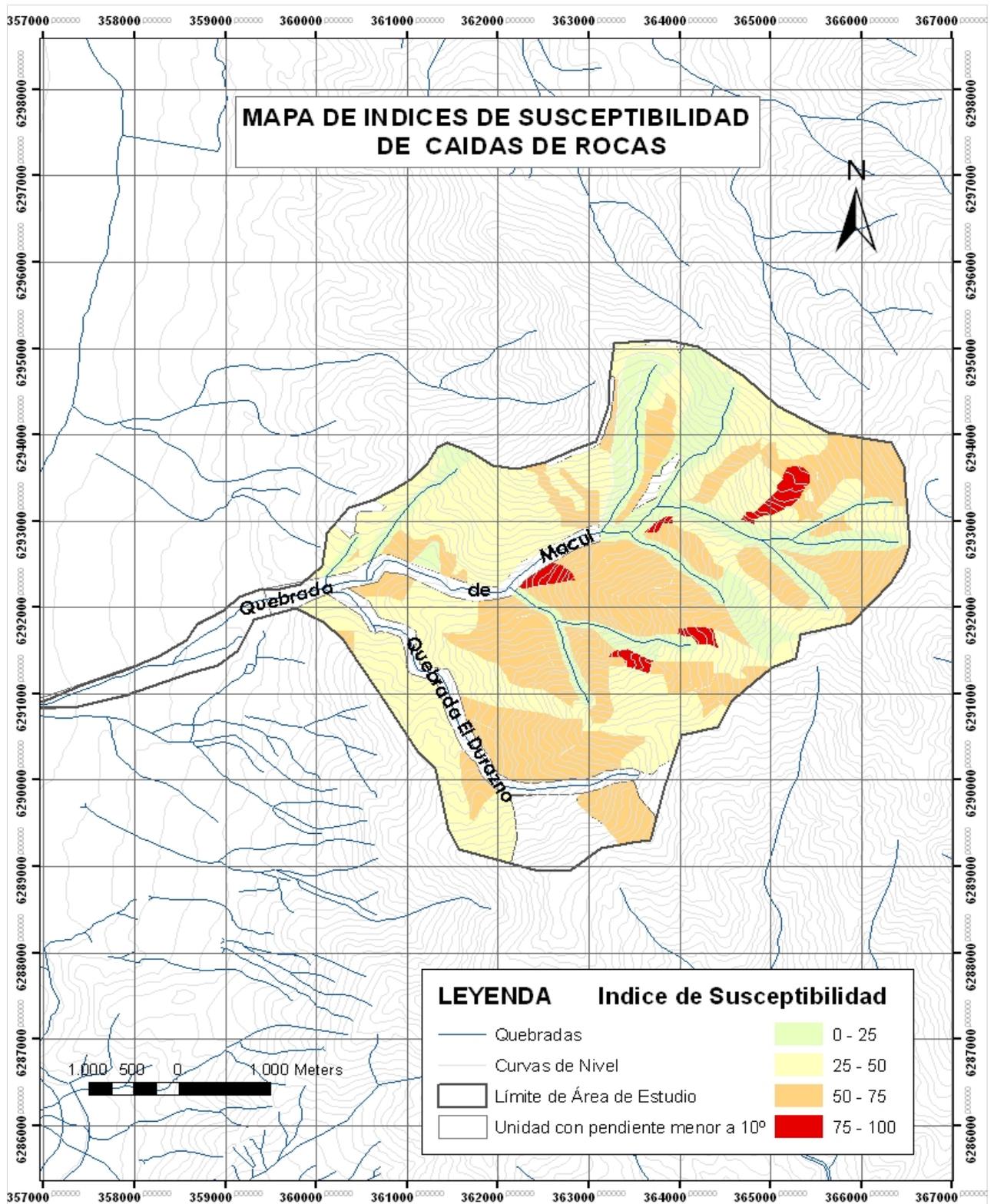


Figura 5.5: Mapa de los IS de Caídas de Rocas

6.- DISCUSIONES

En los mapas de Índices de Susceptibilidad (IS) se conjugan la litología, las orientaciones de las laderas y las pendientes mayores a 30°, entre otras para definir zonas en las cuales potencialmente puede presentarse algún tipo de remoción en masa. La susceptibilidad a remociones, sólo identifica áreas donde potencialmente se pueden generar remociones en masa.

Si se contrastan los mapas de Flujos de Detritos y Deslizamientos de Suelos, con los de Deslizamientos de Rocas y Caídas de Rocas, se observa una importante diferencia en el área que cubren las unidades con $IS < 25$. En los mapas asociados a remociones en masa de material tipo roca, el área con un $IS < 25$, es mucho menor que en aquellos de material tipo suelo. Esto es básicamente porque en la zona de estudio la proporción del área formada por roca es muy superior a la formada por suelo, entonces los valores de los IS para las remociones de tipo flujo y deslizamiento de suelo, en cada unidad serán en su mayoría 0, valor que cae en el rango 0-25.

En las partes altas, entre los afluentes a la quebrada principal, se tiene principalmente como litología, la Formación Abanico. Las pendientes que predominan se encuentran en el rango 30° a 45° y la orientación de las laderas son principalmente hacia el S, es decir laderas con menor exposición al sol. Estas laderas se presentan con suelos siempre húmedos y abundante vegetación, lo que podría significar que tienen mayor estabilidad, debido a que las raíces de arbustos y árboles, no muy altos, generan firmeza en el suelo. Las mayores alturas de la vegetación se encuentran en la ribera del río, no en sus laderas.

Las laderas cuya orientación es al E comparten el dominio en la zona con las laderas orientadas al S, siguiéndole en cobertura aquellas expuestas al W. Ambas situaciones, donde las laderas están expuestas al este o al oeste, indican una exposición al sol parcial, es decir, presentan suelos con menor humedad, lo que implica presencia de vegetación moderada. Esto permite inferir que la estabilidad en estas laderas es mediana. En cambio en laderas con suelos más áridos, por su alta exposición al sol, la estabilidad es mucho menor, debido a la escasa o nula presencia de vegetación. Esto se presenta en las laderas con orientación al norte, que como se observa en el mapa, tienen una escasa presencia en la zona de estudio.

Al revisar los factores condicionantes con su ponderación máxima para cada tipo de remoción (Anexo A), se observa que la exposición al sol no tiene incidencia en las remociones para material de tipo roca, y en los deslizamientos de suelo y flujos, su máxima ponderación alcanzará un 5%. De esto se concluye que, aunque en general, para efectos de estabilidad la presencia de vegetación es un factor importante, el peso que tiene la exposición al sol de las laderas en la metodología de Lara, es menor y solo influye en las remociones cuyo material es suelo.

En lo referente a las pendientes, se observa en el DEM de pendientes (Fig. 4.6) que son aquellas entre los 10° y los 45° las que dominan en la zona de estudio. Escasamente se ven algunas zonas con pendientes entre 45° y 60°, y laderas con pendientes superiores no se presentan.

En las remociones tipo flujos, en cuanto a ponderación, las pendientes son secundarias, pudiendo pesar hasta un 15%. En cambio para deslizamientos de suelos, según la tabla 3.2, se observa que es el principal factor condicionante. Sin embargo, aunque hay una clara predominancia de pendientes entre los 30° y 45°, el área donde son susceptibles de ocurrir este tipo de eventos es pequeño. Esto debido a que la razón suelo/roca es muy baja.

En deslizamientos y caídas de rocas, la pendiente es un factor condicionante muy importante, (Tablas 3.3 y 3.4) y la razón roca/suelo es muy alta. Conjugando estos factores, se infiere que probablemente la zona de estudio tendrá amplias áreas con una alta susceptibilidad de ocurrencia de estos tipos de remociones.

De los mapas de IS, se observa que las más altas susceptibilidades y las mayores áreas con $IS > 50$ son las remociones asociadas a rocas: caídas y deslizamientos de rocas, En terreno, aunque se ven pocos afloramientos de roca, se encuentra en el cauce y en la ribera del río, abundancia de bloques, lo que puede interpretarse como evidencia de frecuentes caídas de rocas.

En terreno se encontraron depósitos de remoción en masa, morfologías de deslizamientos, que por su tamaño no son todos mapeables (Fig. 4.4), que corresponden a lo esperado según los mapas de susceptibilidades de deslizamientos de suelos. Aquellas remociones que aparecen

en el mapa geológico, corresponden a unidades con altos índices de susceptibilidad a que éstas ocurran.

Aún cuando la mayoría de los registros de remociones en masa que se tienen del sector son flujos de detritos y barro, la información obtenida de los análisis y de las evidencias encontradas en la alta cordillera, sugieren que son las caídas de rocas las remociones más recurrentes.

Debido a la aplicación de la metodología de Lara (2007), se obtienen resultados que respaldan lo encontrado en terreno. Altas susceptibilidades de ocurrencia de remociones, en áreas donde existen evidencias de que éstas remociones han ocurrido, antigua y recientemente.

Por lo tanto, considerando la información obtenida en terreno y los resultados de los análisis de susceptibilidades, se puede afirmar que la metodología elaborada por Lara (2007), es válida en esta zona.

7.- CONCLUSIONES

- La información recopilada en gabinete y la recolectada en terreno, proporcionan la geología de la Quebrada de Macul, la que consiste principalmente en unidades de roca, con la Formación Abanico (compuesta por rocas volcánicas) y en unidades de suelo, compuesta por depósitos aluviales, aluvionales, fluviales, coluviales, abanicos aluviales, antiguos y recientes, depósitos de remociones en masa, escombros de falda y suelos residuales. Estructuralmente, la zona se ve afectada por la Falla San Ramón, de movimiento inverso, como la mayor estructura.
- La caracterización geotécnica de suelos y macizos rocosos se vio limitada por la imposibilidad de acceder a los puntos adecuados para muestreo. Solo se obtuvo resultados parciales de suelo y se adoptó la caracterización geotécnica de rocas de la Formación Abanico, de la Quebrada San Ramón.
- Para la evaluación de la susceptibilidad de remociones en masa, se definieron 137 unidades geomorfológicas, calculándose para cada una de ellas un Índice de Susceptibilidad (IS). Este índice se calcula para la generación de un mapa de IS de remoción en masa en el área de estudio, para cada tipo de remoción estudiada. Las áreas consideradas susceptibles son aquellas con un $IS > 50$. La clasificación de las unidades geomorfológicas se basa en la geología, pendientes y orientación de laderas.
- Predominan en la zona de estudio las áreas que abarcan las unidades de roca, es por eso que los $IS < 25$ en las remociones en masa, como flujos y deslizamiento de suelos, se encuentran en la mayoría de las unidades.
- En los mapas de susceptibilidad de flujos y de deslizamiento de suelos, las más altas susceptibilidades se encuentran en la parte más alta de la quebrada de Macul. Y escasas unidades en el lado sur del cauce principal.
- En el mapa de susceptibilidad de deslizamientos de rocas las más altas susceptibilidades se encuentran mayoritariamente al sur del cauce principal, en la zona central del área de estudio.

- En el mapa de Índice de Susceptibilidad (IS) de caídas de rocas, se encuentran las más altas susceptibilidades y la más alta cantidad de unidades con $IS > 50$. Estas unidades se distribuyen en la zona de estudio de una forma relativamente homogénea. De oriente a poniente, predominando al sur del cauce principal, pero con presencia también en el lado norte de este cauce.
- Aún cuando la mayoría de los registros de remociones en masa que se tienen del sector son flujos de detritos y barro, la información obtenida de los análisis y de las evidencias encontradas en la alta cordillera, sugieren que son las caídas de rocas las remociones más recurrentes. Por lo tanto, por la aplicación de la metodología de Lara (2007), se obtienen resultados que respaldan lo encontrado en terreno.

REFERENCIAS

- Aguirre, L., 1960. Geología de los Andes de Chile Central. Boletín No 9, Instituto de Investigaciones Geológicas, Santiago, 70 p.
- Barton, N., Lien, R. & Lunde, J., 1974. Engineering Classification of Rock masses for the Design of Tunnel Support. Oslo: Norwegian Geotechnical Institute.
- Bieniawski, Z.T., 1989. Engineering Rock Mass Classifications. New York: Wiley & Sons.
- Cruden, D., 1991. A simple definition of a Landslide. Bulletin of the International Association of Engineering Geology. No. 43, p. 27-29. 191
- Cruden, D., Varnes, D., 1996. Landslide types and processes. In Turner A.K. & Schuster R.L., 1996. Landslides: Investigation and Mitigation. Special Report 247. Transportation Research Board, National Research Council. National Academy Press, Washington D.C. 675 p.
- Ferrando, F., 2000 Mapa de Riesgo de Remociones en Masa para la Región Metropolitana de Santiago. Proyecto Bases para el Ordenamiento Territorial Ambientalmente Sustentable (OTAS). Inédito, escala 1:250.000.
- Ferrando, F., 2002. La Ciudad sin Urbanismo: Instalación Residencial junto a secciones Andinas Inestables, Dunas Activas, Bancos de Arena y Rodados Fluviales. Revista Electrónica No 5, Departamento de Urbanismo Facultad de Arquitectura, Universidad de Chile. 192
- Fock, A., 2005. Cronología y Tectónica de la exhumación en el Neógeno de Los Andes de Chile Central entre los 33o y 34o S. Memoria para optar al Título de Geólogo. Departamento de Geología, Universidad de Chile.
- Gana, P. and Wall, R., 1997. Evidencias geocronológicas $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ y K-Ar de un hiatus Cretácico Superior-Eoceno en Chile Central (33o-33o 30' S). Revista Geológica de Chile, Vol. 24, No 2, p. 145-163.
- García, V., 2000. Fenómenos de remociones en masa asociados a la ocurrencia de anomalías atmosféricas, Santiago Oriente. Memoria para optar al Título de Geólogo, Departamento de Geología, Universidad de Chile.

Garreaud, R., 1993. Comportamiento atmosférico asociado a grandes crecidas hidrológicas en Chile central. Tesis para optar al título de Magíster en Ciencias Atmosféricas. Departamento de Geofísica, Universidad de Chile, 133 pp.

Garreaud, R. y Rutlant, J., 1996. Análisis meteorológico de los aluviones de Antofagasta y Santiago de Chile en el periodo 1991-1993. *Atmósfera*, 9, p. 2251-271

Garrido, X., 1987. Riesgos Naturales en el Sector Santiago Oriente, Región Metropolitana. Informe Inédito. Servicio Universitario Mundial (W.U.S.). 43 p. 193

Google Earth, 2007. Base mundial online de registros de fotografías aéreas. <http://earth.googlepages.com>

González de Vallejo, L., 2002. Ingeniería Geológica. Editorial Prentice Hall. 715 p.

Hauser, A., 1985. Flujos de barro en la zona preandina de la Región Metropolitana: Características, causas, efectos, riesgos y medidas preventivas. *Revista Geológica de Chile* No. 24, p. 75-92.

Hauser, A., 1993. Remociones en masa en Chile. Servicio Nacional de Geología y Minería, Santiago. *Boletín* No. 45, p. 7-29.

Hauser, A., 1995. Estudio de riesgos geológicos en sector de Lo Valdés, comuna de San José de Maipo, Región Metropolitana. SERNAGEOMIN, Santiago.

Hauser, A., 1997. Los aluviones del 18 de junio de 1991 en Antofagasta: Un análisis crítico a cinco años del desastre. *Boletín* No 49. Servicio Nacional de Geología y Minería.

Naranjo, J.A. & Varela, J., 1996. Flujos de detritos y barro que afectaron el sector oriente de Santiago el 3 de mayo de 1993. Servicio Nacional de Geología y Minería, *Boletín* No.47.

Padilla, C., 2006. Análisis de factores meteorológicos desencadenantes de remociones en masa en el sector oriente de Santiago. Memoria para optar al Título de Geólogo, Departamento de Geología, Universidad de Chile.

Rauld, R., 2002. Análisis morfoestructural del frente cordillerano de Santiago Oriente, entre el río Mapocho y la quebrada de Macul. Memoria para optar al Título de Geólogo. Departamento de Geología, Universidad de Chile.

Rivano, S., Godoy, E., Vergara, M., Villarroel, R., 1990. Redefinición de la Formación Farellones en la Cordillera de los Andes de Chile Central (32°-34° S). Revista Geológica de Chile, Vol. 17, N° 2, p. 205-214.

Rocscience Inc., 2002. Programas computacionales Roclab, Rocfall, Slide, Swedge, Rocplane.

Sepúlveda, S.A., 1998. Metodología para Evaluar el Peligro de Flujos de Detritos en Ambientes Montañosos: Aplicación en la Quebrada Lo Cañas, Región Metropolitana. 2000. Memoria para optar al Título de Geólogo, Departamento de Geología, Universidad de Chile.

Sepúlveda, S.A., Rebolledo, S., 2000. Evaluación del Peligro de Flujos de Detritos en la Quebrada Lo Cañas, Región Metropolitana. Actas IX Congreso Geológico Chileno, vol. 1, p. 116-120.

Thiele, R., 1980. Geología de la Hoja de Santiago, Región Metropolitana. Carta Geológica de Chile No. 39. Instituto de Investigaciones Geológicas. 1 mapa. 51 p.

