



UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS
DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA

**SUSCEPTIBILIDAD DE REMOCIONES EN MASA EN CUENCA LAS
ZORRAS, AFECTADA POR CATÁSTROFE INCENDIARIA, COMUNA DE
VALPARAÍSO, ABRIL 2014**

MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE GEÓLOGO

FELIPE ANDRES FUENZALIDA MANSILLA

PROFESOR GUÍA:

MARÍA FRANCISCA FALCÓN HERNÁNDEZ

MIEMBROS DE LA COMISIÓN:

MARISOL LARA CASTILLO

SOFÍA REBOLLEDO LEMUS

SERGIO SEPÚLVEDA VALENZUELA

SANTIAGO DE CHILE

2015

**RESUMEN DE LA MEMORIA PARA OPTAR AL
TÍTULO DE: Geólogo**

POR: Felipe Andrés Fuenzalida Mansilla

FECHA: 7 de Mayo 2015

PROFESOR GUÍA: María Francisca Falcón
Hernández

**SUSCEPTIBILIDAD DE REMOCIONES EN MASA EN CUENCA LAS
ZORRAS, AFECTADA POR CATÁSTROFE INCENDIARIA,
COMUNA DE VALPARAÍSO, ABRIL 2014**

La Comuna de Valparaíso se caracteriza por sus pendientes de laderas y quebradas pronunciadas, además de su expansión habitacional desmedida durante el tiempo. La recurrencia de incendios forestales es elevada, y el evento incendiario de abril del 2014 ha quedado en la retina de la comunidad, y del país.

En éste estudio se aplica la metodología de Lara (2007) para evaluación de susceptibilidad y peligro de remociones en masa. Ésta ha sido modificada para adecuarse a las características de la cuenca Las Zorras, ubicada en la zona este de la Comuna de Valparaíso, la cual ha sido afectada en parte por el incendio.

La aplicación de la metodología se ha centrado en lo referente a susceptibilidad de remociones en masa de tipo deslizamiento de suelos traslacionales, y flujos de detritos, determinando diferentes factores y asignando ponderaciones, en base a las características de la zona (considerando el factor incendio en el análisis). Mediante el uso de bibliografías, datos computacionales y trabajo de terreno se han realizado mapas de susceptibilidad para la zona estudiada.

La cantidad de eventos de remoción en masa (principalmente deslizamientos de suelo o roca, flujos detríticos y caídas de roca) producidos en la zona se han registrado desde 1864, y han sido asociados a períodos de intensas lluvias, lo cual califica este factor como el principal desencadenante.

Entre las zonas catalogadas como de alta susceptibilidad se encuentran las densamente pobladas, con escasa vegetación y con pendientes de ladera o quebradas pronunciadas. Las zonas se consideran más susceptibles a deslizamientos de suelo que a flujos de detritos, por prevalecer el factor pendiente por sobre los demás (en el caso de condiciones pre-incendio). Para mantener los umbrales de la metodología utilizada se modificaron ciertos factores (vegetación, factor antrópico y pendientes), con el fin de reflejar las características de la zona estudiada.

Aunque el incendio abarca una extensa zona, sólo produjo un cambio considerable en cuanto a flujos de detritos, por afectar tanto a la cobertura vegetal como a la formación de niveles impermeables superficiales.

La metodología, consideraciones y ponderaciones son aplicables a la mayor parte de la Comuna de Valparaíso, por poseer las mismas características que la zona estudiada.

"¿Hemos vencido a un enemigo? A ninguno, excepto a nosotros mismos. ¿Hemos ganado un reino? No, y no obstante sí. Hemos logrado una satisfacción completa, hemos materializado un objetivo. Luchar y comprender, nunca el uno sin el otro, ésta es la ley."

George Mallory.

A mis padres, hermana, y a la pequeña Rafaela.

AGRADECIMIENTOS

Sin duda son muchas las personas a las cuales les agradecería este largo tramo, es la culminación de un duro viaje.

A mi familia, por el apoyo, la confianza y la paciencia en las largas noches de desvelo. Incluso a ti Caro, llegaste hace poco, pero te siento como si fueran años, gracias por la paciencia, el ánimo, la comprensión, por haberme revisado el trabajo antes de la entrega, pero sobre todo por quererme como soy.

A mis amigos de sección, y los pocos que siguieron en contacto directo. A la Magda, Alvariño, Carito, Pelao, a PabloPablo y Mato por el alojamiento, las pelis y las pizzas, y especialmente a la Maca y a Tito, por las juntas, los cafés y las anécdotas universitarias. Master Alfredo, en este momento podemos tocar "The Final Bell".

A los 7 pastas del apocalipsis, a lo peor de Geo, Ruso, Metalero, Golborne, Forrest, Suavetón y Gran Jefe. Tantas cervezas y tantas llegadas a la casa sin saber cómo. También al Tuqui, al Pablo, al Talo y al Chiri.

Cómo no agradecer al equipo que estuvo detrás de esto. A Francisca, una gran profe guía, siempre disponible para ayudarme, a la profe Marisol, por su preocupación y su apoyo, y a los profes Sergio y Sofía por darse el tiempo de evaluar y revisar este trabajo. En la oficina obviamente agradezco al Manuel, Enrique, Alejandro y Hugo, por la paciencia y experiencia que entregaron.

Al SERNAGEOMIN por el financiamiento de este trabajo y al Departamento de Geología de la Universidad de Chile por la facilitación de sus instalaciones e instrumentos.

Y a ti Rafa, ya tienes casi 7 meses y no te das cuenta, pero llenas de alegría tus alrededores.

TABLA DE CONTENIDO

1	INTRODUCCION.....	9
1.1	Formulación del estudio propuesto	9
1.2	Objetivos	10
1.2.1	Objetivo General.....	10
1.2.2	Objetivos Específicos	10
1.3	Ubicación y vías de acceso.....	11
1.4	Metodología	13
2	ANTECEDENTES	14
2.1	Geología y Geomorfología.	14
2.1.1	Geomorfología Regional y relieve.....	14
2.1.2	Unidades de Rocas Estratificadas	14
2.1.3	Rocas intrusivas	15
2.1.4	Rocas Metamórficas	15
2.1.5	Estructuras	16
2.1.6	Geología del Cuaternario.....	16
2.2	Antecedentes de Peligros Geológicos en la 5ta Región.....	18
2.2.1	Inundaciones	18
2.2.2	Remociones en Masa	18
2.2.3	Sismos.....	20
2.3	Antecedentes de Incendios en la 5ta Región	21
3	METODOLOGIA	22
3.1	Estudios preliminares de gabinete (G1)	23
3.2	Estudios en terreno (T1).....	23
3.3	Trabajo de gabinete (G2)	24
3.4	Trabajo de laboratorio.	30
4	AREA DE ESTUDIO	31
4.1	Geomorfología y relieve	31
4.2	Geología.....	31
4.2.1	Unidades de roca.....	31
4.2.2	Unidades de suelo	31
4.3	Geotecnia	33
4.4	Hidrología e Hidrogeología.....	38
4.5	Vegetación	38
4.6	Clima	41

4.6.1	Generalidades	41
4.6.2	Precipitaciones	41
4.7	Actividad Antrópica.....	42
4.8	Factor Incendio	44
4.9	Eventos de remoción en masa en zona de estudio.....	45
5	EVALUACION DE SUSCEPTIBILIDAD POST-INCENDIO.....	48
6	DISCUSIONES	57
6.1	Respecto de la metodología.....	57
6.2	Respecto del estudio de susceptibilidad	59
6.3	Respecto del efecto del incendio	61
6.3.1	Disminución de vegetación.....	61
6.3.2	Cambios en la geotecnia y permeabilidad	63
7	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	64
8	BIBLIOGRAFIA.....	66
	ANEXOS	70
	ANEXO A. MAPAS ZONA DE ESTUDIO.....	71
	ANEXO B. ENSAYO DE MUESTRAS	73
	ANEXO C. RESULTADOS DE ENSAYOS	82
	ANEXO D. DETALLE DE PUNTAJES PARA MAPAS DE SUSCEPTIBILIDAD	90
	ANEXO E. INVENTARIOS Y NOTAS	98

INDICE DE TABLAS

Tabla 2.1: Estadísticas de incendios forestales en la Comuna de Valparaíso y áreas afectadas (hectáreas).....	21
Tabla 3.1: Ponderación Máxima de Factores condicionantes de deslizamientos de suelo (Modificado de Lara, 2007).....	25
Tabla 3.2: Ponderación máxima de factores condicionantes de flujos de detritos (Modificado de Lara, 2007).....	25
Tabla 3.3: Desglose de Factores condicionantes a Deslizamientos de suelo (en base a Lara, 2007).....	26
Tabla 3.4: Desglose de Factores condicionantes a Flujos de detritos (en base a Lara 2007).....	28
Tabla 4.1: Tabla resumen de Geotecnia de suelos en zona de estudio.....	36
Tabla 4.2: Coordenadas de ubicación de extracción de muestras en terreno.....	36
Tabla 4.3: Tabla de clasificación de Vegetación mediante índice NDVI (Yokens, 2001).	39
Tabla 4.4: Categorías de clasificación de vegetación (modificado de Yokens, 2001). ...	39
Tabla 4.5: Valores Normales de Precipitación por Región por mes en mm (1961-1990) (Modificado de Leyton, 2014).	41
Tabla 4.6: Precipitaciones normales por estación en mm (1961-1990) (Modificado de Leyton, 2014).	42
Tabla 4.7: Áreas importantes referentes a cuenca estudiada.	42
Tabla 4.8: Cantidad de eventos de remoción en masa ubicados en la zona de estudio o en zonas aledañas, en base a los registro de Lépez et al. (2005), Muñoz (2013) y los datos obtenidos en terreno.....	45
Tabla 5.1: $IS \geq 50$ para deslizamiento de suelos traslacionales.	48
Tabla 5.2: $IS \geq 50$ para flujos de detritos.....	49
Tabla 5.3: Comparación entre el área susceptible a eventos de remoción en masa y el área de unidades geomorfológicas con eventos declarados.....	49
Tabla 5.4: Unidades afectadas por incendio, que cambiaron su clasificación de susceptibilidad a deslizamientos de suelo.....	55
Tabla 5.5: Unidades afectadas por incendio, que cambiaron su clasificación de susceptibilidad a flujos de detritos.....	55
Tabla 6.1: Porcentajes de área para diferentes clasificaciones de susceptibilidad a deslizamientos de suelo dentro de la zona de estudio.	60
Tabla 6.2: Porcentajes de área para diferentes clasificaciones de susceptibilidad a flujos de detritos dentro de la zona de estudio.	60
Tabla 6.3: Parámetros generales de parcelas experimentales en regiones de Valparaíso y Los Lagos (Pinilla, 2009).	63

INDICE DE FIGURAS

Figura 1.1: Mapa 5ta Región de Valparaíso. (Turiscom, 2004)	11
Figura 1.2: Comuna de Valparaíso, 5ta Región de Valparaíso.	12
Figura 2.1: Diagramas de roseta de tres líneas de vuelo en la zona de estudio (Lépez, et al., 2005).	16
Figura 2.2: Extracto de Carta Geológica Valparaíso-Curacaví (Gana et al. 1996).	17
Figura 2.3: Gráfico de correlación de inundaciones con eventos de remoción en masa en las comunas de Valparaíso, Viña del Mar y Concón (Lépez et al. 2005).	19
Figura 2.4: Mapa de ubicación de sismos en Chile central (SHOA, 1994)	20
Figura 2.5: Distribución espacial de incendios en 23 años y tendencia espaciales en la 5ta región (Castillo et al., 2009).....	21
Figura 3.1: Esquema de Metodología de Lara (2007)	22
Figura 4.1: Mapa de pendientes y quebradas de la zona de estudio.	32
Figura 4.2: Muestra de suelo residual intacto.....	34
Figura 4.3: Suelo residual afectado por incendio.	34
Figura 4.4: Suelos de depósitos estuariales.....	35
Figura 4.5: Suelos de depósitos coluviales	35
Figura 4.6: Mapa de delimitación de tipos de suelo dentro de área de estudio, basado en Gana et al. (1996) y Álvarez (1964).	37
Figura 4.7: Vegetación pre y post-incendio en zona de estudio.....	40
Figura 4.8: Cambio de uso de suelos, para el período comprendido entre 1980 y 2007 (Revollo, 2010)	43
Figura 4.9: Cortes artificial en ladera.....	43
Figura 4.10: Repelencia de suelos después del efecto del fuego (Haigh, 2009).....	45
Figura 4.11: Eventos declarados en la zona estudiada.....	46
Figura 4.12: Mapa de remociones en zona de estudio.....	47
Figura 5.1: Mapa de delimitación de 198 unidades geomorfológicas estudiadas.....	50
Figura 5.2: Mapa de susceptibilidad a deslizamientos traslacionales en condiciones previas a incendio.	51
Figura 5.3: Mapa de susceptibilidad a deslizamientos traslacionales en condiciones posteriores al incendio.	52
Figura 5.4: Mapa de susceptibilidad a flujos de detritos en condiciones previas a incendio.....	53
Figura 5.5: Mapa de susceptibilidad a flujos de detritos en condiciones posteriores al incendio.....	54
Figura 5.6: Cambios en clasificación de susceptibilidad a deslizamientos superficiales, post-incendio.	56
Figura 5.7: Cambios en clasificación de susceptibilidad a flujos de detritos, post-incendio.....	56
Figura 6.1: Distribución de estado de vegetación para zona afectada por incendio.....	61
Figura 6.2: Mapa temporal de condiciones de vegetación dentro de zona afectada por incendio, y delimitación dentro de cuenca de estudio.	62

1 INTRODUCCION

1.1 Formulación del estudio propuesto

Los fenómenos de remoción en masa son 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 un carácter descendente ya que están fundamentalmente controlados por la gravedad (Cruden, 1991).

Existen numerosas clasificaciones para los distintos tipos de eventos de remoción en masa, las cuales han sido proporcionadas, entre otros, por Varnes (1978), Hauser (1993) y Cruden & Varnes (1996). Las remociones en masa han sido clasificadas por estos últimos autores en las siguientes categorías principales:

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

Estas clasificaciones consideran diversos factores, como por ejemplo, los tipos de materiales involucrados (suelo o roca), el mecanismo de ruptura, 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. Son frecuentes además, los procesos combinados, como por ejemplo deslizamientos que derivan en flujos de detritos (Scott et al., 2001).

La susceptibilidad se define como la capacidad o potencialidad de una unidad geológica o geomorfológica de ser afectada por un proceso geológico determinado (Sepúlveda, 1998).

Las características de ladera del puerto de Valparaíso han sido reconocidas durante la historia por sus condiciones favorables a la ocurrencia de procesos de remoción en masa, principalmente deslizamiento de suelo y flujos de detritos. A las condiciones naturales de las laderas (alta pendiente, suelo residual arcilloso de espesor considerable producto de meteorización de rocas intrusivas y metamórficas del Paleozoico (Gana et al., 1996)) se suma la extensiva intervención antrópica, principalmente para la construcción de viviendas autorizadas e ilegales. Este último condicionante se ha convertido en el principal desencadenante de remociones en masa en los últimos años, debido a la expansión y aumento significativo de la densidad poblacional, fuera de toda norma urbanística vigente (Lépez et al., 2005; Revollo, 2010).

Entre el 12 y el 16 de abril del 2014, se produjo una de las catástrofes incendiarias más significativas en la región, consumiendo una superficie de 965,2 hectáreas, de las cuales 28,2 hectáreas correspondían a superficie ocupada por viviendas (Onemi, 2014). Este incendio, generó un impacto directo en el suelo residual de la zona.

Específicamente relacionado a la generación de remociones en masa se pueden destacar dos aspectos: la eliminación de la cobertura vegetal, que protege el suelo de la erosión y de la generación de remociones en masa, actuando como estabilizante y contrarrestando el efecto gravitacional (Jackson & Roering, 2008); y la impermeabilización de los suelos, debido a la presencia de cenizas, y el efecto provocado por el intenso calor generado por el fuego, que calcina las arcillas, genera un efecto de “greda cocida” en la superficie y remueve partículas hidrofóbicas hacia niveles inferiores, las cuales disminuyen la permeabilidad (Haigh, 2009). Esto conlleva a un aumento considerable de la escorrentía superficial durante eventos de precipitaciones y a su vez un aumento de erosión de los suelos, lo que contribuye a la generación de remociones en masa de tipo flujo detrítico o de barro (aluviones), de gran poder destructivo debido a las altas pendientes de las quebradas de la zona y a la canalización (Cannon et al., 2008; Santi et al, 2008).