Vergara y Drake, 1979. Evidencias de periodicidad en el volcanismo cenozoico de Los Andes Centrales. Actas Primer Congreso Geológico Chileno. p. F153-F161.

Wall, R.; Sellés, D.; Gana, P. 1999. Area Tiltil-Santiago, Región Metropolitana. *Servicio Nacional de Geología y Minería, Mapas Geológicos*, No. 11

ANEXOS

A.- METODOLOGÍA (Lara, 2007)

En gabinete

La metodología en gabinete se puede dividir en 2 partes.

- a. Debe tenerse presente que esta fase corresponde a una etapa de trabajo en gabinete, donde la información recopilada será posteriormente completada y corroborada en la etapa de trabajo en terreno. Los principales puntos a considerar son la definición de la escala del trabajo, que podrá posteriormente ser modificada de acuerdo al nivel de detalle del trabajo que se vaya realizando, la delimitación geográfica del sector a estudiar, deben descartarse las zonas de baja pendiente, irrelevantes para la generación de las remociones en masa que se evaluarán. En esta fase se recopilarán todos los antecedentes históricos posibles.
 - ✓ Los tipos de eventos ocurridos en la zona junto al volumen de material que involucraron, el área que afectaron y el o los agentes que lo gatillaron.
 - ✓ Información geológica de la roca, su litología, alteración, estructuras, delimitación de las unidades rocosas, así como el tipo de suelo y sus unidades delimitadas.
 - ✓ Información geotécnica de roca: estructuras, resistencia del macizo rocoso, y de suelo: granulometría, permeabilidad.
 - ✓ Información sobre los tipos de unidades geomorfológicas, mapas de pendientes, drenajes, orientación de laderas, hoya hidrográfica.
 - ✓ Información de hidrología e hidrogeología. Cauces, caudales, nivel freático.
 - ✓ Información sobre la vegetación presente en el área, su distribución, densidad, variación estacional.
 - ✓ Información sobre la actividad Antrópica. Identificación de obras, excavaciones, urbanizaciones, actividad minera.
 - ✓ Datos históricos sísmicos. Los tipos de sismos, registros de magnitud, intensidad, peligro sísmico.
 - ✓ Clima. Datos sobre las precipitaciones, los tipos, distribución. La ubicación y variaciones de la isoterma 0°. Temperaturas. Máximas y mínimas, y las curvas de frecuencias de T° v/s precipitación.
 - ✓ Información de los factores gatillantes de estos eventos como las precipitaciones, sismos.

b. Esta etapa, que se desarrolla luego de haber realizado la primera parte del trabajo de terreno, tiene dos puntos principales:

- ✓ División de la zona de estudio en unidades geomorfológicas.

Esta etapa consiste en dividir la zona de estudio en diferentes unidades según rasgos geomorfológicos y geológicos similares como son la orientación de la ladera (aspecto), la pendiente, litología y tipos de depósitos. Bajo este punto, quiebres de pendiente muy fuerte y cambios bruscos en el aspecto son factores para definir una nueva unidad; de esta manera cada una de ellas quedará definida por un aspecto y pendiente promedio. Si bien la cantidad de unidades a definir dependen del tamaño del área de estudio, no se recomienda definir más de unas 150 unidades, de manera que la continuación del estudio sea práctico y eficiente. En este estudio las unidades definidas fueron 137.

- ✓ Evaluación de la susceptibilidad a remociones en masa. El resultado de esta fase es un mapa de susceptibilidad para cada uno de los tipos de remociones en masa estudiadas, en este caso un mapa para deslizamiento de roca, uno para deslizamiento de suelo, uno para caída de roca y uno para flujo, cada uno de ellos con un Índice de Susceptibilidad (IS) comparable que varía entre 0% y 100%. Serán las unidades con un $IS \geq 50$ las que se consideraran para estudios posteriores.

Habiendo dividido la zona de estudio en las diversas unidades, se procede a evaluar la susceptibilidad a generación de remociones en masa mediante el cálculo de un Índice de Susceptibilidad (IS). Este índice se calcula para cada unidad definida y se basa en la suma de los puntajes ponderados para cada uno de los factores condicionantes de remociones en masa. Como la incidencia de los factores condicionantes varía según el tipo de remoción en masa, el cálculo del IS se realizará por separado. De esta manera, cada unidad tendrá un IS asociado a deslizamientos, a flujos y a caídas de manera independiente.

Las unidades con $IS \geq 50$ se considerarán como susceptibles y se seleccionarán para análisis específicos posteriores. Cada tipo de remoción considera factores con diferentes porcentajes de importancia y para cada factor además, según sus especificaciones, se asigna un peso numérico, los que sumados darán el valor IS de cada tipo de remoción para cada unidad. Se

tienen 137 unidades geomorfológicas diferentes, y para cada una de estas unidades en cada tipo de remoción se tiene un valor IS.

A continuación se presentan las tablas que se usaron para el cálculo del IS para cada tipo de remoción.

Tabla A.1 Ponderaciones y factores condicionantes de Flujos.

FACTOR	ESPECIFICACIONES	RANGO	%
Pendientes de laderas f_1	Promedio de la unidad	10° -15°	3%
		15° -20°	6%
		20° -25°	9%
		25° -30°	11%
		30° -40°	13%
		> 40°	15%
Pendiente canal de drenaje al pie de la ladera f_2	Promedio de la unidad. Si la unidad es solo canal de drenaje el puntaje f_2 se asocia a f_1 , quedando solo como un puntaje otorgado por "pendiente del canal".	< 5°	1%
		5° - 10°	5%
		> 10°	10%
Encajamiento canal de drenaje f_3	Dado por la geomorfología y la relación profundidad /ancho del canal. Un encajamiento alto puede reflejarse, entre otros, en un valor alto de esta razón. Un ejemplo sería un valor mayor a 0.7	alto	7%
		medio	4%
		bajo	1%
Exposición al sol f_4	Para el caso de Chile Central, Alta exposición son laderas mirando al N, Parcial son laderas mirando al E-W, Baja son laderas mirando al S.	alta	3%
		parcial	2%
		baja	0%
Características geológicas-geotécnicas del material f_5	La generación de flujos se ve favorecida entre otros, por suelos de baja compacidad, permeabilidad y espesores críticos de suelo, presencia de estructuras y presencia de finos. En roca, alta meteorización y frecuencia de fracturas(valores bajos de GSI a nivel de ladera), litología(rocas menos resistentes) y alteraciones.	muy favorable	25%
		favorable	18%
		medianamente favorable	13%
		poco favorable	8%
		muy poco favorable	3%
Condiciones de humedad y saturación f_6	Considerar 1. Capacidad de saturación por abajo(profundidad del nivel freático< 2m es muy favorable para generación de flujos, >2m poco favorable, ~2m favorable) y por arriba(infiltración por precipitación), 2. Capacidad de almacenaje de agua en la estructura de suelo. 3. Variaciones estacionales de humedad. Mayor almacenaje y humedad alta favorecen la generación de flujos.	muy favorable	10%
		favorable	7%
		poco favorable	3%
		sin antecedentes	2%

Continuación tabla

FACTOR	ESPECIFICACIONES	RANGO	%
Acumulación de nieve f_7	Según estacionalidad	siempre	5%
		estacional	2%
		esporádica	1%
		nula	0%
Cobertura vegetal f_8	Densidad en la ladera	nula a baja	5%
		moderada	3%
		alta	0%
Obstrucción de canal de drenaje f_9	No considera estructuras destinadas a contener los flujos.	importante	5%
		moderada	4%
		baja	2%
		no observado	0%
Desestabilización artificial de laderas f_{10}	Por ejemplo cortes artificiales en laderas, construcción de terraplenes, etc.	importante	5%
		poco importante	3%
		no observado	0%
Aluviones declarados en la hoya hidrográfica f_{11}	Información escrita y/u observación de depósitos de flujos en la zona de estudio. Considerar como eventos frecuentes aquellos con recurrencia ≤ 10 años.	históricos frecuentes	10%
		históricos poco frecuentes	7%
		prehistóricos	4%
		sin antecedentes	1%
Tipo de material f_{12}	En este caso el material roca no esta en estudio, por lo tanto pondera por 0 al resto de los factores.	suelo	1
		roca	0

Tabla A.2 Ponderación de factores condicionantes de deslizamiento de suelo:

FACTOR	ESPECIFICACIONES	RANGO	%
Pendientes de laderas f_1	Promedio de la unidad	15°-20°	9
		20°-25°	15
		25°-30°	21
		30°-40°	26
		> 40°	30
Exposición al sol f_2	Para el caso de Chile Central, Alta exposición son laderas mirando al N, Parcial son laderas mirando al E-W, Baja son laderas mirando al S.	alta	5
		parcial	3
		baja	1
Características geológicas - geotécnicas del material f_3	Condiciones muy favorables para generación de deslizamiento son, entre otros, baja densidad (<1,6 a 1,8 kN/m ³), baja resistencia, alta cantidad de material fino en su composición (>50%) además de la estructura y estratificación del suelo. La generación de material removible a partir de roca se ve favorecido por alta meteorización y alteración.	muy favorable	20
		favorable	14
		medianamente favorable	10
		poco favorable	6
		muy poco favorable	2
Condiciones de humedad y saturación f_4	Considerar 1. Capacidad de saturación por abajo (profundidad del nivel freático) y por arriba (infiltración por precipitación), 2. Capacidad de almacenaje de agua en la estructura de suelo (asociada a presencia de niveles impermeables). Saturación y mayor almacenaje favorecen generación de deslizamientos. La relación (profundidad del N.F/ espesor del suelo) cercana a 0, indica condiciones muy favorables de generación. ~ 0.5 es favorable.	muy favorable	10
		favorable	7
		poco favorable	3
		sin antecedentes	2
		siempre	5
Acumulación de nieve f_5	Según estacionalidad	estacional	2
		esporádica	1
		nula	0
		nula a baja	5
Cobertura vegetal f_6	Densidad en la ladera	moderada	2
		alta	0
		importante	10
Desestabilización artificial de laderas f_7	Por ejemplo cortes artificiales en laderas, construcción de terraplenes, etc.	poco importante	5
		no observado	0
		presente	10
Deslizamientos declarados en la ladera f_8	Información escrita y/u observación de escarpes y superficies de deslizamiento.	sin antecedentes	3
		no observado	0
		presente	5
Deslizamientos declarados en la unidad de suelo f_9	Información escrita y/u observación de escarpes y superficies de deslizamiento.	sin antecedentes	2
		no observado	0
		presente	5
Tipo de material f_{10}	En este caso el material roca no esta en estudio, por lo tanto pondera por 0 al resto de los factores.	suelo	1
		roca	0

Tabla A.3 Ponderaciones de factores condicionantes de Deslizamiento de Rocas

FACTOR	ESPECIFICACIONES	RANGOS
Pendientes de laderas f_1	Promedio de la unidad	15°-20°
		20°-25°
		25°-30°
		30°-40°
		40°-60°
		> 60°
Características geológicas-geotécnicas del material f_2	Su generación se ve favorecida por alto grado de fracturamiento, alta meteorización y presencia de agua en el macizo. La orientación de fracturas permitirán identificar el tipo de deslizamiento: deslizamiento plano, cuña o toppling. Puede considerarse valores bajos de RMR (<30) -modificado según orientación de estructuras en laderas- como indicativo aproximado de condiciones muy favorables para generación de deslizamientos.	muy favorable
		favorable
		medianamente favorable
		poco favorable
		muy poco favorable
Acumulación de nieve f_3	Según estacionalidad	siempre
		estacional
		esporádica
		nula
Desestabilización artificial de laderas f_4	Por ejemplo cortes artificiales en laderas, construcción de terraplenes, etc.	importante
		poco importante
		no observado
Deslizamientos declarados en la ladera f_5	Información escrita y/u observación de escarpes y superficies de deslizamiento.	presente
		sin antecedentes
		no observado
Tipo de material f_6	En este caso el material suelo no está en estudio, por lo tanto pondera por 0 al resto de los factores. Suelos muy superficiales en unidades mapeadas como roca no se considera suelo.	suelo
		roca

Tabla A.4 Ponderaciones de factores condicionantes de Caídas de Rocas

FACTOR	ESPECIFICACIONES	RANGOS	%
Pendientes de laderas f_1	Promedio de la unidad	15°-20°	4%
		20°-25°	10%
		25°-30°	18%
		30°-40°	25%
		40°-60°	32%
	> 60°	35%	
Características geológicas-geotécnicas del material f_2	Será mas favorable a medida que presente estructuras subverticales en el macizo, alta frecuencia de fracturas y orientación de fracturas en el sentido de la ladera. Se consideran además los factores generadores de deslizamientos de roca.	muy favorable	35%
		favorable	24%
		medianamente favorable	15%
		poco favorable	9%
		muy poco favorable	3%
Acumulación de nieve f_3	Asociado a procesos de hielo/deshielo, que contribuyen en las caídas de roca debido a la generación de esfuerzos en tracción en la roca.	estacional	10%
		siempre	4%
		esporádica	2%
		nula	0%
Desestabilización artificial de laderas f_4	Por ejemplo cortes artificiales en laderas, construcción de terraplenes, etc.	importante	5%
		poco importante	3%
		no observado	0%
Caídas de roca declaradas en laderas f_5	Presencia de bloques caídos	presente	15%
		no observado	0%
Tipo de material f_6	En este caso el material suelo no esta en estudio, por lo tanto pondera por 0 al resto de los factores.	suelo	0
		roca	1

Debe tenerse en cuenta, que las zonas que geológicamente representan unidades de roca pero que presentan suelo superficial de espesor $\geq 1\text{m}$ -1.5m deberán tener siempre un $f_i=1$, pues podrían generar tanto deslizamientos superficiales de suelo como deslizamientos de roca y/o caídas de roca. Debe considerarse que el espesor de suelo señalado es sugerido ya que depende de la escala de trabajo.

De acuerdo a los valores asignados a cada factor, es que se obtiene el valor para cada IS, usando la tabla que corresponda según el tipo de remoción, para cada unidad.

Terreno

La metodología usada en terreno se puede dividir en 2 partes

1. Mapeo geológico básico (T1)

Para el mapeo geológico, se realiza una campaña de 5 días de terreno en la zona y se realiza un mapeo geológico básico, que incluye la litología de las unidades, su distribución espacial, la geología estructural, en el caso de roca, y en suelos incluye la descripción visual, la identificación de los tipos de depósitos, sus límites y espesores.

En lo referente a la geomorfología, esta incluye la delimitación y descripción de unidades tales como terrazas, abanicos, depósitos de remociones, escarpes, además de la caracterización del drenaje del área en estudio. Uno de los rasgos más relevantes a considerar corresponde a las pendientes de laderas en el área de estudio, sus alturas, exposición al sol y geometrías asociadas, las cuales se pueden obtener a partir de la generación en SIG¹ de un modelo de elevación digital (DEM).

En el mapeo geotécnico de las unidades se caracteriza el macizo rocoso, usando planillas basadas en parámetros como el GSI, RMR, RQD que son parámetros para cuantificar la calidad y resistencia de la roca. En el terreno midiendo los sets de diaclasas en cada afloramiento donde fue posible acceder, su frecuencia, su rumbo y manto, la dureza y permeabilidad de la roca. Para la geotecnia en suelo, se utiliza la clasificación USCS (Sistema Unificado de Clasificación de Suelos), plasticidad, densidad, compacidad, permeabilidad y humedad. La clasificación granulométrica corresponde a la distribución en tamaño de las partículas que componen el suelo, de acuerdo a los rangos de tamaños dados por la USCS, con porcentajes en peso aproximados de cada tamaño. En tanto, para estimaciones relativas de la plasticidad existe una serie de ensayos a realizar en terreno sobre la fracción fina del suelo y que permiten caracterizar el suelo como limo o arcilla, donde los suelos limosos corresponden a suelos de baja plasticidad y las arcillas a suelos de alta plasticidad. Por otro lado, la permeabilidad está asociada principalmente a la mayor o menor proporción de finos que tenga el suelo y a su distribución granulométrica, así mientras menos cantidad de finos tenga el suelo y/o mejor seleccionado sea más permeable será. Será en el laboratorio donde se podrá determinar exactamente el porcentaje de finos presentes en el suelo y así definir el tipo de suelo, si corresponden los análisis de

plasticidad, y la permeabilidad. También allí se podrá calcular la densidad y la humedad del suelo.

La compacidad del suelo se refiere a la consistencia que éste presente en terreno, siendo mayor en tanto más compacto se observe y en tanto sea capaz de generar laderas empinadas sin desmoronarse con facilidad. Para la hidrología, este terreno se enfocó básicamente en la identificación de los cauces y quebradas que se encuentran en el área. Además es importante incluir en el trabajo de terreno, información de la vegetación presente en la zona. Caracterizar la clase de vegetación presente, distribución, alturas promedios, densidad.