La ocupación del fondo de las quebradas en los sectores urbanizados y consolidados de la ciudad y de las zonas con pendientes pronunciadas, constituyen condiciones de alto riesgo para la construcción, según lo define el Plan Regulador Metropolitano de Valparaíso (PREMVAL), además estos sectores han sido delimitados con claridad cartográfica moderada a baja, ya sea por su cercanía a quebradas, o por pendientes pronunciadas. No obstante, las restricciones no prohíben la ocupación de éstas zonas, sólo establecen los estudios y obras que se deben proponer para levantar construcciones (PREMVAL, 2010; PRC, 2010).

Lépez et al. (2005), realizaron un estudio referente a remociones en masa históricas en las comunas de Valparaíso, Viña del Mar y Concón, considerando como factor principal la pendiente de las laderas. Ya que el estudio se realizó tomando en cuenta factores naturales del terreno, no se tiene consideración de los efectos que puede provocar un incendio en la generación de remociones en masa en la zona abarcada (disminución de vegetación y permeabilidad).

Es indispensable el estudio de los nuevos factores condicionantes a remociones en masa (asociados al incendio), ya sea para la mitigación de futuros eventos, o para la correcta implementación y construcción de viviendas temporales y permanentes en la zona afectada por la catástrofe incendiaria y sus alrededores.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo General

Determinación de susceptibilidad de remociones en masa en la cuenca Las Zorras, Comuna de Valparaíso, luego de la catástrofe incendiaria de abril 2014.

1.2.2 Objetivos Específicos

Determinar condicionantes de remociones en la zona de la cuenca afectada por incendio, contraste con zona de la cuenca no afecta al siniestro y determinación de parámetros de susceptibilidad de deslizamientos y flujos de detritos.

Elaborar mapas de susceptibilidad de remociones en masa en la zona estudiada para deslizamiento de suelos y flujos de detritos (Escala 1:20.000).

1.3 Ubicación y vías de acceso

La comuna de Valparaíso se ubica en la 5ta región de Valparaíso, a los 33°04' S y 71°38'W (Figura 1.1). La zona a estudiar se ubica en el sector central de la comuna, y tiene un área aproximada de 9,8 km² (Figura 1.2). Se ubica entre las calles Av. Santos Ossa por el este, Camino la Pólvora por el sur, El Vergel y Carlos Rogers por el oeste y Santos Ossa por el norte.

Las vías de acceso son variadas, comprendiendo calles, escaleras y pasajes públicos en la primera mitad norte de la zona. La segunda mitad se compone por caminos rurales, y algunos privados, por los cuales no se puede acceder por falta de permisos.

Los cerros que comprenden el estudio son principalmente el Cerro Santa Elena, Rocuant, Ramaditas, Polanco, O'Higgins, La Virgen y Molino.

Debido a la alta densidad poblacional, los puntos altos con vista panorámica son los más útiles en cuanto a visibilidad de posibles puntos de remociones históricas, o acumulación de material que pudiera generar flujos.

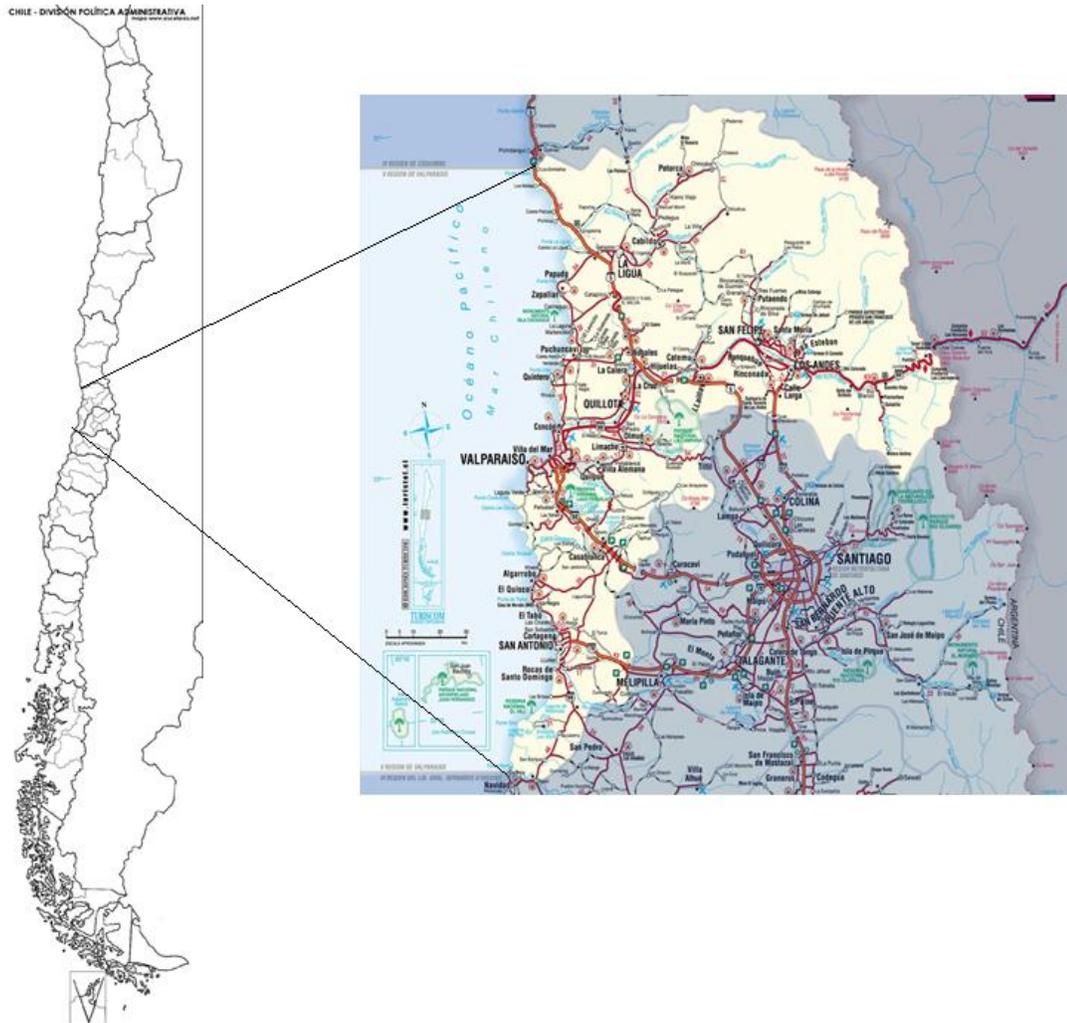


Figura 1.1: Mapa 5ta Región de Valparaíso. (Turiscom, 2004)