Para las partes más altas de la quebrada, se realiza una visita a caballo por el día. En esta se recolectan datos de rumbo/manteo de diaclasas en afloramientos de roca y datos para la confección del mapa y se eligen las zonas para poder tomar las muestras posteriormente. Deben ser sectores de fácil acceso, dado que para realizar los ensayos necesarios el muestreo corresponde a colpas de roca y sacos de suelo que deben ser transportados en caballos o vehículos motorizados. Para los ensayos en suelo, se debe contar con aproximadamente 10 a 15 Kg., de material, y para realizar los ensayos en roca, se requiere al menos 5 colpas de roca de 20 x 20 x 20 de cada punto de muestreo. En terreno, se encontraron afloramientos de roca, pero de imposible acceso para vehículo, por lo que no fue posible obtener muestra de roca para realizar el triaxial o uniaxial de tres puntos. Solo se consigue muestra para la descripción litológica y la toma de datos de los sets de diaclasas presentes en cada afloramiento del macizo rocoso encontrado. Para suelo, el acceso para el muestreo permitió sin problemas obtener los 11 Kg. de material, que serían llevados al laboratorio para la realización de los ensayos necesarios.

2. Toma de muestras en terreno (T2)

Esta etapa consta de dos actividades principales:

- a. El muestreo de material, tanto roca como suelo. La selección de las zonas de muestreo deben satisfacer la condición de que exista material suficiente para ser recolectado, dependiendo de los ensayos que se desean realizar, debe ser una zona de fácil acceso, ya que el muestreo corresponde a colpas de roca y sacos de suelo que deben ser transportados en caballos o vehículos motorizados, y deben corresponder a zonas que sean representativas de las unidades de las cuales se desea obtener datos ya que no siempre se podrá acceder a aquellas zonas

catalogadas como críticas. La determinación de la densidad puede realizarse en terreno mediante el método del cono de arena. Sin embargo, este método requiere de balanzas para pesar el suelo que no suelen llevarse a terreno y por lo tanto involucra la realización de un muestreo de material para llevar a laboratorio. Este mismo material podrá ser utilizado para determinar la humedad del suelo en terreno mediante diferencias de peso, por lo cual se debe tener un extremo cuidado en el sellado del material de manera de no perder dicha humedad en el proceso de traslado. Si bien la cantidad de material a extraer depende de los ensayos a realizar, en general es suficiente con 100 a 130 Kg. si se trata de suelo grueso (para corte directo y triaxial de tres puntos, granulometría y densidad) y 10 a 15 Kg. si se trata de suelo fino (para corte directo y triaxial de tres puntos, límites de Atterberg y densidad). En el caso de roca, un mínimo de 5 colpas de roca de 20x20x20 por cada punto de muestreo (para triaxial y/o uniaxial de tres puntos), esto considerando que las probetas pueden quebrarse a la hora de moldearlas para los ensayos. La obtención de estas muestras dado su peso y tamaño puede estar frecuentemente limitada a las facilidades de acceso disponibles.

- b. Mapeo estructural en detalle en laderas que lo requieran, por ejemplo aquéllas que claramente representan zonas de alta inestabilidad y donde exista una gran cantidad de sets estructurales que no se han podido definir de manera general anteriormente. Cabe notar que de estas etapas se obtendrán parámetros geotécnicos que buscan ser representativos de las unidades definidas. Además de esto, las zonas seleccionadas deben cumplir con la condición $IS \geq 50$.

Previamente se escogió la zona de donde se tomaría la muestra de suelo que será utilizada posteriormente en el laboratorio para realizar los análisis de densidad, granulometría y corte directo. Dependiendo del porcentaje de finos deberá realizarse también el ensayo de límite plástico.

Para determinar la densidad in situ del suelo, se debe tomar una muestra de éste.

Utilizando el cono de arena, se puede determinar el volumen del material. Con una balanza en el laboratorio se pesara y así se obtendrá la densidad.

Para esto se usa el equipo del cono de arena.

Este equipo consiste de un recipiente cilíndrico de metal que continúa hacia abajo con un doble cono (uno mirando hacia abajo y el otro hacia arriba) y, como equipo, va acompañado de una placa metálica con una abertura al centro circular de igual

diámetro que la base invertida del cono. Existe una válvula entre ambos conos, como se observa en la figura.

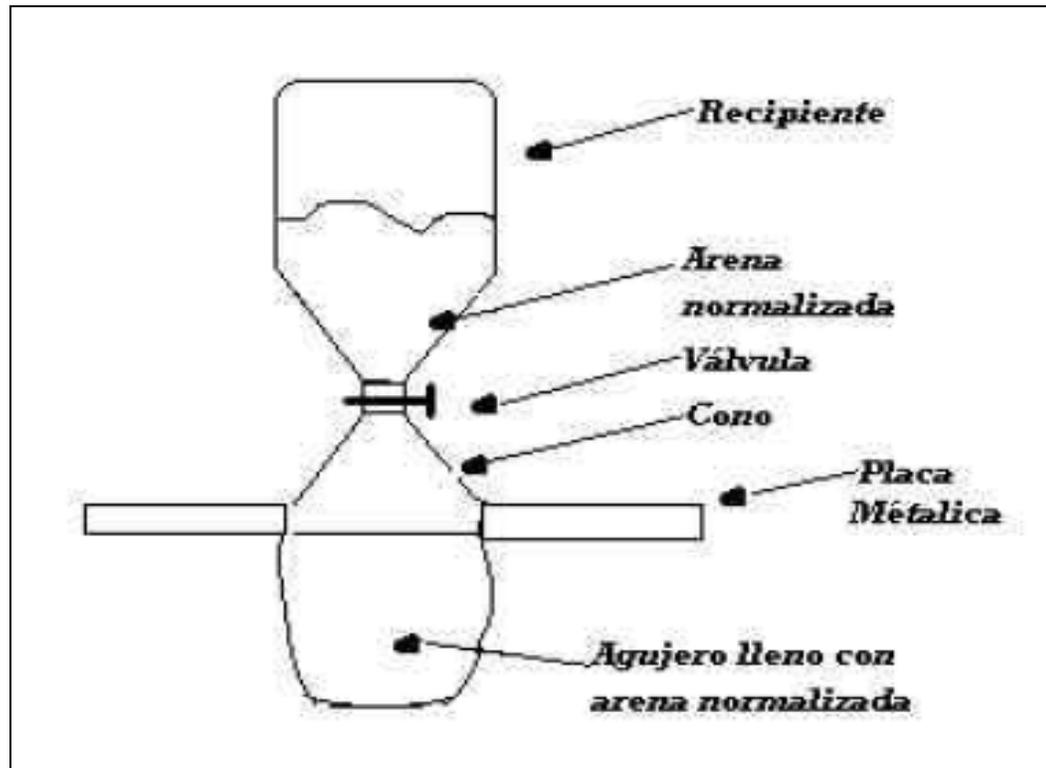


Figura A.1: Equipo del cono de arena

Procedimiento

En terreno, se excava un agujero de aproximadamente 24,5 cm. de profundidad en el suelo compactado que tiene el diámetro de la abertura circular de la placa, la que se coloca horizontalmente sobre la superficie. Esta placa, que tiene rebordes, permite asegurar que no se pierda material en el proceso de excavación. Antes de colocar la placa sobre el sitio a ensayar, es importante asegurar que la superficie de la zona de excavación se encuentre plana y lisa; excavar un agujero utilizando la placa de base y colocar cuidadosamente todo el suelo removido del agujero en bolsas, en este caso se usaron 2, asegurándose que no exista pérdida de material. Colocar el cono de arena lleno de arena (evitando que se encuentre al tope) sobre el agujero de la placa, verificando que la válvula se encuentre cerrada; abrir la válvula, y esperar que deje de caer; cerrar la válvula y guardar la arena retenida en el aparato del cono de arena en

la bolsa con la arena no utilizada; recuperar la arena del agujero guardándola en otra bolsa.

Como el peso de la arena que se lleva a terreno es conocido, 30 Kg., para determinar cuanto se utilizó, bastara con pesar la restante en el laboratorio.

Equipo necesario para realizar la toma de la muestra:

- Herramientas para excavar
- Arena normalizada
- Bolsas plásticas

Se escava levemente, para obtener una muestra que no esté expuesta al medio ambiente, erosionada o meteorizada. Se llenan 7 bolsas con material, y se trasladan al laboratorio para comenzar los análisis.

1. Muestra de roca

Las muestras obtenidas corresponden a dos tipos litológicos: A1: andesitas de grano medio moderadamente meteorizadas. A2: andesitas de grano fino levemente meteorizadas. Se realizaron ensayos triaxiales y uniaxiales con medición de strain axial en ambos grupos. Estos ensayos fueron encargados al Laboratorio de Geotecnia del Departamento de Ingeniería de Minas de la Universidad de Chile.

Los ensayos en roca muestran que la litología A2 es más resistente a la compresión que la litología A1, sin embargo el ángulo de roce interno en el último caso es mucho menor. Las propiedades de la roca intacta sólo se han obtenido para confinamientos bajos, ya que para presiones altas el comportamiento es controlado por microfracturas internas del material.

A escala de macizo rocoso, los valores de c y ϕ dependen de los valores de GSI en la zona de estudio, el cual varía en un rango de 50-70, con excepciones locales con valores de 35-40. Usando las variaciones de la cohesión y del ángulo de fricción del macizo rocoso mediante la aplicación del criterio de Hoek & Brown.

Laboratorio

El trabajo realizado en laboratorio se divide en 3 partes.

1. Cálculo de densidad

En el laboratorio, se pesa la arena sobrante de lo que se uso en el cono. También se pesa el material sacado in situ. La densidad del cono grande es desconocida, por lo que primero debemos determinarla. Para ello se mide 4 veces. Se pesa la arena en un envase, se pesa el envase y se calcula el volumen del envase. El volumen del envase se calcula llenándolo de agua, la que tiene densidad 1.0 (gr. / cm³). Se promedian las densidades y se obtiene la densidad de la arena.

Densidad del cono grande = 1.63 (gr. / cm³)

Conocida la densidad húmeda del cono, se puede determinar el volumen del hueco hecho con el cono como se observa.

$$\text{Volumen Hueco} = P1 - (P2 + P3) / \text{Densidad arena normalizada.}$$

Para determinar la densidad seca del suelo, es necesario conocer el contenido de humedad en este. Por ello es tan importante tomar los datos del suelo inmediatamente después de tomada la muestra. En este caso, luego de terminado el terreno donde se tomo la muestra de suelo, ella fue llevada al laboratorio de sólidos de la Facultad de Cs. Físicas y Matemáticas de la Universidad de Chile, para ser pesada y luego puesta a secar en el horno. Para determinar la densidad seca del suelo, es necesario conocer la densidad húmeda, el volumen, la humedad y el peso del suelo. Conocidos estos datos se aplican las siguientes formulas:

$$\gamma_t = P_s / \text{Volumen Hueco}$$

$$\gamma_d = \gamma_t (1 + \omega/100)$$

2. Granulometría

Con los 5 sacos de muestras tomados en terreno, se escogen aleatoriamente 2 de ellos y se mezclan. Se apartan los bloques mas grandes, se pesan y se toma la cuarta parte de ese material. El resto del material, que fue tamizado con malla 3" en terreno una vez mezclado, se cuartea. La $\frac{1}{4}$ parte separada se pesa y se separa en 11 muestras de 1000 gramos aproximadamente. Se tamiza en el laboratorio de sedimentología, en la máquina para tamizar pasando por 6 mallas. Se separa en el proceso todo el residuo que pasa por la malla 200. Con esto, se tiene el peso sobre y bajo la malla 3/8".

Como el contenido bajo malla 200 es inferior a 5% entonces no deben realizarse ensayos para determinar limite plástico/liquido. Solo se determina granulometría. Debido a que no existen todas las mallas necesarias en el laboratorio de sedimentología, en el laboratorio de sólidos se procede a tamizar el material sobre malla 3/8", en las mallas 2 1/2", 2", y 1/2". Estos valores deben tenerse para la curva granulométrica, ya que de ella se sacan los valores de los diámetros 10, 30 y 60 mm., para determinar los coeficientes C_u y C_c y así poder clasificar el tipo de suelo. No se tamizan los diámetros inferiores a 3/8", porque los que hay sirven para obtener la curva y los datos necesarios, para el cálculo de los coeficientes mencionados. Teniendo los valores del material retenido y sus respectivos diámetros, se utilizan los valores definidos para C_u y C_c para clasificar el suelo. Para hacer la clasificación es necesario determinar tres valores, el D_{10} , D_{30} y D_{60} , que corresponden a los diámetros de partículas para los que el 10%, 30% y 60 % del material tiene un tamaño menor y para determinarlos se utiliza la curva granulométrica obtenida a partir de los datos del diámetro del tamiz v/s el porcentaje de material que pasa por dicho tamiz.

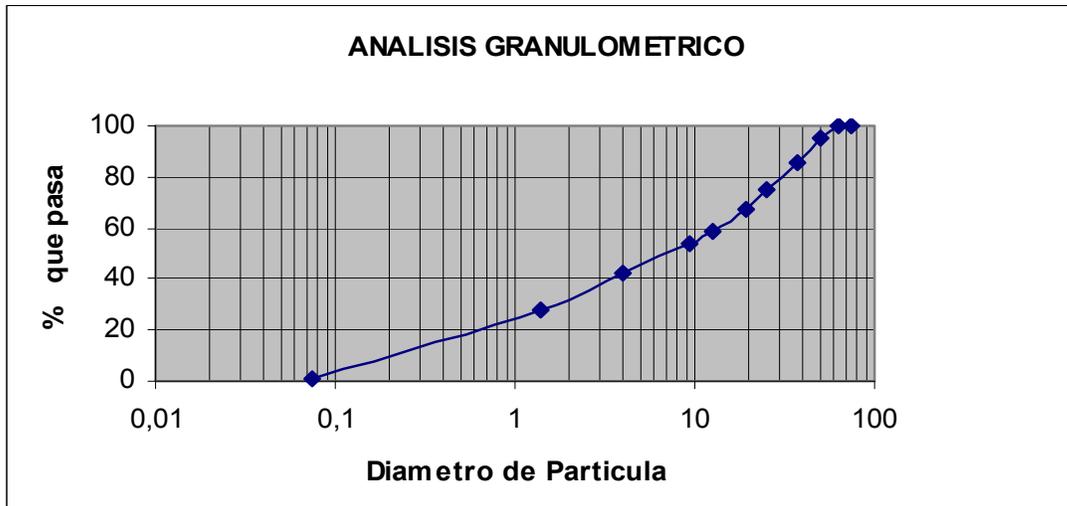


Gráfico A.1 .- Análisis granulométrico

Clasificación USCS
GW Grava bien
graduada

3. Corte Directo

Para el ensayo de corte directo, es necesario, conociendo la densidad del suelo y el volumen de la caja, determinar cuanto material se requiere en cada ensayo donde cada vez variará la tensión aplicada. En la caja el material se divide en 3 capas, por lo tanto en cada capa 9763, 2 grs. por capa. Sin embargo, al llenar la caja, se observa que no cabe. Se debe recalcular la densidad.

Cálculo de nueva densidad

Densidad en la caja

Se toma una cantidad de material y se llena la caja. Tenemos el volumen de la caja, y pesamos el material. Con estos datos se calcula una densidad. Queda muy compactado el suelo.

Densidad equivalente

1° Se mide el volumen de la cápsula.

2° Se mide el material 5 veces para promediar sus densidades.

3° El promedio será la densidad equivalente. En este caso **1.9 (gr/cm³)**

Se decide calcular un promedio entre ambas densidades, y será esta resultante la que se usara en los ensayos.

$$\gamma = 2.0 \text{ (gr./cm}^3\text{)}$$

Con esta nueva densidad calculada, se determina nuevamente la cantidad de material que debe usarse en la caja.

El ensayo de corte directo consiste en hacer deslizar una porción de suelo, respecto a otra a lo largo de un plano de falla predeterminado mediante la acción de una fuerza de corte horizontal incrementada, mientras se aplica una carga normal al plano de movimiento. Para ello se utiliza una maquina de corte directo, como la que muestra la figura A.2.

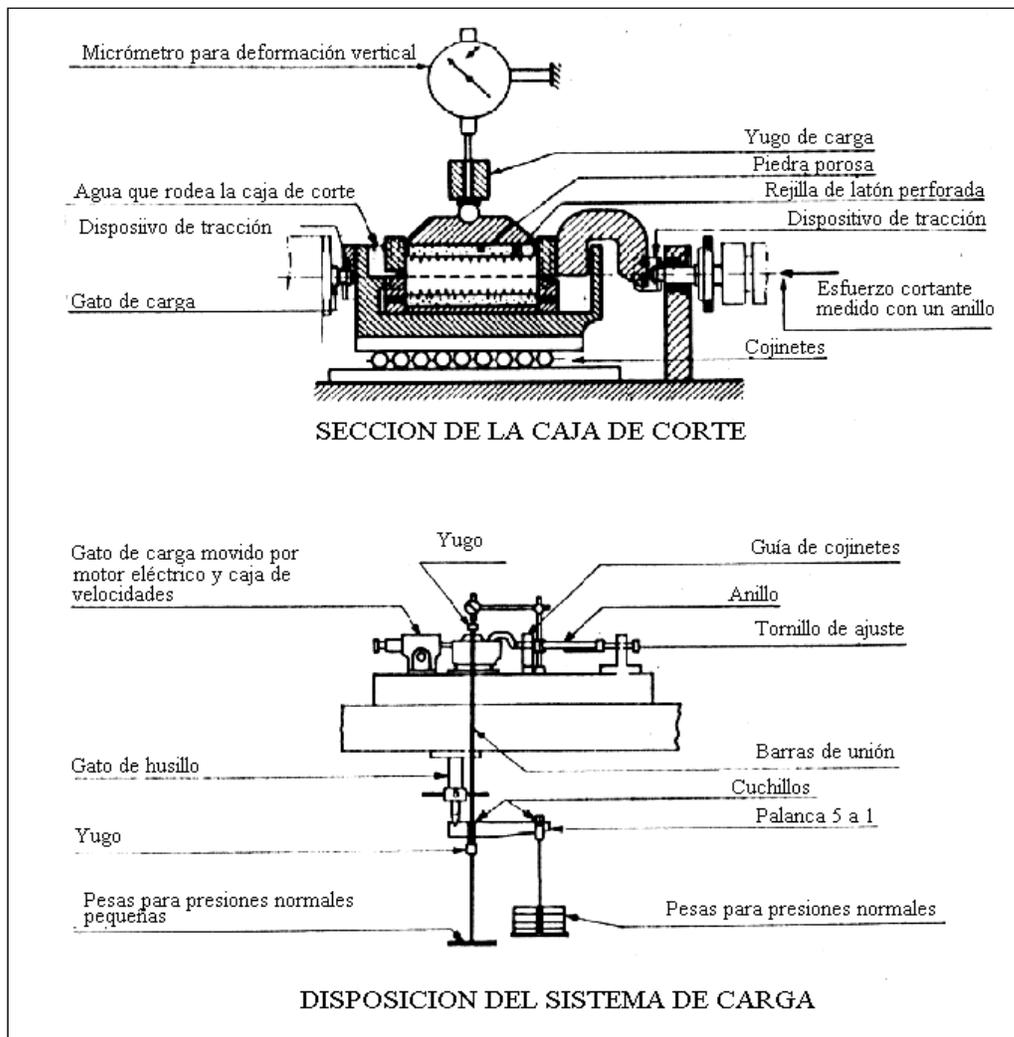


Fig. A.2. Diagrama de la máquina de corte directo

Procedimiento:

Del material total con el que se cuenta, se separan 24.208 grs., y se dividen en 3 partes iguales, en 3 fuentes. Luego se vacía cada fuente en la caja, se acomoda y se aplana sin presionar el material. Luego se vierten de igual forma las otras 2 fuentes. Así se deposita el material en 3 capas. Una vez que todo el material está en la caja, se satura con agua y se espera durante 10 minutos. Enseguida se consolida durante 15 minutos. Se aplica la carga normal deseada, en el primer caso será de 450 kgf. y una tensión normal de 0.5 Kg. /cm.². Al comenzar la carga horizontal, se toman lecturas del desplazamiento vertical, el que tiene precisión 0.01mm por división, cada vez que el horizontal se desplaza 10, 20 , 50 y 100 unidades en el tiempo. Con estas lecturas se completa la planilla y se obtiene una tabla que se utilizará para poder calcular el envolvente de falla y graficar las curvas de esfuerzo versus desplazamiento horizontal y las de desplazamiento vertical v/s desplazamiento horizontal, de cada una de las tensiones aplicadas.

Luego de tener los gráficos, debemos construir la envolvente de falla. Se tiene la curva de los esfuerzos máximos para cada tensión utilizada.

Dado que el suelo ensayado es un suelo grueso, con muy poco material fino, y de densidad media a baja, para obtener los parámetros de resistencia al corte se trazó la recta de mínimos cuadrados que pasa por cero. Para los valores máximos y residuales de las curvas trazadas en el gráfico Esfuerzo versus Desplazamiento horizontal. Finalmente se obtienen las siguientes propiedades geotecnicas

Clasificación del suelo (USCS)	GW
Densidad seca	2.0 (gr./cm ³)
Angulo de fricción	50,4°
Angulo de fricción residual	42,25°
Cohesión	0
Cohesión residual	0

B.- RESULTADOS DE GABINETE

El trabajo en gabinete genera un mapa geológico. Se trabaja con las tablas de ponderaciones de los factores involucrados para cada tipo de remoción. Estas tablas arrojan tablas con los valores de los IS, para cada unidad y esto para cada tipo de remoción.

El mapa de unidades geomorfológicas se dividió en sectores diferenciándolos en 11 zonas, de la A a la J, además de la zona Q, que representa los cauces. Estas zonas se diferencian por colores en el mapa que se presenta a continuación (Fig. B.1).

Los IS también son entregados por sectores. Finalmente con estos valores IS, se construyen los mapas de IS de remociones, mapas que se pueden observar en el capítulo 5. Todos los datos fueron previamente entregados, salvo las tablas de los IS.

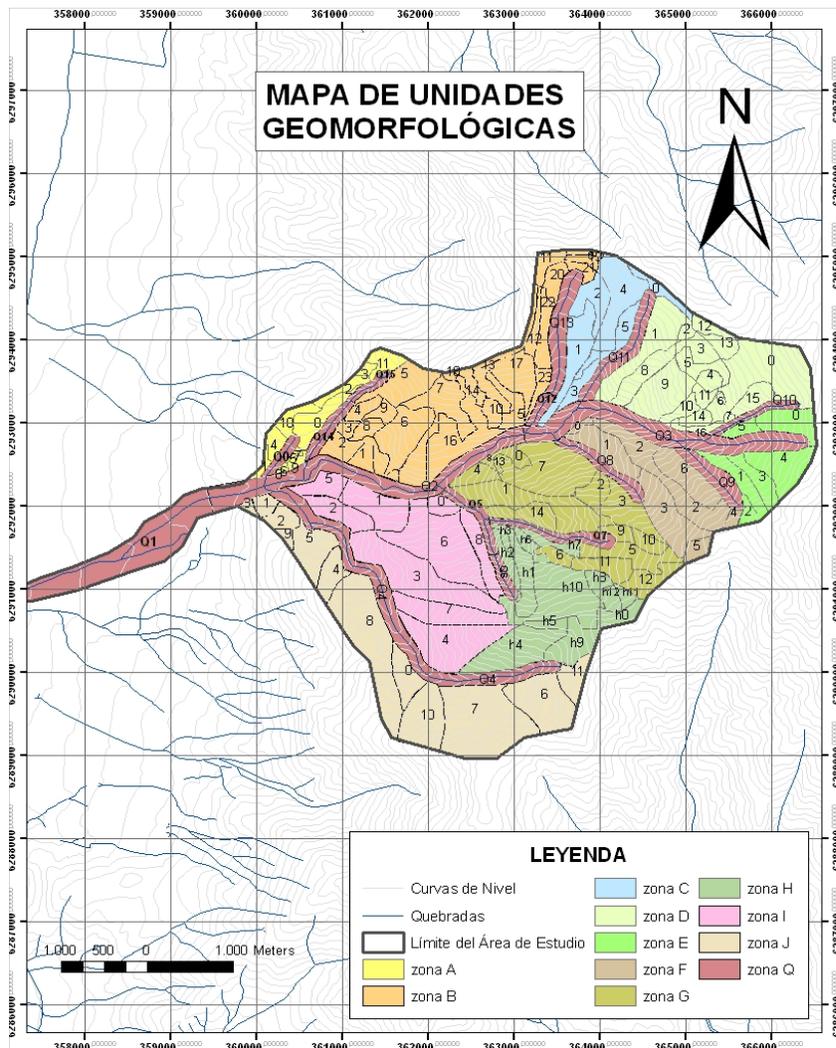


Fig. B.1 Mapa de Unidades Geomorfológicas separadas en sectores desde la A a la J y Q.

A continuación se muestran las tablas de los resultados de cada IS, para cada unidad, mostrándose por sectores al igual que en la figura B.

Tablas de los IS de Flujos.

Tabla B.1 IS Flujos para la zona A

OID	Field1	Pladera	Pcanal	encaja	aspecto	geogeo	humedad	nieve	vegetal	obstruye	desestart	aluviones	RxoSuelo	ISS
0	0	11	10	1	0	13	3	1	0	0	0	7	0	0
1	1	0	10	1	2	18	3	0	0	0	0	7	1	41
2	2	11	10	1	2	13	3	1	3	0	0	7	0	0
3	3	13	10	1	2	13	3	1	3	0	0	7	0	0
4	4	6	10	1	0	18	3	1	3	0	0	7	1	49
5	5	11	10	1	0	18	3	1	0	0	0	7	1	51
6	6	11	10	1	0	18	3	1	0	0	0	7	1	51
7	7	11	10	1	0	18	3	1	0	0	0	7	1	51
8	8	11	10	1	0	13	3	1	0	0	0	7	0	0
9	9	13	10	1	0	13	3	1	0	0	0	7	0	0
10	10	9	10	1	0	13	3	1	0	0	0	7	0	0
11	11	13	10	1	2	13	3	1	0	0	0	7	0	0

Tabla B.2 IS Flujos para la zona B

OID	Field1	Pladera	Pcanal	encaja	aspecto	geogeo	humedad	nieve	vegetal	obstruye	desestart	aluvion	RxoSuelo	ISS
0	0	0	10	1	3	13	3	1	3	0	0	7	0	0
1	1	9	1	1	0	18	3	1	0	0	0	7	1	40
2	2	13	10	1	2	13	3	1	0	0	0	7	1	50
3	3	13	10	1	2	13	3	1	3	0	0	7	0	0
4	4	11	10	1	2	13	3	1	3	0	0	7	0	0
5	5	13	10	1	2	13	3	1	3	0	0	7	0	0
6	6	13	10	1	2	13	3	1	3	0	0	7	0	0
7	7	13	1	1	0	13	3	1	3	0	0	7	0	0
8	8	11	1	1	0	13	3	1	3	0	0	7	0	0
9	9	13	1	1	0	13	3	1	3	0	0	7	0	0
10	10	13	1	1	0	18	3	1	3	0	0	7	1	47
11	11	13	10	1	0	13	3	1	3	0	0	7	0	0
12	12	15	10	1	2	13	3	1	3	0	0	7	0	0
13	13	0	10	1	3	13	3	1	3	0	0	7	0	0
14	14	15	1	1	0	13	3	1	3	0	0	7	0	0
15	15	13	1	1	0	13	3	1	3	0	0	7	0	0
16	16	13	1	1	0	13	3	1	3	0	0	7	0	0
17	17	13	1	1	0	13	3	1	3	0	0	7	0	0
18	18	9	10	1	3	13	3	1	3	0	0	7	0	0
19	19	13	10	1	0	13	3	1	3	0	0	7	0	0
20	20	9	10	1	0	18	3	1	3	0	0	7	1	52
21	21	9	10	1	0	18	3	1	3	0	0	7	1	52
22	22	11	10	1	2	18	3	1	3	0	0	7	1	56
23	23	13	10	1	0	18	3	1	3	0	0	7	1	56

Tabla B.3 IS Flujos para la zona C

OID	Field1	Pladera	Pcanal	encaja	aspecto	geogeo	humedad	nieve	vegetal	obstruye	desestart	aluvion	RxoSuelo	ISS
0	0	0	10	1	3	13	7	1	3	0	0	7	0	0
1	1	9	10	1	0	18	7	1	3	0	0	7	1	56
2	2	9	10	1	2	18	7	1	3	0	0	7	1	58
3	3	9	10	1	0	13	7	1	3	0	0	7	0	0
4	4	13	10	1	2	13	7	1	3	0	0	7	0	0
5	5	11	10	1	0	13	7	1	3	0	0	7	0	0

Tabla B.4 IS Flujos para la zona D

OID	Field1	Pladera	Pcanal	encaja	aspecto	geogeo	humedad	nieve	vegetal	obstruye	desestart	aluvion	RxoSuelo	ISS
0	0	130	10	1	2	13	7	2	5	0	0	7	0	0
1	1	13	10	1	2	13	7	2	5	0	0	7	0	0
2	2	11	10	1	2	18	7	2	5	0	0	7	1	63
3	3	11	10	1	0	18	7	2	5	0	0	7	1	61
4	4	9	10	1	0	18	7	2	5	0	0	7	1	59
5	5	9	10	1	2	18	7	2	5	0	0	7	1	61
6	6	13	10	1	2	18	7	2	5	0	0	7	1	65
7	7	13	10	1	0	18	7	2	5	0	0	7	1	63
8	8	15	10	1	0	13	7	2	5	0	0	7	0	0
9	9	15	10	1	2	13	7	2	5	0	0	7	0	0
10	10	15	10	1	0	13	7	2	5	0	0	7	0	0
11	11	9	10	1	0	13	7	2	5	0	0	7	0	0
12	12	9	10	1	2	13	7	2	5	0	0	7	0	0
13	13	13	10	1	2	13	7	2	5	0	0	7	0	0
14	14	11	10	1	2	13	7	2	5	0	0	7	0	0
15	15	13	10	1	0	13	7	2	5	0	0	7	0	0
16	16	13	10	1	0	13	7	2	5	0	0	7	0	0

Tabla B.5 IS Flujos para la zona E

OID	Field1	Pladera	Pcanal	encaja	aspecto	geogeo	humedad	nieve	vegetal	obstruye	desestart	aluvion	RxoSuelo	ISS
0	0	13	10	1	2	13	7	2	5	0	0	7	0	0
1	1	13	10	1	3	13	7	2	5	0	0	7	0	0
2	2	13	10	1	2	13	7	2	5	0	0	7	0	0
3	3	13	10	1	3	13	7	2	5	0	0	7	0	0
4	4	13	10	1	2	13	7	2	5	0	0	7	0	0
5	5	13	10	1	2	13	7	2	5	0	0	7	0	0

Tabla B.6 IS Flujos para la zona F

OID	Field1	Pladera	Pcanal	encaja	aspecto	geogeo	humedad	nieve	vegetal	obstruye	desestart	aluvion	RxoSuelo	ISS
0	0	15	10	1	2	13	7	2	5	0	0	7	0	0
1	1	13	10	1	2	13	7	2	5	0	0	7	0	0
2	2	13	10	1	3	13	7	2	5	0	0	7	0	0
3	3	13	10	1	2	13	7	2	5	0	0	7	0	0
4	4	0	10	1	3	13	7	2	5	0	0	7	0	0
5	5	6	10	1	2	13	7	2	5	0	0	7	0	0
6	6	13	10	1	3	13	7	2	5	0	0	7	0	0

Tabla B.7 IS Flujos para la zona G

OID	Field1	Pladera	Pcanal	encaja	aspecto	geogeo	humedad	nieve	vegetal	obstruye	desestart	aluvion	RxoSuelo	ISS
0	0	15	1	1	2	13	3	1	5	0	0	7	0	0
1	1	13	10	1	2	13	3	1	5	0	0	7	0	0
2	2	13	10	1	3	13	3	1	5	0	0	7	0	0
3	3	13	10	1	3	13	3	1	5	0	0	7	0	0
4	4	13	1	1	2	13	3	1	5	0	0	7	0	0
5	5	13	10	1	2	13	3	1	5	0	0	7	0	0
6	6	13	10	1	2	13	3	1	5	0	0	7	0	0
7	7	13	10	1	3	13	3	1	5	0	0	7	0	0
8	8	15	1	1	2	18	3	1	5	0	0	7	1	53
9	9	11	10	1	2	18	3	1	5	0	0	7	1	58
10	10	13	10	1	2	13	3	1	5	0	0	7	0	0
11	11	11	10	1	2	18	3	1	5	0	0	7	1	58
12	12	13	10	1	2	13	3	1	5	0	0	7	0	0
13	13	13	1	1	3	18	3	1	5	0	0	7	1	52
14	14	15	10	1	2	13	3	1	5	0	0	7	0	0

Tabla B.8 IS Flujos para la zona H

OID	Field1	Pladera	Pcanal	encaja	aspecto	geogeo	humedad	nieve	vegetal	obstruye	desestart	aluvion	RxoSuelo	ISS
0	0	9	10	1	3	13	3	1	5	0	0	7	0	0
1	1	13	10	1	3	13	3	1	5	0	0	7	0	0
2	2	15	10	1	2	13	3	1	5	0	0	7	0	0
3	3	15	10	1	3	13	3	1	5	0	0	7	0	0
4	4	13	10	1	0	13	3	1	5	0	0	7	0	0
5	5	0	10	1	3	13	3	1	5	0	0	7	0	0
6	6	15	10	1	2	13	3	1	5	0	0	7	0	0
7	7	13	10	1	3	13	3	1	5	0	0	7	0	0
8	8	11	10	1	2	13	3	1	5	0	0	7	1	53
9	9	11	10	1	2	13	3	1	5	0	0	7	0	0
10	10	13	10	1	3	13	3	1	5	0	0	7	0	0
11	11	9	10	1	3	13	3	1	5	0	0	7	0	0
12	12	11	10	1	2	13	3	1	5	0	0	7	0	0