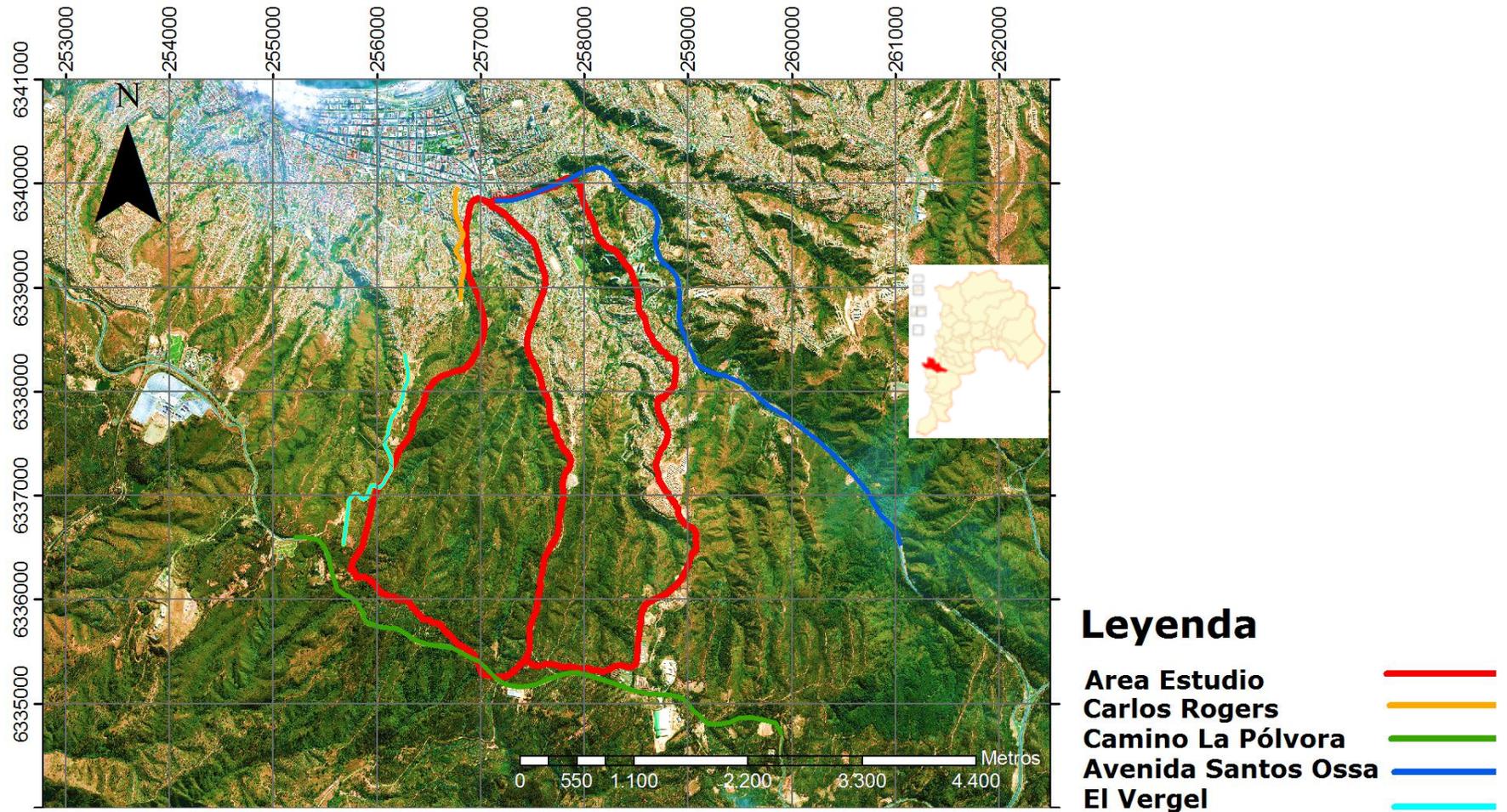


Figura 1.2: Comuna de Valparaíso, 5ta Región de Valparaíso. Demarcado en rojo se observa el área de estudio.

1.4 Metodología

Este trabajo consta de actividades de gabinete, terreno y laboratorio.

El trabajo de gabinete consiste en recopilar y analizar los antecedentes bibliográficos, fotos aéreas, datos de terreno y elevación, etc. La información recopilada en este proceso es corroborada posteriormente con los estudios de terreno pertinentes.

El trabajo de terreno consiste en determinar indicios de posibles zonas de remociones en masa históricas, puntos de acumulación de material disgregado u obstrucciones, pendientes favorables y quebradas o sitios críticos. Además, se describen los suelos mediante ensayos in situ de resistencia, contenido de humedad y vegetación, y se extraen muestras con el fin de realizar ensayos posteriores para determinar otras características de los suelos observados.

El trabajo de laboratorio consiste en el análisis de muestras obtenidas en terreno, con el fin de realizar una caracterización del suelo detallada.

En el capítulo 3 se presenta el detalle metodológico propuesto por Lara (2007) para el estudio de susceptibilidad a remociones en masa.

2 ANTECEDENTES

2.1 Geología y Geomorfología.

Los antecedentes mostrados corresponden a la zona central de la comuna de Valparaíso, basados en la carta geológica desarrollada por Gana et al. (1996) y el estudio de Peligro de remociones en masa e inundaciones de López et al. (2005). Para ver ubicación y extensión de unidades geológicas ver figura 2.2.

2.1.1 Geomorfología Regional y relieve

Las principales características de relieve en las costas de la región de Valparaíso corresponden al desarrollo de cordones de cerros de variada altitud, un notorio control estructural de la orientación de los valles y la existencia de sectores llanos en el área costera, actualmente ocupados por zonas urbanas. Valparaíso constituye un anfiteatro que se encuentra limitado por numerosos cerros de alturas entre 150 y 300 m s.n.m, que exhiben una fuerte disección longitudinal con quebradas profundas, largas y, en general, escarpadas (López et al., 2005).

Terrazas de abrasión (QTt)

Unidades morfológicas de erosión marina, labradas sobre intrusivos paleozoicos y jurásicos y formaciones sedimentarias terciarias, preservadas en la zona costera, a cotas variables entre los 40 y 550 m s.n.m. Dentro de este grupo se incluyen terrazas de abrasión sin cubierta sedimentaria, terrazas con una cubierta de arenas cuarzosas, posiblemente marinas, y terrazas con cubierta aluvial (Gana et al., 1996). Se ubican en variadas zonas de la comuna de Valparaíso.

Terrazas marinas

Asociadas a los depósitos marinos del Pleistoceno-Holoceno (Qm). Su morfología aterrazada se reconoce hasta 5 km al este de la costa actual bajo la cota 25 m s.n.m (Gana et al., 1996).

Dunas Transversales

Asociadas a depósitos eólicos y litorales actuales (Qe). Poseen estratificación cruzada y ondulitas superficiales. Sus morfologías indican dirección del viento predominante en sentido NNE (Gana et al., 1996).

2.1.2 Unidades de Rocas Estratificadas

Estratos de Potrero Alto (Tqpa)

Depósitos sedimentarios medianamente consolidados de conglomerados, areniscas y limolitas con restos vegetales mal preservados de probable edad Mioceno? O Plioceno-Pleistoceno?. Estos estratos continentales de tipo aluvial poseen contacto depositacional sobre unidades intrusivas paleozoicas y jurásicas y se encuentran cubiertos por sedimentos aluviales y suelos cuaternarios (Wall et al., 1996).

2.1.3 Rocas intrusivas

Dentro de los cuerpos plutónicos emplazados en la zona central de la comuna de Valparaíso se cuentan diversos intrusivos jurásicos, entre los cuales se destacan las unidades Sauce (Js), Laguna Verde (Jlv) y parte de la unidad Limache (Jlt) (Gana et al., 1994). Estos complejos plutónicos corresponden a la litología que cubre la mayor parte del territorio de la comuna de Valparaíso.

Unidad Laguna Verde (Jlv)

Corresponden a anfibolitas, ortoanfibolitas, gneises anfibólicos, dioritas y monzodioritas foliadas y gabros. Rocas de color gris oscuro a medio, grano medio a fino, con frecuente foliación magmática y en parte dinámica (gnéisica y milonítica). Estas rocas corresponden a plutones compuestos, de tamaño inferior a 16 km de largo, restringidos a la costa entre Laguna Verde y Punta Gallo. Intruyen ortogneises y granitoides paleozoicos, originando zonas bandeadas y de enclaves magmáticos (Gana et al., 1994). Sus afloramientos se ubican en la zona oeste de la comuna de Valparaíso.

Unidad Sauce (Js)

Corresponde a un Plutón de composición básica a intermedia, compuesto predominantemente por dioritas cuarcíferas de piroxeno-hornblenda-biotita, con tonalitas de hornblenda-biotita y gabros subordinados. Rocas de color gris oscuro a medio, grano medio a fino, con texturas inequigranular seriada e intergranular, en parte foliada, de origen magmático y también tectónico. Contactos graduales con intrusivos jurásicos Jlv (Gana et al., 1994). Sus afloramientos se ubican en la zona central de la comuna de Valparaíso, al este de la unidad Laguna Verde (Jlv).

Unidad Limache (Jlt)

Corresponden predominantemente a tonalitas y granodioritas de anfíbola-biotita. Rocas de color gris claro, grano medio a grueso, con escasas inclusiones microdioríticas subredondeadas. Afloran en una franja continua nornoroeste de 55 km de largo, entre Quilpué y Curacaví. Intruídas por granitoides del Cretácico con formación de zonas de enclaves magmáticos (Gana et al., 1994). Sus afloramientos se ubican en la zona este de la comuna de Valparaíso, en dirección a Quilpué.

2.1.4 Rocas Metamórficas

Complejo Metamórfico de Valparaíso (Pzmv)

Corresponden a rocas del Paleozoico Superior, integradas por rocas foliadas de protolito plutónico y sedimentario en menor proporción y son intruídas por granitoides paleozoicos. Su foliación principal es noroeste-oeste con manteos hacia el sur; pliegues similares de longitud de onda métrica a decamétrica con pequeñas zonas de cizalle dúctil que transponen la foliación principal (Gana et al., 1996). Sus afloramientos se ubican en la costa oeste de Valparaíso.

2.1.5 Estructuras

En la zona costera de la Quinta Región los principales valles poseen un notorio control estructural. En el valle del estero Marga Marga se observa un rumbo aproximado N50°W paralelo a fallas regionales de desplazamiento transcurrente sinestral (Thorson, 1999).

El análisis de lineamientos de fotografías aéreas correspondientes a tres líneas de vuelo que cubren el área costera de Valparaíso, Viña del Mar y Concón muestra dos orientaciones preferenciales de estructuras, con rumbos prácticamente a 90° entre sí, un primer set N45°W y otro N45°E (figura 2.1).

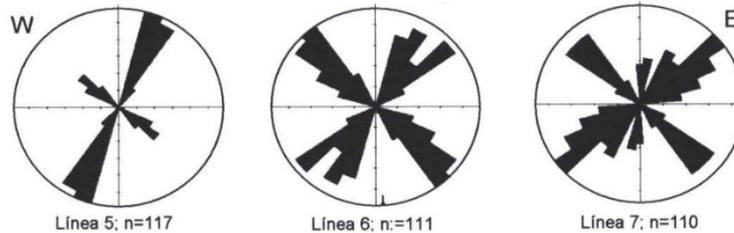


Figura 2.1: Diagramas de roseta de tres líneas de vuelo en la zona de estudio, el valor de n indica el número de lineamientos representados (Lépez, et al., 2005).

Una particularidad en el tectonismo de la zona es la tectónica de fallas con desplazamiento en el manteo como la identificada en el curso del estero Marga Marga cercano al puente ferroviario con fallas normales de orientación N80°E/45°N y N85°W/50°S (Lépez et al., 2005).

2.1.6 Geología del Cuaternario

Depósitos litorales y eólicos actuales (Qe)

Corresponden a sedimentos no consolidados de playa, compuestos por arenas y gravas de bolones bien redondeados, con estratificación plana horizontal predominante y estratificaciones cruzadas de bajo ángulo; incluye láminas arenosas conformadas por concentración de minerales pesados (Gana et al., 1996).

Depósitos aluviales (Qa)

Corresponden a sedimentos no consolidados del Holoceno, ubicados en zonas de llanura; comprenden principalmente depósitos fluviales con depósitos gravitacionales interdigitados (flujos de barro, flujos de detritos), compuestos por gravas, arenas y limos (Gana et al., 1996).

Depósitos fluviales (Qf)

Sedimentos no consolidados de cursos fluviales activos. Predominan facies de relleno de canal con base erosiva, constituidas por gravas clastosoportadas, compuestas por bolones redondeados a bien redondeados de baja esfericidad, en parte imbricados; lentes de arenas con estratificación plana-horizontal y cruzada y escasos limos finamente laminados (Gana et al., 1996).

Depósitos marinos (Qm)

Son sedimentos marinos a transicionales del Pleistoceno-Holoceno, constituidos por limos, arenas y gravas con niveles coquinoideos. (Gana et al., 1996).

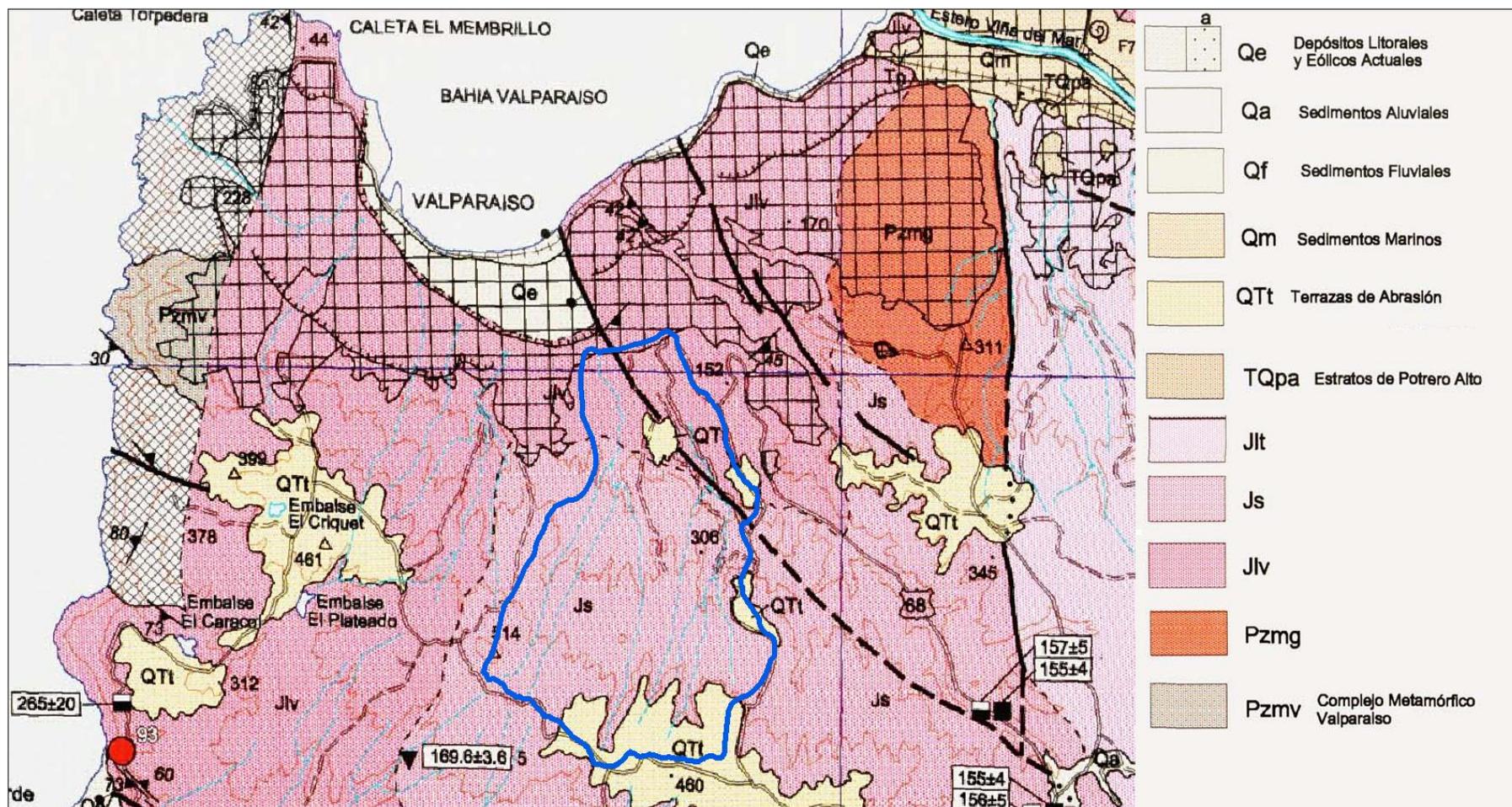


Figura 2.2: Extracto de Carta Geológica Valparaíso-Curacaví (Gana et al. 1996). Demarcado en azul se observa la ubicación y extensión de la zona de estudio.

2.2 Antecedentes de Peligros Geológicos en la 5ta Región

El estudio realizado por López et al. (2005) muestra los antecedentes asociados a peligros geológicos en las comunas de Valparaíso, Viña del Mar y Concón. Específicamente interesan los relacionados a inundaciones y remociones en masa presentes en las comunas.

2.2.1 Inundaciones

Dentro de la comuna de Valparaíso, Viña del Mar y Concón se destacan tres tipos de inundaciones: Por desborde de cauces naturales o crecidas de ríos y esteros, por desborde de cauces artificiales de la red de drenaje urbano y por efecto de marejadas en el sector costero y olas de tsunami. Referente al estudio, los más importantes son los primeros dos antes mencionados, debido a que los factores climáticos y antrópicos respectivamente, son los involucrados en la ocurrencia de éstos.

Con respecto a las inundaciones por desbordos de cauces naturales, López et al. (2005) delimitó zonas de “Moderado” y de “Bajo a Moderado” peligro. La zona de “Moderado” peligro hace referencia a áreas planas cercanas a los cauces fluviales, más altas que éstos y que han registrado inundaciones de 2 a 3 veces en 100 años. Las zonas de “Bajo a Moderado” peligro corresponden a áreas planas más altas que las anteriores, de mayor lejanía al cauce y sólo se ha registrado 1 inundación en 100 años.

Las inundaciones relacionadas al factor antrópico se asocian específicamente al colapso de desarenadores ubicados quebradas arriba, debido a la rápida acumulación de sedimentos transportados en épocas de altas precipitaciones. López et al. (2005) ha determinado que las calles quebradas abajo involucradas en este tipo de inundaciones poseen un peligro “Extremadamente Alto” con una ocurrencia de 3 a 4 inundaciones en 10 años. Cercano al plan de las ciudades se producen nuevos desbordos, asociados a la imposibilidad de evacuación de las aguas que vienen de las zonas altas, delimitando zonas de peligro “Muy Alto”, con una ocurrencia de 1 a 2 eventos en 10 años.