Tabla B.9 IS Flujos para la zona I

OID	Field1	Pladera	Pcanal	encaja	aspecto	geogeo	humedad	nieve	vegetal	obstruye	desestart	aluvion	RxoSuelo	ISS
0	0	13	1	1	3	13	3	1	3	0	0	7	1	45
1	1	9	1	1	3	13	3	1	3	0	0	7	0	0
2	2	11	1	1	2	13	3	1	3	0	0	7	0	0
3	3	13	1	1	2	13	3	1	3	0	0	7	0	0
4	4	13	1	1	2	13	3	1	3	0	0	7	0	0
5	5	9	1	1	2	13	3	1	3	0	0	7	0	0
6	6	13	1	1	3	13	3	1	3	0	0	7	0	0
7	7	13	1	1	2	13	3	1	3	0	0	7	0	0
8	8	15	10	1	3	13	3	1	3	0	0	7	0	0

Tabla B.10 IS Flujos para la zona J

OID	Field1	Pladera	Pcanal	encaja	aspecto	geogeo	humedad	nieve	vegetal	obstruye	desestart	aluvion	RxoSuelo	ISS
0	0	11	1	1	3	13	3	1	3	0	0	7	0	0
1	1	11	1	1	3	13	3	0	3	0	0	7	1	42
2	2	11	1	1	3	13	3	1	3	0	0	7	1	43
3	3	13	1	1	3	13	3	0	3	0	0	7	0	0
4	4	9	1	1	2	13	3	1	3	0	0	7	0	0
5	5	9	1	1	3	13	3	1	3	0	0	7	0	0
6	6	13	1	1	2	13	3	1	3	0	0	7	0	0
7	7	13	1	1	3	13	3	1	3	0	0	7	0	0
8	8	11	1	1	3	13	3	1	3	0	0	7	0	0
9	9	0	1	1	3	13	3	1	3	0	0	7	0	0
10	10	13	1	1	3	13	3	1	3	0	0	7	0	0
11	11	0	1	1	2	13	3	1	3	0	0	7	0	0

Tabla B.11 IS Flujos para la zona Q

OID	Field1	Pladera	Pcanal	encaja	aspecto	geogeo	humedad	nieve	vegetal	obstruye	desestart	aluvion	RxoSuelo	ISS
0	0	10	10	1	0	13	3	1	0	0	0	7	1	45
1	1	5	5	1	2	13	3	0	3	0	0	7	1	39
2	2	1	1	1	3	18	3	1	0	4	0	7	1	39
3	3	10	10	1	3	18	7	2	5	4	0	7	1	67
4	4	1	1	1	3	13	3	1	0	0	0	7	1	30
5	5	10	10	1	3	13	3	1	3	0	0	7	1	51
6	6	10	10	1	3	13	3	1	5	0	0	7	1	53
7	7	10	10	1	2	13	3	1	5	0	0	7	1	52
8	8	10	10	1	3	13	7	2	5	0	0	7	1	58
9	9	10	10	1	3	13	7	2	5	0	0	7	1	58
10	10	10	10	1	0	13	7	2	5	0	0	7	1	55
11	11	10	10	1	0	13	3	2	3	0	0	7	1	49
12	12	10	10	1	0	18	7	1	3	0	0	7	1	57
13	13	10	10	1	0	18	7	1	5	0	0	7	1	59
14	14	10	10	1	0	13	3	1	0	0	0	7	1	45
15	15	10	10	1	0	13	3	1	0	0	0	7	1	45

Tablas de los IS de Deslizamiento de Suelos

Tabla B.12 IS Deslizamiento de Suelos para la zona A

OID	Field1	pendiente	aspecto	geogeo	humedad	nieve	vegetal	desestart	deslizU	deslizSu	RXoSuelo	ISS
0	0	21	1	10	3	1	0	0	0	0	0	0
1	1	0	3	14	3	0	0	0	0	0	0	20
2	2	21	3	10	3	1	2	0	0	0	0	0
3	3	26	3	10	3	1	2	0	0	0	0	0
4	4	9	1	14	3	1	2	0	0	0	1	30
5	5	21	1	14	3	1	0	0	0	0	1	40
6	6	21	1	14	3	1	0	0	0	0	1	40
7	7	21	1	14	3	1	0	0	0	0	1	40
8	8	21	1	10	3	1	0	0	0	0	0	0
9	9	26	1	10	3	1	0	0	0	0	0	0
10	10	15	1	10	3	1	0	0	0	0	0	0
11	11	26	3	10	3	1	0	0	0	0	0	0

Tabla B.13 IS Deslizamiento de Suelos para la zona B

OID	Field1	pendiente	aspecto	geogeo	humedad	nieve	vegetal	desestart	deslizU	deslizSu	RxoSuelo	ISS
0	0	0	5	10	3	1	2	0	0	0	0	0
1	1	15	0	14	3	1	0	0	0	0	0	33
2	2	26	3	10	3	1	0	0	0	0	0	43
3	3	26	3	10	3	1	2	0	0	0	0	0
4	4	21	3	10	3	1	2	0	0	0	0	0
5	5	26	3	10	3	1	2	0	0	0	0	0
6	6	26	3	10	3	1	2	0	0	0	0	0
7	7	26	1	10	3	1	2	0	0	0	0	0
8	8	21	1	10	3	1	2	0	0	0	0	0
9	9	26	1	10	3	1	2	0	0	0	0	0
10	10	26	1	14	3	1	2	0	0	0	0	47
11	11	26	1	10	3	1	2	0	0	0	0	0
12	12	30	3	10	3	1	2	0	0	0	0	0
13	13	0	5	10	3	1	2	0	0	0	0	0
14	14	30	1	10	3	1	2	0	0	0	0	0
15	15	26	1	10	3	1	2	0	0	0	0	0
16	16	26	1	10	3	1	2	0	0	0	0	0
17	17	26	1	10	3	1	2	0	0	0	0	0
18	18	15	5	10	3	1	0	0	0	0	0	0
19	19	26	1	10	3	1	2	0	0	0	0	0
20	20	15	1	14	3	1	2	0	10	5	1	51
21	21	15	1	14	3	1	2	0	10	5	1	51
22	22	21	3	14	3	1	2	0	10	5	1	59
23	23	26	1	14	3	1	2	0	10	5	1	62

Tabla B.14 IS Deslizamiento de Suelos para la zona C

OID	Field1	pendiente	aspecto	geogeo	humedad	nieve	vegetal	desestart	deslizU	deslizSu	RxoSuelo	ISS
0	0	0	5	10	7	1	2	0	0	0	0	0
1	1	15	1	14	7	1	2	0	10	5	1	55
2	2	15	3	14	7	1	2	0	10	5	1	57
3	3	15	1	10	7	1	2	0	0	0	0	0
4	4	26	3	10	7	1	2	0	0	0	0	0
5	5	21	1	10	7	1	2	0	0	0	0	0

Tabla B.15 IS Deslizamiento de Suelos para la zona D

OID	Field1	pendiente	aspecto	geogeo	humedad	nieve	vegetal	desestart	deslizU	deslizSu	RxoSuelo	ISS
0	0	0	26	3	10	7	2	5	0	0	0	0
1	1	1	26	3	10	7	2	5	0	0	0	0
2	2	2	21	3	14	7	2	5	0	0	0	1
3	3	3	21	1	14	7	2	5	0	0	0	1
4	4	4	15	1	14	7	2	5	0	0	0	1
5	5	5	15	3	14	7	2	5	0	0	0	1
6	6	6	26	3	14	7	2	5	0	0	0	1
7	7	7	26	1	14	7	2	5	0	0	0	1
8	8	8	30	1	10	7	2	5	0	0	0	0
9	9	9	30	3	10	7	2	5	0	0	0	0
10	10	10	30	1	10	7	2	5	0	0	0	0
11	11	11	15	1	10	7	2	5	0	0	0	0
12	12	12	15	3	10	7	2	5	0	0	0	0
13	13	13	26	3	10	7	2	5	0	0	0	0
14	14	14	21	3	10	7	2	5	0	0	0	0
15	15	15	26	1	10	7	2	5	0	0	0	0
16	16	16	26	1	10	7	2	5	0	0	0	0

Tabla B.16 IS Deslizamiento de Suelos para la zona E

OID	Field1	pendiente	aspecto	geogeo	humedad	nieve	vegetal	desestart	deslizU	deslizSu	RxoSuelo	ISS
0	0	0	26	3	10	7	2	5	0	0	0	0
1	1	1	26	5	10	7	2	5	0	0	0	0
2	2	2	26	3	10	7	2	5	0	0	0	0
3	3	3	26	5	10	7	2	5	0	0	0	0
4	4	4	26	3	10	7	2	5	0	0	0	0
5	5	5	26	3	10	7	2	5	0	0	0	0

Tabla B.17 IS Deslizamiento de Suelos para la zona F

OID	Field1	pendiente	aspecto	geogeo	humedad	nieve	vegetal	desestart	deslizU	deslizSu	RxoSuelo	ISS
0	0	0	30	3	10	7	2	5	0	0	0	0
1	1	1	26	3	10	7	2	5	0	0	0	0
2	2	2	26	5	10	7	2	5	0	0	0	0
3	3	3	26	3	10	7	2	5	0	0	0	0
4	4	4	0	5	10	7	2	5	0	0	0	0
5	5	5	9	3	10	7	2	5	0	0	0	0
6	6	6	26	5	10	7	2	5	0	0	0	0

Tabla B.18 IS Deslizamiento de Suelos para la zona G

OID	Field1	pendiente	aspecto	geogeo	humedad	nieve	vegetal	desestart	deslizU	deslizSu	RxoSuelo	ISS
0	0	30	3	10	3	1	5	0	0	0	0	0
1	1	26	3	10	3	1	5	0	0	0	0	0
2	2	26	5	10	3	1	5	0	0	0	0	0
3	3	26	5	10	3	1	5	0	0	0	0	0
4	4	26	3	10	3	1	5	0	0	0	0	0
5	5	26	3	10	3	1	5	0	0	0	0	0
6	6	26	3	10	3	1	5	0	0	0	0	0
7	7	26	5	10	3	1	5	0	0	0	0	0
8	8	30	3	14	3	1	5	0	0	0	1	56
9	9	21	3	14	3	1	5	0	0	0	1	47
10	10	26	3	10	3	1	5	0	0	0	0	0
11	11	21	3	14	3	1	5	0	0	0	1	47
12	12	26	3	10	3	1	5	0	0	0	0	0
13	13	26	5	14	3	1	5	0	0	0	1	54
14	14	30	3	10	3	1	5	0	0	0	0	0

Tabla B.19 IS Deslizamiento de Suelos para la zona H

OID	Field1	pendiente	aspecto	geogeo	humedad	nieve	vegetal	desestart	deslizU	deslizSu	RxoSuelo	ISS
0	0	15	5	10	3	1	5	0	0	0	0	0
1	1	26	5	10	3	1	5	0	0	0	0	0
2	2	30	3	10	3	1	5	0	0	0	0	0
3	3	30	5	10	3	1	5	0	0	0	0	0
4	4	26	1	10	3	1	5	0	0	0	0	0
5	5	0	5	10	3	1	5	0	0	0	0	0
6	6	30	3	10	3	1	5	0	0	0	0	0
7	7	26	5	10	3	1	5	0	0	0	0	0
8	8	21	3	10	3	1	5	0	0	0	43	34
9	9	21	3	10	3	1	5	0	0	0	0	0
10	10	26	5	10	3	1	5	0	0	0	0	0
11	11	15	5	10	3	1	5	0	0	0	0	0
12	12	21	3	10	3	1	5	0	0	0	0	0

Tabla B.20 IS Deslizamiento de Suelos para la zona I

OID	Field1	pendiente	aspecto	geogeo	humedad	nieve	vegetal	desestart	deslizU	deslizSu	RxoSuelo	ISS
0	0	26	5	10	3	1	2	0	0	0	1	47
1	1	15	5	10	3	1	2	0	0	0	0	0
2	2	21	3	10	3	1	2	0	0	0	0	0
3	3	26	3	10	3	1	2	0	0	0	0	0
4	4	26	3	10	3	1	2	0	0	0	0	0
5	5	15	3	10	3	1	2	0	0	0	0	0
6	6	26	5	10	3	1	2	0	0	0	0	0
7	7	26	3	10	3	1	2	0	0	0	0	0
8	8	30	5	10	3	1	2	0	0	0	0	0

Tabla B.21 IS Deslizamiento de Suelos para la zona J

OID	Field1	pendiente	aspecto	geogeo	humedad	nieve	vegetal	desestart	deslizU	deslizSu	RxoSuelo	ISS
0	0	21	5	10	3	1	2	0	0	0	0	0
1	1	21	5	10	3	0	2	0	0	0	1	41
2	2	21	5	10	3	1	2	0	0	0	1	42
3	3	26	5	10	3	0	2	0	0	0	0	0
4	4	15	3	10	3	1	2	0	0	0	0	0
5	5	15	5	10	3	1	2	0	0	0	0	0
6	6	26	3	10	3	1	2	0	0	0	0	0
7	7	26	5	10	3	1	2	0	0	0	0	0
8	8	21	5	10	3	1	2	0	0	0	0	0
9	9	0	5	10	3	1	2	0	0	0	0	0
10	10	26	5	10	3	1	2	0	0	0	0	0
11	11	0	3	10	3	1	2	0	0	0	0	0

Tabla B.22 IS Deslizamiento de Suelos para la zona Q

OID	Field1	pendiente	aspecto	geogeo	humedad	nieve	vegetal	desestart	deslizU	deslizSu	RxoSuelo	ISS
0	0	21	1	10	3	1	0	0	0	0	1	36
1	1	0	3	10	3	0	2	0	0	0	1	18
2	2	0	5	14	3	1	0	0	10	5	1	38
3	3	26	5	14	7	2	5	0	10	5	1	74
4	4	0	5	10	3	1	0	0	0	0	1	19
5	5	26	5	10	3	1	2	0	0	0	1	47
6	6	30	5	10	3	1	5	0	0	0	1	54
7	7	26	3	10	3	1	5	0	0	0	1	48
8	8	26	5	10	7	2	5	0	0	0	1	55
9	9	26	5	10	7	2	5	0	0	0	1	55
10	10	26	0	10	7	2	5	0	0	0	1	50
11	11	26	1	10	3	2	2	0	0	0	1	44
12	12	21	1	14	7	1	2	0	10	5	1	61
13	13	9	1	14	7	1	5	0	10	5	1	52
14	14	26	1	10	3	1	0	0	0	0	1	41
15	15	30	1	10	3	1	0	0	0	0	1	45

Tablas de los IS de Deslizamiento de Rocas

Tabla B.23 IS Deslizamiento de Rocas para la zona A

OID	Field1	pendiente	geogeo	nieve	desestart	deslizlad	RxoSuelo	ISS
0	0	20	18	1	0	0	1	39
1	1	0	18	0	0	0	0	0
2	2	20	18	1	0	0	1	39
3	3	25	18	1	0	0	1	44
4	4	11	18	1	0	0	1	30
5	5	20	18	1	0	0	1	39
6	6	20	18	1	0	0	1	39
7	7	20	18	1	0	0	1	39
8	8	0	18	1	0	0	1	19
9	9	0	18	1	0	0	1	19
10	10	0	18	1	0	0	1	19
11	11	0	18	1	0	0	1	19

Tabla B.24 IS Deslizamiento de Rocas para la zona B

OID	Field1	pendiente	geogeo	nieve	desestart	deslizlad	RxSuelo	ISS
0	0	0	18	1	0	0	1	19
1	1	15	18	1	0	0	0	0
2	2	25	28	1	0	0	1	54
3	3	25	18	1	0	0	0	0
4	4	20	18	1	0	0	0	0
5	5	25	18	1	0	0	1	44
6	6	25	18	1	0	0	1	44
7	7	25	18	1	0	0	1	44
8	8	20	18	1	0	0	1	39
9	9	25	18	1	0	0	1	44
10	10	25	28	1	0	0	1	54
11	11	25	18	1	0	0	1	44
12	12	30	18	1	0	0	1	49
13	13	0	18	1	0	0	1	19
14	14	30	18	1	0	0	1	49
15	15	25	28	1	0	0	1	54
16	16	25	18	1	0	0	1	44
17	17	25	18	1	0	0	1	44
18	18	15	18	1	0	0	1	34
19	19	25	18	1	0	0	1	44
20	20	15	18	1	0	0	0	0
21	21	15	18	1	0	0	0	0
22	22	20	18	1	0	0	0	0
23	23	25	18	1	0	0	0	0

Tabla B.25 IS Deslizamiento de Rocas para la zona C

OID	Field1	pendiente	geogeo	nieve	desestart	deslizlad	RxoSuelo	ISS
0	0	0	18	1	0	0	1	19
1	1	15	28	1	0	15	0	0
2	2	15	28	1	0	15	0	0
3	3	15	18	1	0	0	1	34
4	4	25	18	1	0	0	1	44
5	5	20	18	1	0	0	1	39