2.2.2 Remociones en Masa

Las remociones en la comuna de Valparaíso y aledañas, se dividen en canalizadas y no canalizadas. Las segundas hacen referencia a deslizamientos de suelo, roca, y caída de rocas. Las remociones canalizadas son de tipo flujo de barro o detritos, las cuales están enfocadas en las quebradas con altas pendientes. Dentro de los factores condicionantes a remociones en masa en la zona, destacan las altas pendientes, el tipo de suelo involucrado y las estructuras presentes en la roca, la humedad reativa y el factor antrópico.

Entre los factores desencadenantes predominan los sismos y las precipitaciones, destacándose el último factor como el principal gatillante de remociones en las comunas de Valparaíso, Viña del Mar y Concón. El estudio de López et al. (2005) muestra que la recurrencia de eventos de remociones en masa puede correlacionarse con los eventos de inundaciones (asociados a eventos de alta precipitación pluvial) en cuanto a su ocurrencia (altas precipitaciones implica mayor número de eventos de remociones en masa) (figura 2.3).

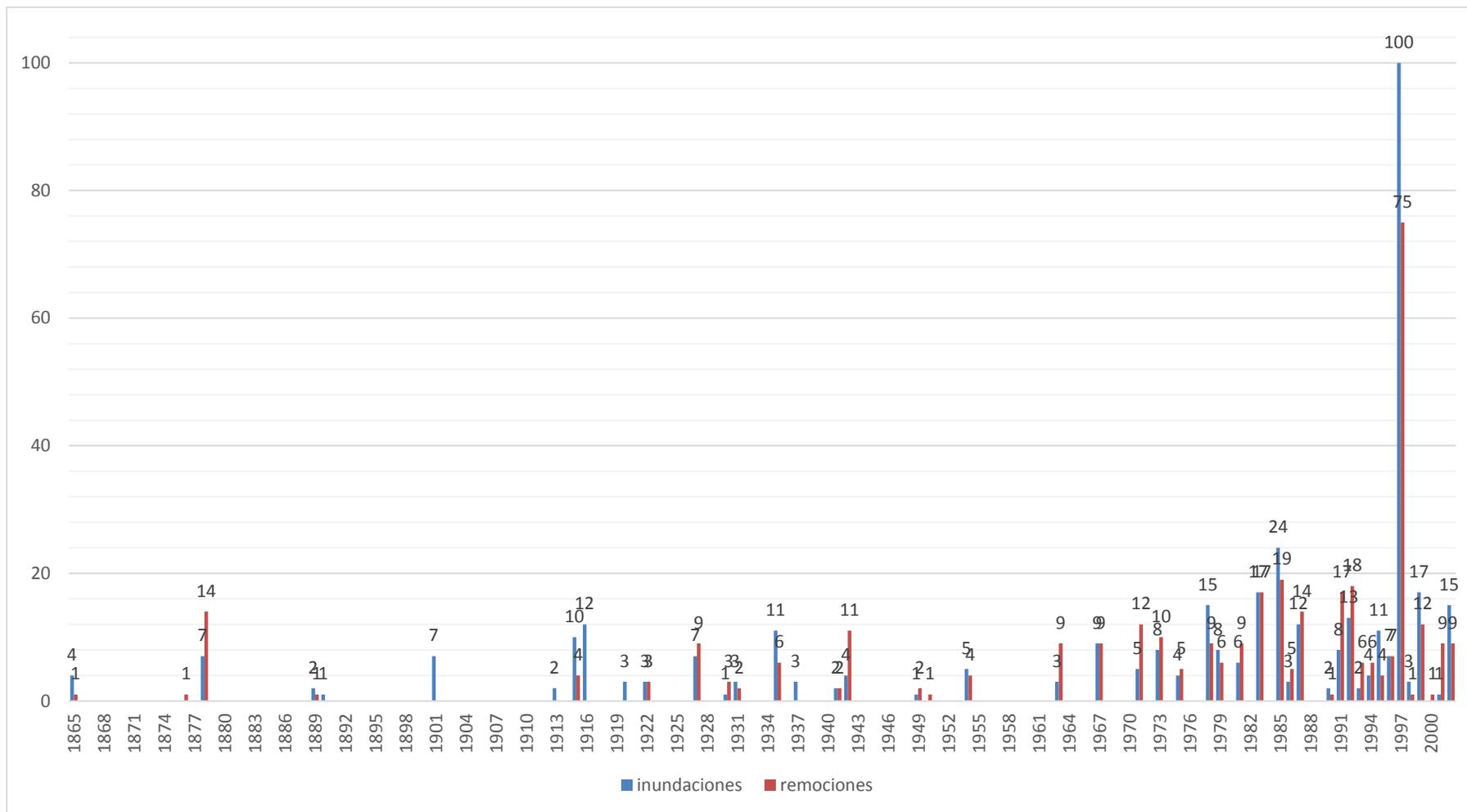


Figura 2.3: Gráfico de correlación de inundaciones con eventos de remoción en masa en las comunas de Valparaíso, Viña del Mar y Concón (López et al. 2005). Notorio es el caso del año 1997 en el cual se produjeron 100 inundaciones registradas, y más de 70 eventos de remociones en masa.

2.2.3 Sismos

En la zona de Chile Central, específicamente en la zona de los valles transversales entre los 27° y 33° de Latitud Sur, la placa de Nazca parece pegarse bajo el continente sudamericano y desciende bajo la Cordillera de los Andes y Argentina con un ángulo muy pequeño de solo unos 10° de inclinación (Madariaga, 1998), en lo que se conoce como zona de subducción plana o “flat-slab”. Si bien esta condición podría afectar la ausencia de volcanismo activo en el área (el ángulo de subducción bajo impediría la fusión de la cuña astenosférica), la V Región de Valparaíso se ha visto afectada históricamente por sismos generados en el contacto de ambas placas tectónicas (zona de Wadati-Benioff) como a los ocurridos en los años 1575, 1647, 1730, 1822, 1906, 1985 y 2010 (Ruiz y Saragoni, 2005). Comte et al. (1986), explica que todos esos sismos obedecerían a un mecanismo de tipo subducción, estimando un período de recurrencia de 82 + 6 años.

En lo que respecta a tsunamis, se han producido 5 entre los 30° - 34° S, el 19 de noviembre de 1811, el 19 de noviembre de 1822, el 16 de octubre de 1868, el 17 de agosto de 1906 y el 3 de marzo de 1985. Los terremotos de 1822 y de 1906 se centraron casi en la misma ubicación; ambos tuvieron magnitudes de 8,5 o más en la Escala de Richter y ambos causaron daños. El sismo de magnitud 7,8 que ocurrió en 1985, generó un pequeño tsunami (SHOA, 1994) (figura 2.4).

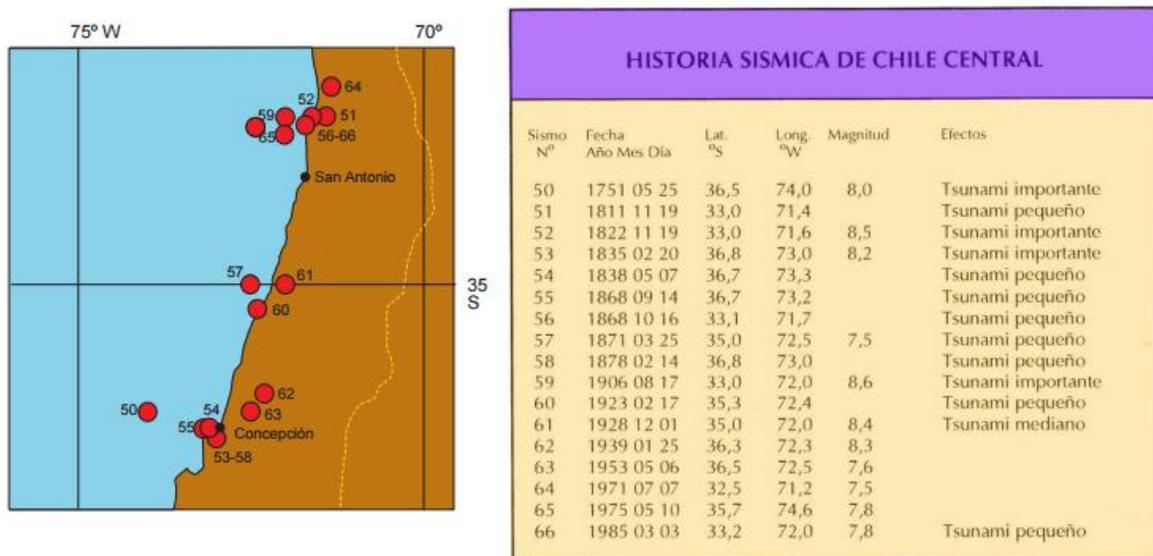


Figura 2.4: Mapa de ubicación de sismos en Chile central. A la derecha tabla resumen de historia sísmica de Chile central (SHOA, 1994).