Tabla B.26 IS Deslizamiento de Rocas para la zona D

OID	Field1	pendiente	geogeo	nieve	desestart	deslizlad	RxoSuelo	ISS
0	0	25	18	2	0	5	1	50
1	1	25	18	2	0	5	1	50
2	2	20	18	2	0	5	1	45
3	3	20	18	2	0	5	1	45
4	4	15	28	2	0	5	1	50
5	5	15	28	2	0	5	1	50
6	6	25	18	2	0	5	1	50
7	7	25	18	2	0	5	1	50
8	8	30	18	2	0	5	1	55
9	9	30	18	2	0	5	1	55
10	10	30	18	2	0	5	1	55
11	11	15	18	2	0	5	1	40
12	12	15	18	2	0	5	1	40
13	13	25	18	2	0	5	1	50
14	14	20	18	2	0	5	1	45
15	15	25	18	2	0	5	1	50
16	16	25	18	2	0	5	1	50

Tabla B.27 IS Deslizamiento de Rocas para la zona E

OID	Field1	pendiente	geogeo	nieve	desestart	deslizlad	RxoSuelo	ISS
0	0	25	18	2	0	5	1	50
1	1	25	18	2	0	5	1	50
2	2	25	18	2	0	5	1	50
3	3	25	18	2	0	5	1	50
4	4	25	18	2	0	5	1	50
5	5	25	18	2	0	5	1	50

Tabla B.28 IS Deslizamiento de Rocas para la zona F

OID	Field1	pendiente	geogeo	nieve	desestart	deslizlad	RxoSuelo	ISS
0	0	30	18	2	0	5	1	55
1	1	25	18	2	0	5	1	50
2	2	25	18	2	0	5	1	50
3	3	25	18	2	0	5	1	50
4	4	0	18	2	0	5	1	25
5	5	11	18	2	0	5	1	36
6	6	25	18	2	0	5	1	50

Tabla B.29 IS Deslizamiento de Rocas para la zona G

OID	Field1	pendiente	geogeo	nieve	desestart	deslizlad	RxoSuelo	ISS
0	0	30	28	1	0	0	1	59
1	1	25	28	1	0	0	1	54
2	2	25	28	1	0	0	1	54
3	3	25	28	1	0	0	1	54
4	4	25	28	1	0	0	1	54
5	5	25	28	1	0	0	1	54
6	6	25	28	1	0	0	1	54
7	7	25	28	1	0	0	1	54
8	8	30	28	1	0	0	1	59
9	9	20	28	1	0	0	1	49
10	10	25	28	1	0	0	1	54
11	11	20	28	1	0	0	1	49
12	12	25	28	1	0	0	1	54
13	13	25	28	1	0	0	1	54
14	14	30	28	1	0	0	1	59

Tabla B.30 IS Deslizamiento de Rocas para la zona H

OID	Field1	pendiente	geogeo	nieve	desestart	deslizlad	RxoSuelo	ISS
0	0	15	28	1	0	0	1	44
1	1	25	28	1	0	0	1	54
2	2	30	28	1	0	0	1	59
3	3	30	28	1	0	0	1	59
4	4	25	28	1	0	0	1	54
5	5	0	28	1	0	0	1	29
6	6	30	28	1	0	0	1	59
7	7	25	28	1	0	0	1	54
8	8	20	28	1	0	0	1	49
9	9	20	28	1	0	0	1	49
10	10	25	28	1	0	0	1	54
11	11	15	28	1	0	0	1	44
12	12	20	28	1	0	0	1	49

Tabla B.31 IS Deslizamiento de Rocas para la zona I

OID	Field1	pendiente	geogeo	nieve	desestart	deslizlad	RxoSuelo	ISS
0	0	25	18	1	0	0	1	44
1	1	15	18	1	0	0	1	34
2	2	20	18	1	0	0	1	39
3	3	25	18	1	0	0	1	44
4	4	25	18	1	0	0	1	44
5	5	15	28	1	0	0	1	44
6	6	25	18	1	0	0	1	44
7	7	25	18	1	0	0	1	44
8	8	30	18	1	0	0	1	49

Tabla B.32 IS Deslizamiento de Rocas para la zona J

OID	Field1	pendiente	geogeo	nieve	desestart	deslizlad	RxoSuelo	ISS
0	0	20	18	1	0	0	1	39
1	1	20	18	0	0	0	1	38
2	2	20	18	1	0	0	1	39
3	3	25	18	0	0	0	1	43
4	4	15	18	1	0	0	1	34
5	5	15	18	1	0	0	1	34
6	6	25	18	1	0	0	1	44
7	7	25	18	1	0	0	1	44
8	8	20	18	1	0	0	1	39
9	9	0	18	1	0	0	1	19
10	10	25	18	1	0	0	1	44
11	11	0	18	1	0	0	1	19

Tabla B.33 IS Deslizamiento de Rocas para la zona Q

OID	Field1	pendiente	geogeo	nieve	desestart	deslizlad	RxoSuelo	ISS
0	0	20	18	1	0	0	0	0
1	1	0	18	0	0	0	0	0
2	2	0	18	1	0	15	0	0
3	3	25	18	2	0	15	0	0
4	4	0	18	1	0	0	0	0
5	5	25	18	1	0	0	0	0
6	6	30	18	1	0	0	0	0
7	7	25	18	1	0	0	0	0
8	8	25	18	2	0	0	0	0
9	9	25	18	2	0	0	0	0
10	10	25	18	2	0	0	0	0
11	11	25	18	2	0	0	0	0
12	12	20	18	1	0	15	0	0
13	13	11	18	1	0	15	0	0
14	14	25	18	1	0	0	0	0
15	15	30	18	1	0	0	0	0

Tablas de IS de Caídas de Rocas

Tabla B.34 IS Caídas de Rocas para la zona A

OID	Field1	pendiente	geogeo	nieve	desestart	caidas	RxoSuelo	ISS
0	0	18	15	2	0	0	1	35
1	1	0	15	0	0	0	0	0
2	2	18	15	2	0	0	1	35
3	3	25	15	2	0	0	1	42
4	4	4	15	2	0	0	1	21
5	5	18	15	2	0	0	1	35
6	6	18	15	2	0	0	1	35
7	7	18	15	2	0	15	1	50
8	8	18	15	2	0	0	1	35
9	9	25	15	2	0	15	1	57
10	10	10	15	2	0	0	1	27
11	11	25	15	2	0	0	1	42

Tabla B.35 IS Caídas de Rocas para la zona B

OID	Field1	pendiente	geogeo	nieve	desestart	caidas	RxoSuelo	ISS
0	0	0	15	2	0	0	1	17
1	1	10	15	2	0	15	0	0
2	2	25	24	2	0	0	1	51
3	3	25	15	2	0	0	1	42
4	4	18	15	2	0	0	1	35
5	5	25	15	2	0	0	1	42
6	6	25	15	2	0	0	1	42
7	7	25	15	2	0	0	1	42
8	8	18	15	2	0	0	1	35
9	9	25	15	2	0	0	1	42
10	10	25	24	2	0	0	1	51
11	11	25	15	2	0	0	1	42
12	12	32	24	2	0	0	1	58
13	13	0	15	2	0	0	1	17
14	14	32	24	2	0	0	1	58
15	15	25	24	2	0	0	1	51
16	16	25	15	2	0	0	1	42
17	17	25	15	2	0	0	1	42
18	18	10	15	2	0	0	1	27
19	19	25	15	2	0	0	1	42
20	20	10	15	2	0	0	0	0
21	21	10	15	2	0	0	0	0
22	22	18	15	2	0	0	0	0
23	23	25	15	2	0	0	0	0

Tabla B.36 IS Caídas de Rocas para la zona C

OID	Field1	pendiente	geogeo	nieve	desestart	caidas	RxoSuelo	ISS
0	0	0	24	2	0	0	1	26
1	1	10	15	2	0	0	0	0
2	2	10	15	2	0	0	0	0
3	3	10	24	2	0	0	1	36
4	4	25	24	2	0	0	1	51
5	5	18	24	2	0	0	1	44

Tabla B.37 IS Caídas de Rocas para la zona D

OID	Field1	pendiente	geogeo	nieve	desestart	caidas	RxoSuelo	ISS
0	0	25	15	10	0	0	1	50
1	1	25	15	10	0	15	1	65
2	2	18	15	10	0	0	1	43
3	3	18	15	10	0	0	1	43
4	4	10	24	10	0	0	1	44
5	5	10	24	10	0	0	1	44
6	6	25	15	10	0	0	1	50
7	7	25	15	10	0	15	1	65
8	8	32	24	10	0	15	1	81
9	9	32	24	10	0	15	1	81
10	10	32	24	10	0	15	1	81
11	11	10	15	10	0	0	1	35
12	12	10	15	10	0	0	1	35
13	13	25	15	10	0	0	1	50
14	14	18	15	10	0	0	1	43
15	15	25	15	10	0	15	1	65
16	16	25	15	10	0	15	1	65

Tabla B.38 IS Caídas de Rocas para la zona E

OID	Field1	pendiente	geogeo	nieve	desestart	caidas	RxoSuelo	ISS
0	0	25	15	10	0	0	1	50
1	1	25	15	10	0	15	1	65
2	2	25	15	10	0	0	1	50
3	3	25	15	10	0	15	1	65
4	4	25	15	10	0	15	1	65
5	5	25	15	10	0	15	1	65

Tabla B.39 IS Caídas de Rocas para la zona F

OID	Field1	pendiente	geogeo	nieve	desestart	caidas	RxoSuelo	ISS
0	0	32	24	10	0	15	1	81
1	1	25	15	10	0	15	1	65
2	2	25	15	10	0	0	1	50
3	3	25	15	10	0	15	1	65
4	4	0	15	10	0	0	1	25
5	5	4	15	10	0	0	1	29
6	6	25	15	10	0	0	1	50

Tabla B.40 IS Caídas de Rocas para la zona G

OID	Field1	pendiente	geogeo	nieve	desestart	caidas	RxoSuelo	ISS
0	0	32	35	2	0	15	1	84
1	1	25	24	2	0	0	1	51
2	2	25	24	2	0	15	1	66
3	3	25	24	2	0	15	1	66
4	4	25	24	2	0	15	1	66
5	5	25	24	2	0	0	1	51
6	6	25	24	2	0	0	1	51
7	7	25	24	2	0	15	1	66
8	8	32	35	2	0	15	1	84
9	9	18	24	2	0	0	1	44
10	10	25	24	2	0	0	1	51
11	11	18	24	2	0	0	1	44
12	12	25	24	2	0	0	1	51
13	13	25	24	2	0	0	1	51
14	14	32	35	2	0	15	1	84

Tabla B.41 IS Caídas de Rocas para la zona H

OID	Field1	pendiente	geogeo	nieve	desestart	caidas	RxoSuelo	ISS
0	0	10	24	2	0	0	1	36
1	1	25	24	2	0	0	1	51
2	2	32	35	2	0	0	1	69
3	3	32	35	2	0	0	1	69
4	4	25	24	2	0	0	1	51
5	5	0	24	2	0	0	1	26
6	6	32	35	2	0	0	1	69
7	7	25	24	2	0	0	1	51
8	8	18	24	2	0	0	1	44
9	9	18	24	2	0	0	1	44
10	10	25	24	2	0	0	1	51
11	11	10	24	2	0	0	1	36
12	12	18	24	2	0	0	1	44

Tabla B.42 IS Caídas de Rocas para la zona I

OID	Field1	pendiente	geogeo	nieve	desestart	caidas	RxoSuelo	ISS
0	0	25	15	2	0	15	1	57
1	1	10	15	2	0	15	1	42
2	2	18	15	2	0	15	1	50
3	3	25	15	2	0	15	1	57
4	4	25	15	2	0	15	1	57
5	5	10	24	2	0	15	1	51
6	6	25	15	2	0	0	1	42
7	7	25	15	2	0	15	1	57
8	8	32	15	2	0	15	1	64

Tabla B.43 IS Caídas de Rocas para la zona J

OID	Field1	pendiente	geogeo	nieve	desestart	caidas	RxoSuelo	ISS
0	0	18	15	2	0	0	1	35
1	1	18	15	2	0	15	1	50
2	2	18	15	2	0	15	1	50
3	3	25	15	2	0	15	1	57
4	4	10	15	2	0	0	1	27
5	5	10	15	2	0	15	1	42
6	6	25	15	2	0	0	1	42
7	7	25	15	2	0	15	1	57
8	8	18	15	2	0	15	1	50
9	9	0	15	2	0	0	1	17
10	10	25	15	2	0	15	1	57
11	11	0	15	2	0	15	1	32

Tabla B.44 IS Caídas de Rocas para la zona Q

OID	Field1	pendiente	geogeo	nieve	desestart	caidas	RxoSuelo	ISS
0	0	18	15	2	0	0	0	0
1	1	0	15	0	0	0	0	0
2	2	0	15	2	0	0	0	0
3	3	25	15	10	0	15	0	0
4	4	0	15	2	0	0	0	0
5	5	25	15	2	0	0	0	0
6	6	32	24	2	0	0	0	0
7	7	25	15	2	0	0	0	0
8	8	25	15	10	0	15	0	0
9	9	25	15	10	0	15	0	0
10	10	25	15	10	0	15	0	0
11	11	25	15	10	0	15	0	0
12	12	18	15	2	0	0	0	0
13	13	4	15	2	0	0	0	0
14	14	25	15	2	0	0	0	0
15	15	32	24	2	0	0	0	0

C.- RESULTADOS DE LABORATORIO

a.- Cálculos de densidad de la arena normalizada

Tabla C.1.- Cálculo de densidad de arena normalizada

DENSIDAD ARENA NORMALIZADA				
Peso tarro+ arena (grs.)	Peso tarro (grs.)	Peso Arena (grs.)	Volumen tarro(gr/cm³)	Densidad Unit.(gr/cm³)
2624,82	987,34	1637,48	1002,22	1,6339
2625,80	987,34	1638,46	1002,22	1,6348
2621,07	987,34	1633,73	1002,22	1,6301
2624,86	987,34	1637,52	1002,22	1,6339

Densidad del cono grande = 1.63 (gr. / cm³)

Con la densidad, se puede calcular el volumen del hueco del cono grande.

Tabla C.2.- Determinación del volumen del hueco hecho en terreno

VOLUMEN DEL HUECO		
DATOS DEL CONO	VALORES	Unidades
Densidad normalizada	1,63	gr./cm ³
Peso Total de la Arena P1	30000	gr.
Peso Arena no Utilizada P2	2142	gr.
Peso Arena del Cono P3	10504	gr.
Peso suelo natural extraído	25848	gr.
VOLUMEN DEL HUECO	10625,95	cm ³

Tabla C.3.- Determinación del contenido de humedad del suelo in situ.

DETERMINACION DEL CONTENIDO DE HUMEDAD						
Pesos						Humedad %
Capsula + Suelo Húmedo (gr)	Capsula (gr)	Capsula + Suelo Seco	Suelo Natural (gr)	Suelo Seco (gr)	Agua	
6028	1402,00	5960	4626,00	4558,00	68,00	1,47

Tabla C.4.- Densidad seca y húmeda del suelo

DETERMINACION DENSIDAD DEL SUELO		
Peso Suelo Natural Extraído Ps	25848	(gr)
Volumen Hueco	10625,95	(cm ³)
Humedad ω	1,47	(%)
Densidad Húmeda	yt	2,43 (gr/cm ³)
Densidad Seca	yd	2,40 (gr/cm ³)

b.- Granulometría

Tabla C.5.- Resumen de material retenido por diferentes tamices, en cada muestra.

	PESO (grs.)	1 1/2	3 / 4	3/8	N° 5	N° 14	N° 200	Bajo N°200
1	980	0	162	168	100	150	380	14
2	982	0	222	192	116	152	290	10
3	1000	0	190	184	146	170	300	10
4	990	110	216	140	98	130	282	10
5	990	136	270	118	98	112	240	10
6	998	0	146	200	126	174	336	12
7	990	0	150	152	160	198	318	8
8	986	0	114	134	158	200	364	12
9	994	0	48	208	162	200	360	12
10	436	0	70	62	76	74	144	10
11	1734	1734	0	0	0	0	0	0
Total	11080	1980	1588	1558	1240	1560	3014	108
%	11080	17,87	14,33	14,06	11,19	14,08	27,20	0,97

TablaC. 6.- Resumen del material sobre y bajo el tamiz 3/8"

Material 2º tamizaje	Diámetro (mm)	Pesos (gr)
SOBRE 3"	75	0
SOBRE 3/8"	9,5	5112
BAJO 3/8"	9,5	5844
TOTAL		11064

Tabla C. 7.- Resumen del material total retenido en cada tamiz.

TAMIZ N°	Diámetro	Peso Retenido	% Retenido	% que pasa
3"	75	0	0	100
2 1/2"	63	0	0	100
2"	50	484	4,37	95,63
1 1/2"	37,5	1160	10,48	85,14
1"	25	1140	10,30	74,84
3/4"	19	794	7,18	67,66
1/2"	12,5	964	8,71	58,95
3/8"	9,5	570	5,15	53,80
5	4	1270	11,48	42,32
14	1,4	1560	14,10	28,22
200	0,075	3014	27,24	0,98
Total		10956	99,02	

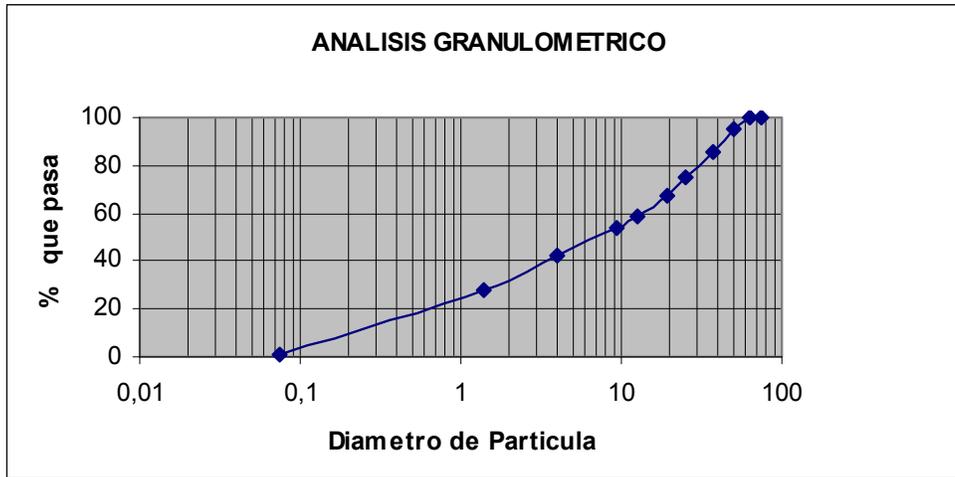


Gráfico C.1 .- Análisis granulométrico

Tabla C.8.- Diámetros sacados del grafico 1

Diámetro Característico	Valor (mm)
D 10	0,2
D 30	1,84
D 60	14,09

Tabla C. 9.- Cc y Cu. Sus fórmulas y sus resultados

Cu =	$\frac{D60}{D10} = 70.45$
Cc =	$\frac{D30^2}{D10 * D60} = 1.20$

Clasificación USCS GW Grava bien graduada
--

c.- Corte Directo

La caja presenta las siguientes características:

Altura	13.56 cm
Área	900 cm ²
Volumen	12.204 cm ³
Peso	Densidad * Volumen
Peso	= 2,4 * 12.204
Peso	29.289,6 grs.

Densidad equivalente

Tabla C.10.- Determinación densidad usando datos de la caja.

Volumen	12204	cm3
Peso Material	25710	grs.
DENSIDAD CAJA	2,11	(grs./cm3)

Tabla C.11.- Cálculo del volumen de la cápsula, para calcular densidad

Peso material + capsula	Peso Capsula	Peso Material	DENSIDAD equivalente
14454	4512	9942	1,88
14660	4512	10148	1,91
14576	4512	10064	1,90
14690	4512	10178	1,92
14718	4512	10206	1,92
Suma de las densidades de los 5 ensayos			9,53
Densidad promedio de los 5 ensayos.			1,9
DENSIDAD EQUIVALENTE : 1.9 (gr/cm3)			

Peso = 2,0 * 12.204 = 24.208 grs. Este peso dividido entre las 3 capas de la caja, nos da un valor de 8136,0 grs. en cada capa.

Consolidación	+8 por saturación	
Área Probeta	cm ²	900
Altura	cm ²	13,56
Volumen	cm ³	12204
Peso muestra	gr.	24408
Consolidación	mm	-69
Calibración anillo	kg/div	76.933
Calibración dial vertical	mm	0,01
Calibración dial horizontal	mm	0,01
Contenido Humedad Natural	%	1,47
Densidad Húmeda	gr/cm ³	2,43
Densidad Seca	gr/cm ³	2
Tensión Normal	kg/cm²	0,5
Carga Aplicada	kgf	450

En la tabla de la derecha, están los valores convertidos. Son los datos leídos, multiplicados por el factor correspondiente, 0.01mm para los desplazamientos, y por la del anillo para la fuerza de corte. El procedimiento se repite nuevamente para diferentes tensiones. En este caso se usaron adicionalmente las tensiones 1, 2, 3, 4 y 6 (kg /cm²), con cargas normales 900, 1800, 2700, 3600 y 5400 (kgf) respectivamente. Las planillas obtenidas son para cada caso:

Tabla C.12.- Resumen de datos para la tensión 0,5, utilizada en el ensayo.

Desplazamiento Horizontal	Fuerza de corte	Desplazamiento vertical	HORIZONTAL	Fuerza de corte	VERTICAL
0	0	0	0	0	0
10	1,5	0	0,1	11,53995	0
20	3,7	-0,5	0,2	28,46521	-0,005
30	6	-1	0,3	46,1598	-0,01
40	8	-1,8	0,4	61,5464	-0,018
50	11	-2	0,5	84,6263	-0,02
60	12	-2,1	0,6	92,3196	-0,021
70	14,5	-2,3	0,7	111,5529	-0,023
80	16	-2,3	0,8	123,0928	-0,023
90	18	-2,3	0,9	138,4794	-0,023
100	20	-2,5	1	153,866	-0,025
120	24,5	-2,5	1,2	188,4859	-0,025
140	28,4	-2,5	1,4	218,4897	-0,025
160	31	-2,5	1,6	238,4923	-0,025
180	35	-2,1	1,8	269,2655	-0,021
200	39	-1,5	2	300,0387	-0,015
250	48	0,5	2,5	369,2784	0,005
300	56	2,5	3	430,8248	0,025
350	64	5	3,5	492,3712	0,05

Desplazamiento Horizontal	Fuerza de corte	Desplazamiento vertical	HORIZONTAL	Fuerza de corte	VERTICAL
400	72	8,5	4	553,9176	0,085
450	81	12	4,5	623,1573	0,12
500	87,5	19	5	673,1638	0,19
600	95,6	39	6	735,4795	0,39
700	101	62	7	777,0233	0,62
800	103,5	87	8	796,2566	0,87
900	105	112	9	807,7965	1,12
1000	105	135	10	807,7965	1,35
1100	105	154	11	807,7965	1,54
1200	104,3	170	12	802,4112	1,7
1300	104	185	13	800,1032	1,85
1400	103	197	14	792,4099	1,97
1500	101	208	15	777,0233	2,08
1600	100	219	16	769,33	2,19
1700	99	229	17	761,6367	2,29
1800	98,5	239	18	757,7901	2,39
1900	98	248	19	753,9434	2,48
2000	97	257	20	746,2501	2,57
2100	96	264	21	738,5568	2,64
2200	95,4	273	22	733,9408	2,73
2300	95	280	23	730,8635	2,8
2400	93,5	288	24	719,3236	2,88
2500	93	295	25	715,4769	2,95
2600	92	300	26	707,7836	3
2700	91	305	27	700,0903	3,05
2800	90,8	310	28	698,5516	3,1
2900	90,5	315	29	696,2437	3,15
3000	90,1	321	30	693,1663	3,21
3100	89,9	327	31	691,6277	3,27
3200	89,9	333	32	691,63	3,33
3300	89	337	33	684,7037	3,37
3400	89	341	34	684,7037	3,41
3500	89	346	35	684,7037	3,46
3600	88,9	349	36	683,9344	3,49
3700	88,5	352	37	680,8571	3,52
3800	88,5	359	38	680,8571	3,59
3900	88,5	364	39	680,8571	3,64
4000	88,5	370	40	680,8571	3,7

Consolidación	.+1	x saturación
Área Probeta	cm ²	900
Altura	cm ²	13,56
Volumen	cm ³	12204
Peso muestra	gr	24408
Consolidación	mm	11
Calibración anillo	kg/div	76.933
Calibración dial vertical	mm	0,01
Calibración dial horizontal	mm	0,01
Contenido Humedad Natural	%	1,47
Densidad Humeda	gr/cm ³	2,43
Densidad Seca	gr/cm ³	2
Tensión Normal	kg/cm²	1
Carga Aplicada	kgf	900

Tabla C.13.- Resumen de datos para la tensión 1,0 utilizada en el ensayo.

Desplazamiento Horizontal	Fuerza de corte	Desplazamiento vertical	HORIZONTAL	F de corte	VERTICAL
0	0	0	0	0	0
10	3	0	0,1	23,0799	0
20	6	-1	0,2	46,1598	-0,01
30	11	-3	0,3	84,6263	-0,03
40	16	-4	0,4	123,093	-0,04
50	19,5	-6	0,5	150,019	-0,06
60	23	-8	0,6	176,946	-0,08
70	27	-8	0,7	207,719	-0,08
80	31	-11	0,8	238,492	-0,11
90	39,5	-13	0,9	303,885	-0,13
100	37	-14	1	284,652	-0,14
120	42	-17	1,2	323,119	-0,17
140	47	-21	1,4	361,585	-0,21
160	52	-21	1,6	400,052	-0,21
180	56,5	-23	1,8	434,671	-0,23
200	62	-24	2	476,985	-0,24
250	74	-25	2,5	569,304	-0,25
300	86	-25	3	661,624	-0,25
350	98,5	-23	3,5	757,79	-0,23
400	109	-20	4	838,57	-0,2
450	120	-16	4,5	923,196	-0,16
500	130,1	-10	5	1000,9	-0,1
600	137,5	-2	6	1057,83	-0,02
700	144	6	7	1107,84	0,06
800	150,1	15	8	1154,76	0,15
900	155	26	9	1192,46	0,26

Desplazamiento Horizontal	Fuerza de corte	Desplazamiento vertical	HORIZONTAL	F de corte	VERTICAL
1000	158,5	37	10	1219,39	0,37
1100	162	49	11	1246,31	0,49
1200	164,5	60	12	1265,55	0,6
1300	166	73	13	1277,09	0,73
1400	167	98	14	1284,78	0,98
1500	167	123	15	1284,78	1,23
1600	167	149	16	1284,78	1,49
1700	167	172	17	1284,78	1,72
1800	167	195	18	1284,78	1,95
1900	166	215	19	1277,09	2,15
2000	163	233	20	1254,01	2,33
2100	160	250	21	1230,93	2,5
2200	157	263	22	1207,85	2,63
2300	153	275	23	1177,07	2,75
2400	152	285	24	1169,38	2,85
2500	148	295	25	1138,61	2,95

Consolidación	1	x saturación
Área Probeta	cm ²	900
Altura	cm ²	13,56
Volumen	cm ³	12204
Peso muestra	gr	24408
Consolidación	mm	174
Calibración anillo	kg/div	76.933
Calibración dial vertical	mm	0,01
Calibración dial horizontal	mm	0,01
Contenido Humedad Natural	%	1,47
Densidad Húmeda	gr/cm ³	2,43
Densidad Seca	gr/cm ³	2
Tensión Normal	kg/cm²	2
Carga Aplicada	kgf	1800

Tabla C14.- Resumen de los datos para la tensión 2

Desplazamiento Horizontal	Fuerza de corte	Desplazamiento vertical	HORIZONTAL	Fuerza de corte	VERTICAL
0	0	0	0	0	0
10	0	1	0,1	0	0,01
20	0	4	0,2	0	0,04
30	0	14	0,3	0	0,14
40	0	22	0,4	0	0,22
50	-1	29	0,5	-7,693	0,29
60	-2,5	34,5	0,6	-19,23	0,345
70	-5	40	0,7	-38,47	0,4
80	-6	45	0,8	-46,16	0,45
90	-8	50	0,9	-61,55	0,5
100	-9,5	54,5	1	-73,09	0,545
120	-1,3	64	1,2	-10	0,64
140	-16	72,5	1,4	-123,1	0,725
160	-18	80,5	1,6	-138,5	0,805
180	-20	88	1,8	-153,9	0,88
200	-22	95,5	2	-169,3	0,955
250	-25	113	2,5	-192,3	1,13
300	-27,8	130	3	-213,9	1,3
350	-28	147	3,5	-215,4	1,47
400	-28,1	160	4	-216,2	1,6
450	-28,1	177	4,5	-216,2	1,77
500	-27,5	191	5	-211,6	1,91
600	-23,5	220	6	-180,8	2,2
700	-16,5	244	7	-126,9	2,44
800	-6	259	8	-46,16	2,59
900	6	279	9	46,16	2,79
1000	22	289	10	169,25	2,89
1100	39	298	11	300,04	2,98
1200	56	301	12	430,82	3,01
1300	74	304	13	569,3	3,04
1400	91	304,5	14	700,09	3,045
1500	107	304,5	15	823,18	3,045
1600	121	304	16	930,89	3,04
1700	135	303,5	17	1038,6	3,035
1800	148	303	18	1138,6	3,03
1900	159	300,5	19	1223,2	3,005
2000	171	299,5	20	1315,6	2,995
2100	181	297	21	1392,5	2,97
2200	189	290	22	1454	2,9
2300	198	285,5	23	1523,3	2,855
2400	206	283	24	1584,8	2,83
2500	216	279	25	1661,8	2,79
2600	223	276,5	26	1715,6	2,765
2700	231	269	27	1777,2	2,69
2800	239	267,5	28	1838,7	2,675
2900	246	265	29	1892,6	2,65

Desplazamiento Horizontal	Fuerza de corte	Desplazamiento vertical		HORIZONTAL	Fuerza de corte	VERTICAL
3000	253	265		30	1946,4	2,65
3100	259	261		31	1992,6	2,61
3200	265,5	257,5		32	2042,6	2,575
3300	271	254		33	2084,9	2,54
3400	277	252		34	2131	2,52
3500	281	247,5		35	2161,8	2,475
3600	286	245		36	2200,3	2,45
3700	290	242,5		37	2231,1	2,425
3800	294,5	242		38	2265,7	2,42
3900	298	242		39	2292,6	2,42
4000	301	242		40	2315,7	2,42

Consolidación		4 x saturación
Área Probeta	cm ²	900
Altura	cm ²	13,56
Volumen	cm ³	12204
Peso muestra	gr	24408
Consolidación	mm	-211
Calibración anillo	kg/div	76.933
Calibración dial vertical	mm	0,01
Calibración dial horizontal	mm	0,01
Contenido Humedad Natural	%	1,47
Densidad Húmeda	gr/cm ³	2,43
Densidad Seca	gr/cm ³	2
Tensión Normal	kg/cm ²	3
Carga Aplicada	kgf	2700

Tabla C.15.- Resumen de datos para la tensión 3

Desplazamiento Horizontal	Fuerza de corte	Desplazamiento vertical		HORIZONTAL	Fuerza de corte	VERTICAL
0	0	0		0	0	0
10	10	0		0,1	76,933	0
20	20	0		0,2	153,866	0
30	33	0		0,3	253,879	0
40	54	0		0,4	415,438	0
50	62	-1		0,5	476,985	-0,01
60	69	-2		0,6	530,838	-0,02
70	75	-4		0,7	576,998	-0,04
80	82	-5		0,8	630,851	-0,05
90	90	-7		0,9	692,397	-0,07
100	97	-8		1	746,25	-0,08
120	112	-11		1,2	861,65	-0,11
140	138	-14		1,4	1061,68	-0,14
160	146	-16,5		1,6	1123,22	-0,165
180	150	-18,5		1,8	1154	-0,185
200	161	-20		2	1238,62	-0,2
250	188	-24		2,5	1446,34	-0,24
300	210	-27,5		3	1615,59	-0,275
350	240	-30		3,5	1846,39	-0,3
400	263	-31		4	2023,34	-0,31
450	285	-32		4,5	2192,59	-0,32
500	305	-32		5	2346,46	-0,32
600	342	-30		6	2631,11	-0,3
700	375	-24		7	2884,99	-0,24
800	403	-15		8	3100,4	-0,15
900	423	-0,5		9	3254,27	-0,005
1000	437	15		10	3361,97	0,15
1100	450	32		11	3461,99	0,32
1200	456	51		12	3508,14	0,51
1300	457	70		13	3515,84	0,7
1400	457	89		14	3515,84	0,89
1500	456	108		15	3508,14	1,08
1600	454	125		16	3492,76	1,25
1700	450	141		17	3461,99	1,41
1800	447	156		18	3438,91	1,56
1900	442	169		19	3400,44	1,69
2000	434	181		20	3338,89	1,81
2100	428	193		21	3292,73	1,93
2200	422	204		22	3246,57	2,04
2300	417	219		23	3208,11	2,19
2400	411	224		24	3161,95	2,24
2500	408	233		25	3138,87	2,33
2600	403	241		26	3100,4	2,41
2700	400	249		27	3077,32	2,49
2800	398	258		28	3061,93	2,58
2900	395	265		29	3038,85	2,65

Desplazamiento Horizontal	Fuerza de corte	Desplazamiento vertical		HORIZONTAL	fza de corte	VERTICAL
3000	392	273		30	3015,77	2,73
3100	389	280		31	2992,69	2,8
3200	388	289		32	2985	2,89
3300	383	295		33	2946,53	2,95
3400	380	301		34	2923,45	3,01
3500	375	307		35	2884,99	3,07
3600	373	312		36	2869,6	3,12
3700	373	316		37	2869,6	3,16
3800	373	321		38	2869,6	3,21
3900	371	325		39	2854,21	3,25
4000	365	327		40	2808,05	3,27