2.3 Antecedentes de Incendios en la 5ta Región

La Región de Valparaíso en Chile Central, en particular las áreas periurbanas y rurales que rodean a las ciudades de Valparaíso y Viña del Mar, concentran cerca del 18% de los incendios de vegetación que se producen anualmente en el país, preferentemente atribuidos a causas ligadas a la actividad humana. Desde el punto de vista de la distribución geográfica de los siniestros, la mayoría son reportados en áreas vecinas a cerros y quebradas, en donde las condiciones de peligro por propagación del fuego son elevadas. Situación similar se produce en las vías de conexión hacia los centros urbanos, en donde es posible verificar patrones de recurrencia mediante el análisis geográfico de los focos de inicio de cada incendio (Castillo, 2006).

Adicionalmente a lo expuesto, la Quinta Región de Chile presenta las más altas tasas de concentración de incendios por unidad de superficie, superando a otras regiones en donde se reportan mayor cantidad de focos pero distribuidos en áreas rurales más extensas. Este es un fenómeno territorial que ha ocasionado graves impactos en la Región, si se considera que anualmente se producen en promedio unos 1050 eventos, muchos de ellos en condiciones de extrema dificultad para el combate y con cuantiosas pérdidas económicas, ambientales y sociales (Castillo, 2006).

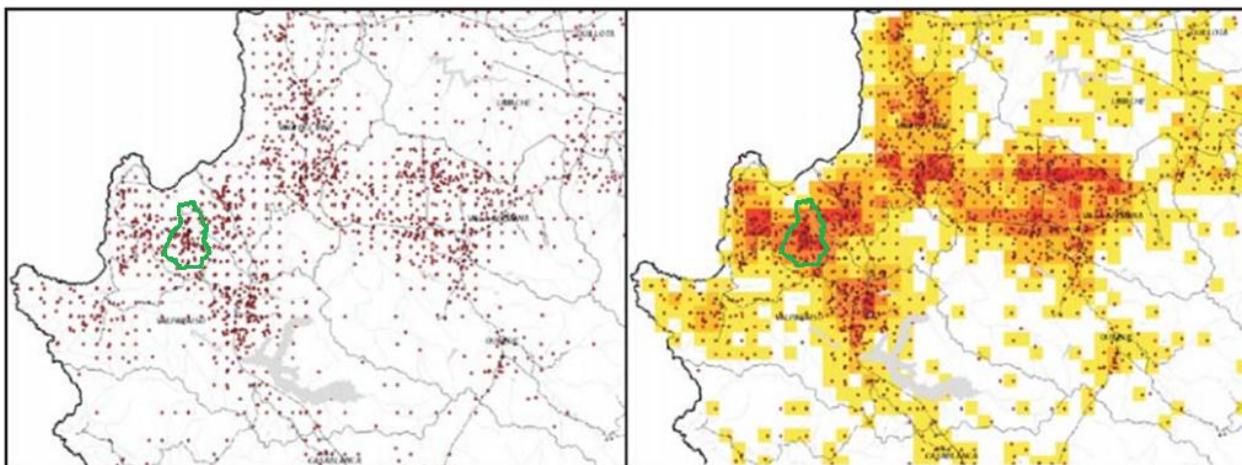


Figura 2.5: Distribución espacial de incendios en 23 años (figura izquierda), y tendencia espaciales (figura derecha) en la 5ta región, representadas por el número de incendios en cada celdilla (1 km²) (Castillo et al., 2009) Colores más rojos y vivos indican mayor recurrencia de incendios. Área de estudio demarcada en verde.

Específicamente en la comuna de Valparaíso, entre 1985 y 2013 se han reportado 6102 incendios declarados (figura 2.4), afectando una superficie de 29403 hectáreas en total. Estadísticamente se producen 7 incendios de gran magnitud (mayor a 200 hectáreas de extensión) en la 5ta región cada año (Conaf, 2014).

Tabla 2.1: Estadísticas de incendios forestales en la Comuna de Valparaíso y áreas afectadas (hectáreas).

Número de Incendios	6102
Plantaciones Forestales (ha)	13.773
Vegetación Natural (ha)	15.048
Total Forestal (ha)	28.822
Total Otras superficies (ha)	581
Total superficies afectadas (ha)	29.403

3 METODOLOGIA

El análisis de susceptibilidad de la zona de estudio está basado en la metodología de Lara (2007) para análisis de susceptibilidad y peligro de remociones en masa, con la cual se identifican zonas críticas para la generación de eventos. Para determinar la susceptibilidad en este estudio, se desarrollan las tres primeras etapas de la metodología de Lara (Figura 3.1), aplicada específicamente al estudio de deslizamientos de suelo superficial y flujos de detritos. Adicionalmente se realiza en forma parcial la clasificación de suelos referentes a las etapas T2 y L1. Aunque el estudio está basado en el área delimitada, es aplicable a zonas aledañas, por la similitud de sus características geológicas, geotécnicas y de relieve.

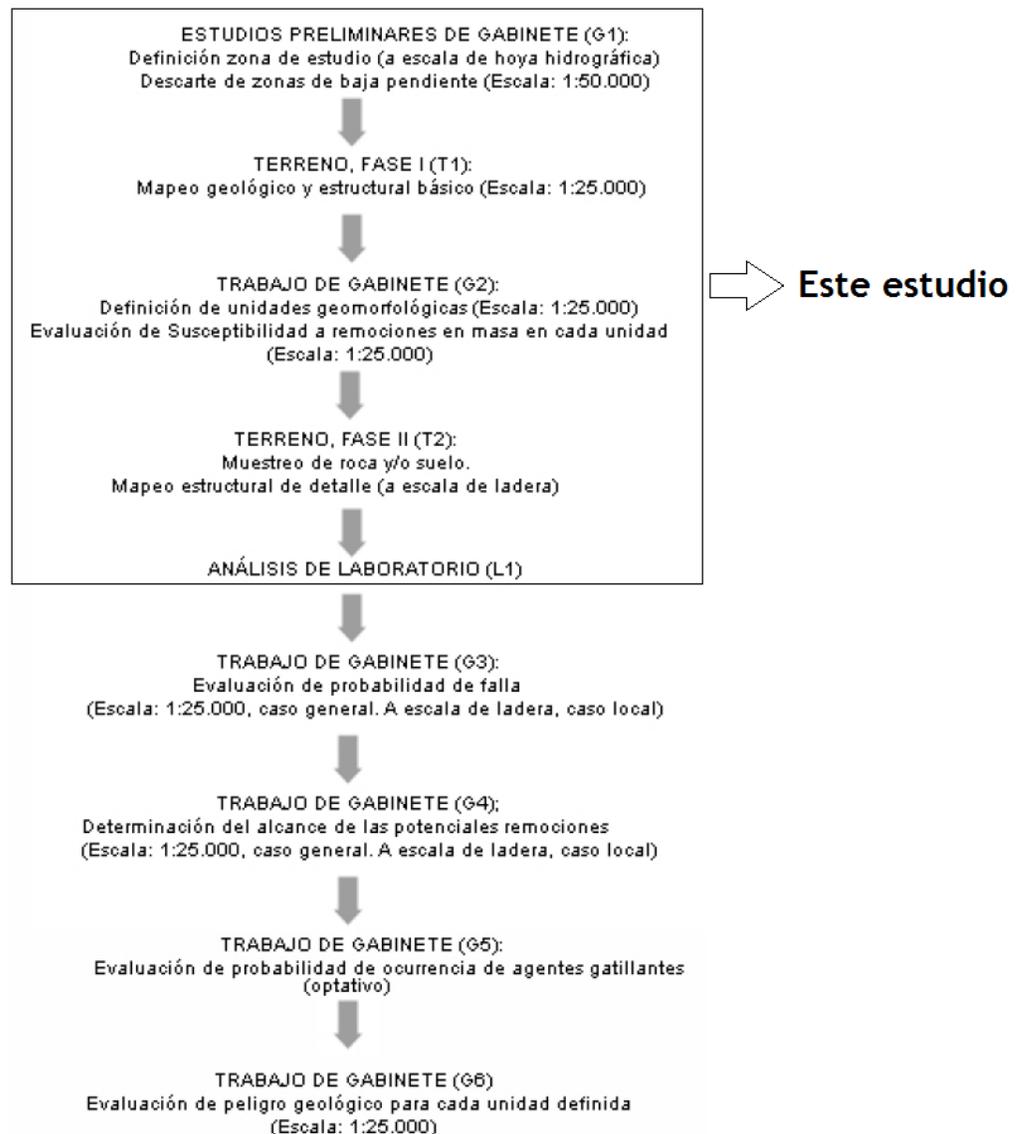


Figura 3.1: Esquema de Metodología de Lara (2007) e indicación general de tareas a realizar.