Consolidación	2	x saturación
Área Probeta	cm ²	900
Altura	cm ²	13,56
Volumen	cm ³	12204
Peso muestra	gr	24408
Consolidación	mm	-210
Calibración anillo	kg/div	76.933
Calibración dial vertical	mm	0,01
Calibración dial horizontal	mm	0,01
Contenido Humedad Natural	%	1,47
Densidad Húmeda	gr/cm ³	2,43
Densidad Seca	gr/cm ³	2
Tensión Normal	kg/cm²	4
Carga Aplicada	kgf	3600

Tabla C.16.- Resumen de datos para la tensión 4

Desplazamiento Horizontal	Fuerza de corte	Desplazamiento o vertical		HORIZONTAL	Fuerza de corte	VERTICAL
0	0	0		0	0	0
10	5	0		0,1	38,4665	0
20	9	0		0,2	69,2397	0
30	14	0		0,3	107,7062	0
40	23	0		0,4	176,9459	0
50	36	0		0,5	276,9588	0
60	47	0		0,6	361,5851	0
70	61	0		0,7	469,2913	0
80	74	-1		0,8	569,3042	-0,01
90	86	-1,5		0,9	661,6238	-0,015
100	98	-3		1	753,9434	-0,03
120	119	-6		1,2	915,5027	-0,06
140	137	-9		1,4	1053,982	-0,09
160	154	-12		1,6	1184,768	-0,12
180	171	-14,5		1,8	1315,554	-0,145
200	184	-17		2	1415,567	-0,17
250	214	-23		2,5	1646,366	-0,23
300	243	-26		3	1869,472	-0,26
350	270	-28		3,5	2077,191	-0,28
400	291	-29		4	2238,75	-0,29
450	313	-29		4,5	2408,003	-0,29
500	338	-29		5	2600,335	-0,29
600	381	-28		6	2931,147	-0,28
700	424	-25		7	3261,959	-0,25
800	465	-20		8	3577,385	-0,2
900	495	-12,5		9	3808,184	-0,125
1000	525	-4		10	4038,983	-0,04
1100	548	6		11	4215,928	0,06
1200	566	17		12	4354,408	0,17
1300	582	30		13	4477,501	0,3
1400	593	45		14	4562,127	0,45
1500	600	61		15	4615,98	0,61
1600	602	76		16	4631,367	0,76
1700	603	90		17	4639,06	0,9
1800	601,5	105		18	4627,52	1,05
1900	596	117		19	4585,207	1,17
2000	588	128		20	4523,66	1,28
2100	577	138		21	4439,034	1,38
2200	565	144		22	4346,715	1,44
2300	555	149		23	4269,782	1,49
2400	550	155		24	4231,315	1,55
2500	547	160		25	4208,235	1,6
2600	535	165		26	4115,916	1,65
2700	528	168		27	4062,062	1,68
2800	527	172		28	4054,369	1,72
2900	516	175		29	3969,743	1,75

Desplazamiento Horizontal	Fuerza de corte	Desplazamiento o vertical		HORIZONTAL	Fuerza de corte	VERTICAL
3000	508	179		30	3908,196	1,79
3100	505	183		31	3885,117	1,83
3200	501	184,5		32	3854,343	1,845
3300	493	186		33	3792,797	1,86
3400	490	188		34	3769,717	1,88
3500	489	190		35	3762,024	1,9
3600	484	191		36	3723,557	1,91
3700	476	192		37	3662,011	1,92
3800	476	192		38	3662,011	1,92
3900	472	192		39	3631,238	1,92
4000	451	192		40	3469,678	1,92

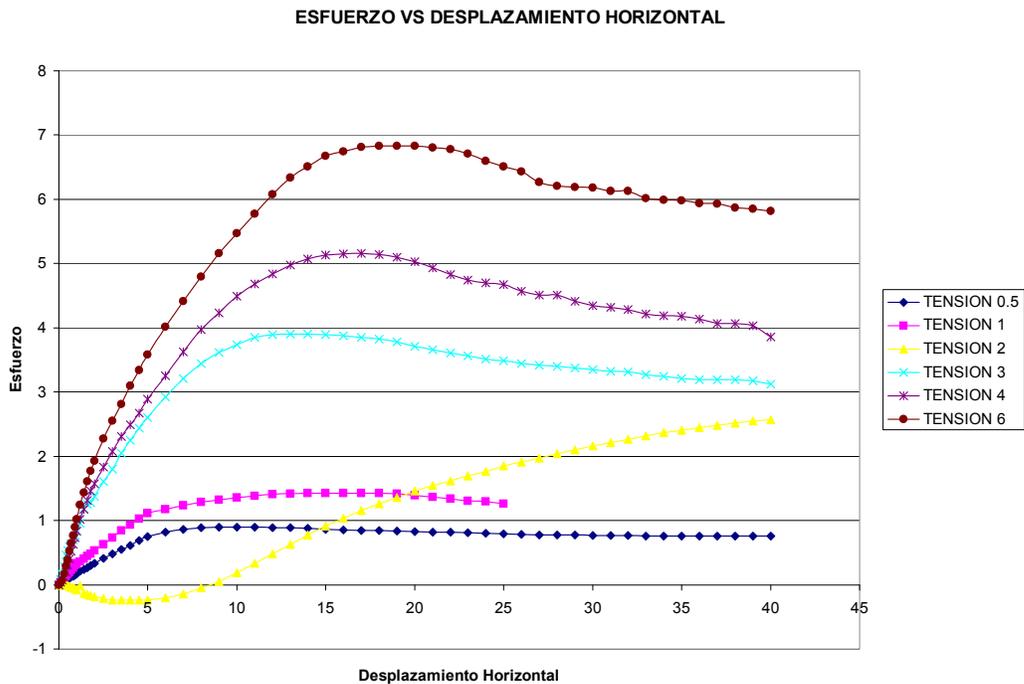
Consolidación	3	x saturación
Área Probeta	cm ²	900
Altura	cm ²	13,56
Volumen	cm ³	12204
Peso muestra	gr	24408
Consolidación	mm	-358
Calibración anillo	kg/div	76.933
Calibración dial vertical	mm	0,01
Calibración dial horizontal	mm	0,01
Contenido Humedad Natural	%	1,47
Densidad Húmeda	gr/cm ³	2,43
Densidad Seca	gr/cm ³	2
Tensión Normal	kg/cm²	6
Carga Aplicada	kgf	5400

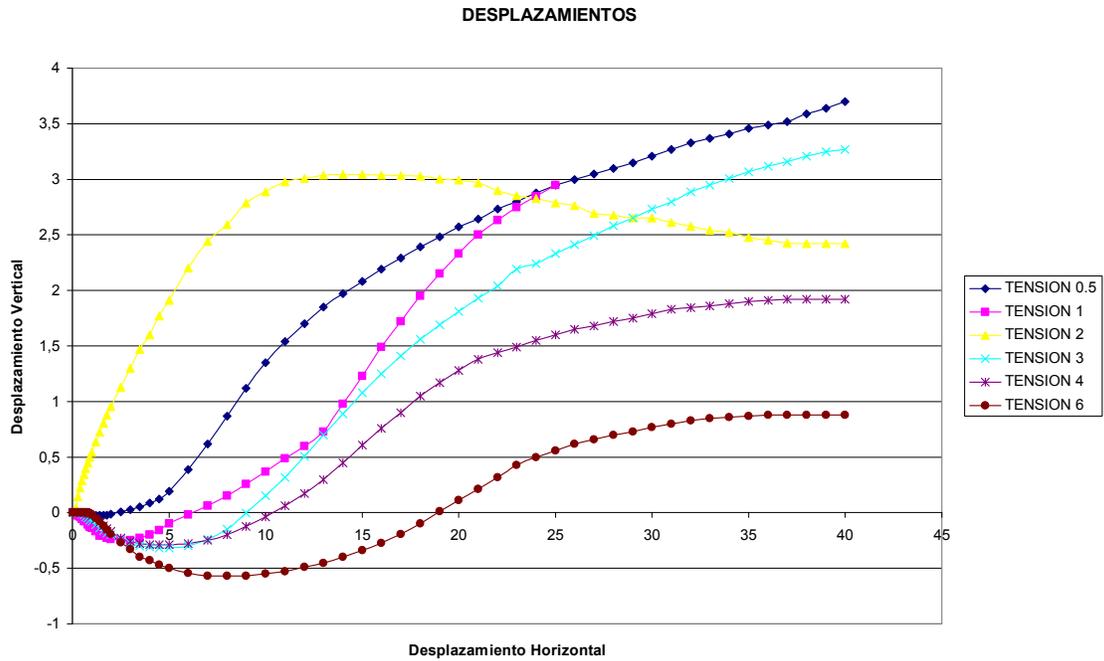
Tabla C.17.- Resumen de datos para la tensión 6

Desplazamiento Horizontal	Fuerza de corte	Desplazamiento vertical	HORIZONTAL	Fuerza corte	VERTICAL
0	0	0	0	0	0
10	2,5	0	0,1	19,233	0
20	8	0	0,2	61,546	0
30	20	0	0,3	153,87	0
40	33,5	0	0,4	257,73	0
50	45	0	0,5	346,2	0
60	61	0	0,6	469,29	0
70	76	0	0,7	584,69	0
80	90	0	0,8	692,4	0
90	105	-0,5	0,9	807,8	-0,005
100	119	-2	1	915,5	-0,02
120	145	-5	1,2	1115,5	-0,05
140	168	-8	1,4	1292,5	-0,08
160	188	-12	1,6	1446,3	-0,12
180	207	-15,5	1,8	1592,5	-0,155
200	226	-19,5	2	1738,7	-0,195
250	266	-27	2,5	2046,4	-0,27
300	298	-33	3	2292,6	-0,33
350	329	-40	3,5	2531,1	-0,4
400	362	-43	4	2785	-0,43
450	391	-47	4,5	3008,1	-0,47
500	419	-50	5	3223,5	-0,5
600	470	-54,5	6	3615,9	-0,545
700	516	-57	7	3969,7	-0,57
800	561	-57	8	4315,9	-0,57
900	603	-57	9	4639,1	-0,57
1000	640	-55	10	4923,7	-0,55
1100	675	-53	11	5193	-0,53
1200	711	-49	12	5469,9	-0,49
1300	741	-45,5	13	5700,7	-0,455
1400	762	-40	14	5862,3	-0,4
1500	781	-34	15	6008,5	-0,34
1600	789	-27,5	16	6070	-0,275
1700	797	-19,5	17	6131,6	-0,195
1800	799	-10	18	6146,9	-0,1
1900	799	1	19	6146,9	0,01
2000	799	11	20	6146,9	0,11
2100	796	21	21	6123,9	0,21
2200	793	32	22	6100,8	0,32
2300	785	43	23	6039,2	0,43
2400	772	50	24	5939,2	0,5
2500	762	56	25	5862,3	0,56

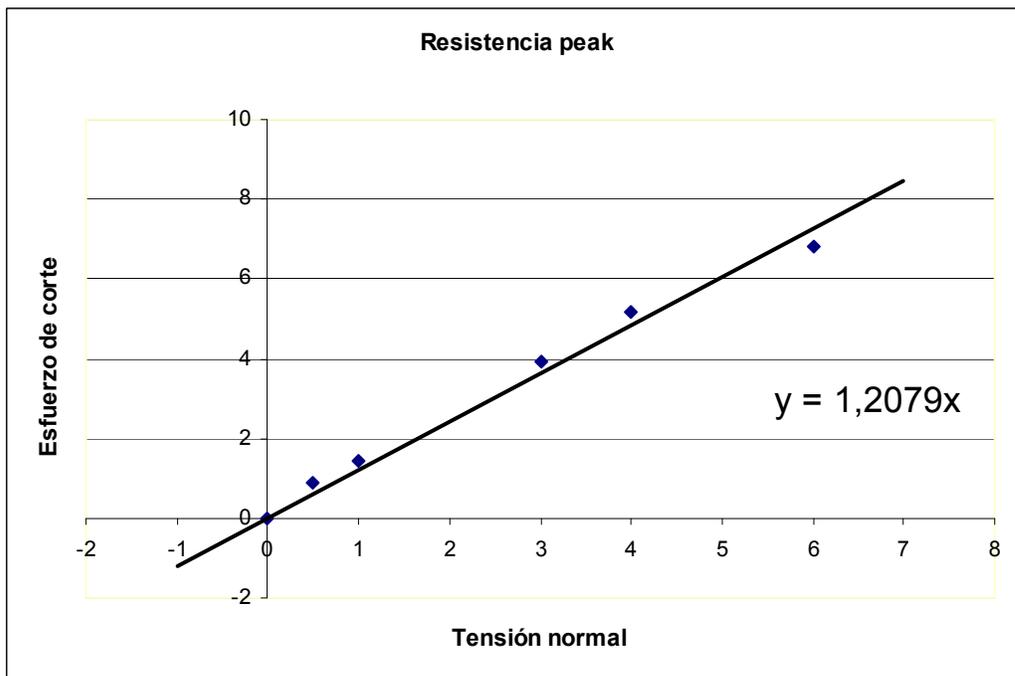
Desplazamiento Horizontal	Fuerza de corte	Desplazamiento vertical	HORIZONTAL	Fuerza corte	VERTICAL
2600	752	62	26	5785,4	0,62
2700	733	66	27	5639,2	0,66
2800	726	70	28	5585,3	0,7
2900	724	73	29	5569,9	0,73
3000	723	77	30	5562,3	0,77
3100	717	80	31	5516,1	0,8
3200	717	83	32	5516,1	0,83
3300	704	85	33	5416,1	0,85
3400	701	86	34	5393	0,86
3500	700	87	35	5385,3	0,87
3600	695	88	36	5346,8	0,88
3700	694	88	37	5339,2	0,88
3800	687	88	38	5285,3	0,88
3900	685	88	39	5269,9	0,88
4000	681	88	40	5239,1	0,88

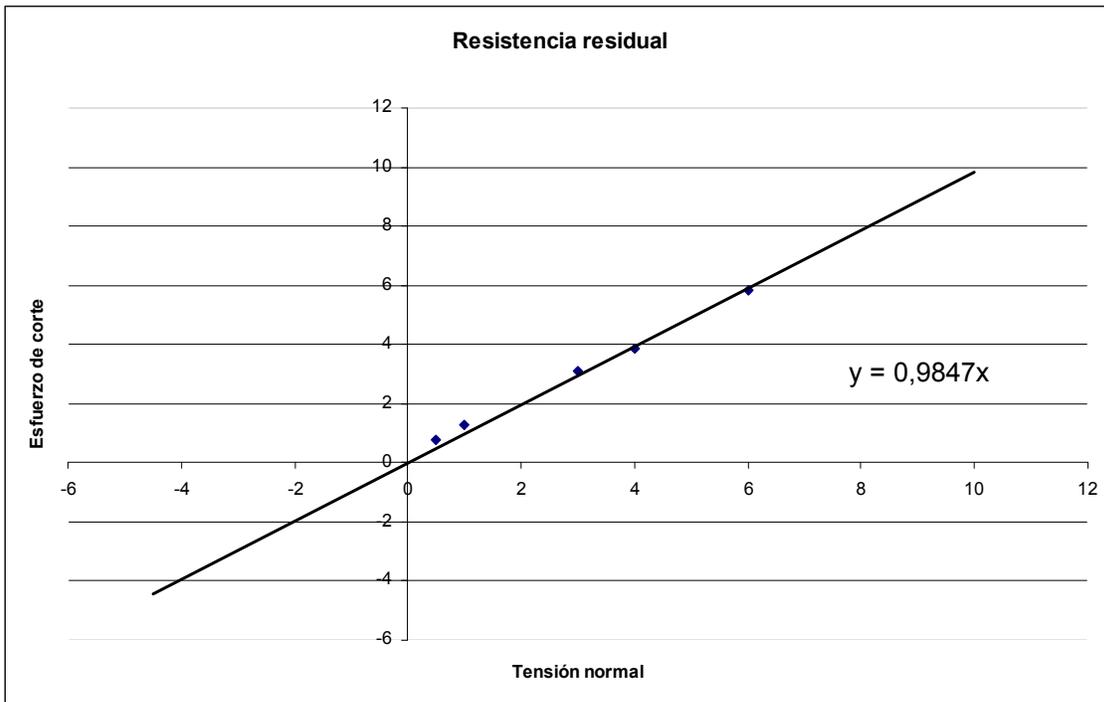
Con los datos de la planilla derecha, se obtienen los gráficos de esfuerzo v/s desplazamiento horizontal y desplazamiento vertical v/s desplazamiento horizontal, de cada una de las tensiones aplicadas.





Luego de tener los gráficos, debemos construir la envolvente de falla. Se tiene la curva de los esfuerzos máximos para cada tensión utilizada.





RESUMEN PROPIEDADES GEOTECNICAS DEL SUELO

Clasificación del suelo (USCS)	GW
Densidad seca	2.0 (gr./cm ³)
Angulo de fricción	50,4°
Angulo de fricción residual	42,25°
Cohesión	0
Cohesión residual	0