3.1 Estudios preliminares de gabinete (G1)

Esta fase consta en definir la escala y la zona a estudiar. La información recopilada en ésta etapa sería corroborada en terreno.

Mediante bibliografía se delimitan las unidades de suelo presentes en la zona de estudio, así como los posibles puntos de extracción de muestras para ensayos posteriores. Además se determinó la ubicación de las remociones históricas mediante los catastros realizados por López et al. (2005) y Muñoz (2013), para posterior revisión en terreno.

Adicionalmente se determinan las zonas de baja pendiente (menores a 10°), para su descarte en la etapa de terreno posterior.

Mediante el uso de fotografías aéreas se determina el alcance del incendio, la actividad antrópica presente y las condiciones de vegetación, posteriores al evento de abril de 2014.

3.2 Estudios en terreno (T1)

En esta etapa se realizó una campaña de 6 días de terreno, con el fin de corroborar los datos obtenidos en la etapa anterior y recopilar nuevos datos:

- Mediante observaciones en terreno se identificaron zonas en las que se produjeron remociones en masa y se observaron puntos de remociones en masa históricas, con el fin de identificar tratamientos mitigadores realizados anteriormente, o recurrencia de eventos posteriores a la fecha. Las zonas de escarpes de remociones en masa fueron determinadas por movimientos de suelo observables en condiciones de vegetación y estabilidad de construcciones (viviendas y postes de alumbrado, inestables o inclinados, exposición de raíces de árboles de gran tamaño, etc.).
- Se extrajeron muestras en los puntos determinados en la etapa previa, para análisis posteriores. Además, se determinaron características tales como densidad, humedad aparente, compacidad, consistencia y permeabilidad.
- Mediante un mapa de campo se delimitó unidades de suelo, actividad antrópica, acumulación de material, ubicación de eventos de remoción y alcance, y condiciones de vegetación, ésta última identificando qué tipo de vegetación estaba presente.
- En ésta etapa se realizaron los estudios de terreno (T2), debido a la escasez de tiempo y de recursos para realizar dos etapas de terreno por separado.

3.3 Trabajo de gabinete (G2)

En esta etapa se realizaron tres tareas principales:

1.- División de la zona de estudio en unidades geomorfológicas: Se realizó una división del área de estudio en diferentes unidades, tomando en cuenta las características de tipo de suelo (se determinó como unidad de suelo diferente a las zonas afectadas por el incendio), condiciones de pendiente y orientación de laderas (aspecto).

2.- Estudio temporal de vegetación en área quemada: Mediante el uso de imágenes satelitales Landsat 8 se realizó un análisis temporal en cuanto a tipo de vegetación presente antes y después del incendio de abril de 2014. Se utilizaron 4 imágenes (correspondientes a Octubre 2013, Junio y Octubre 2014 y Enero 2015) y se utilizó el índice NDVI (Índice de Vegetación Diferencial Normalizada) para su comparación.

3.- Evaluación de la susceptibilidad a remociones en masa: Habiendo dividido la zona de estudio en las diferentes unidades geomorfológicas, se procede a evaluar la susceptibilidad a generación de remociones en masa (específicamente deslizamientos de suelo y flujo de detritos). Éste índice de susceptibilidad (IS) se calcula como la suma de los puntajes ponderados para cada uno de los factores condicionantes, dependiendo del tipo de remoción en masa a estudiar. El resultado de esta fase es un mapa de susceptibilidad para deslizamientos y flujos de detritos, con un índice de susceptibilidad comparable que varía entre 0% y 100%. El umbral utilizado para la consideración de las diferentes susceptibilidades no fue modificado (mayor o igual a 50 para susceptibilidad alta). Con respecto al catastro de remociones, las ponderaciones de los factores asociados a cada tipo de remoción en masa fueron modificadas para representar las características del área de estudio, y satisfacer la condición de que las unidades con eventos registrados sean consideradas con susceptibilidad alta a eventos de remoción en masa asociado.

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. En el caso de deslizamientos de suelo, se determina que el factor referente a acumulación de nieve no era preponderante en el estudio, debido a la ausencia de períodos de nevazón o acumulación de nieves que pudieran afectar a la zona de estudio. El porcentaje asociado es redistribuido a la desestabilización de laderas, por ser una de las características más importantes en cuanto a la ocurrencia de eventos. Además el factor de pendiente es disminuido para evitar sobrestimación de puntajes, y redistribuido al factor vegetación. En el caso de los flujos de detritos, el factor asociado a la acumulación de nieve es suprimido, al igual que en el caso de los deslizamientos, éste puntaje es redistribuido a la desestabilización de laderas. El factor pendiente fue disminuido al igual que en el caso de los deslizamientos, y redistribuido al factor vegetación.

En las tablas 3.1 y 3.2 se presentan los puntajes máximos de los factores condicionantes de deslizamiento de suelos y flujos de detritos, respectivamente. A su vez, las tablas 3.3 y 3.4 muestran el desglose de cada uno de los factores asociados a las características de cada unidad (para ver detalle de puntaje por unidad, ver anexo D).

Tabla 3.1: Ponderación Máxima de Factores condicionantes de deslizamientos de suelo (Modificado de Lara, 2007).

FACTOR		%
GEOMORFOLOGÍA	pendiente de laderas (modificado)	30%
	exposición al sol	
GEOLOGÍA- GEOTECNIA	características geológicas-geotécnicas del material	30%
	condiciones de humedad y saturación	
CLIMA- VEGETACIÓN	acumulación de nieve (suprimido)	10%
	cobertura vegetal (modificado)	
ANTRÓPICO	desestabilización artificial de laderas (modificado)	15%
ANTECEDENTES	deslizamientos declarados en la ladera	15%
	deslizamientos declarados en la unidad de suelo	

Tabla 3.2: Ponderación máxima de factores condicionantes de flujos de detritos (Modificado de Lara, 2007).

FACTOR		%
GEOMORFOLOGÍA	pendiente de laderas (modificado)	30%
	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 (suprimido)	10%
	cobertura vegetal (modificado)	
ANTRÓPICO	obstrucción de canal de drenaje	15%
	desestabilización artificial de laderas (modificado)	
ANTECEDENTES	aluviones declarados en la hoya	10%

Tabla 3.3: Desglose de Factores condicionantes a Deslizamientos de suelo (en base a Lara, 2007).

Factores condicionantes aplicados por Lara (2007)				Modificaciones	
Factor	Especificaciones	Rangos	%	Consideraciones	%
Pendiente de Ladera (f1)	Promedio de la unidad	15°-20°	9%	Se decidió modificar la ponderación final debido a la presencia de pendientes más pronunciadas en promedio, comparadas con las pendientes de las zonas cordilleranas de Santiago.	5%
		20°-25°	15%		10%
		25°-30°	21%		15%
		30°-40°	26%		20%
		>40°	30%		25%
Exposición al sol (f2)	Para el caso de Chile central, alta exposición: laderas mirando al N, al estar expuestas al Sol todo el año. Parcial: laderas mirando al E-W. Baja: laderas mirando al S.	alta	5%	Se decidió no modificar los porcentajes de este factor debido a que se consideró que mantiene la misma preponderancia tanto en zonas cordilleranas de Santiago como en sectores de la zona estudiada.	5%
		parcial	3%		3%
		baja	1%		1%
Características geológicas-geotécnicas del material (f3)	Condiciones muy favorables para generación de deslizamiento son, entre otros, baja densidad (<1,6-1,8 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 la alta meteorización y alteración.	muy favorable	20%	Se decidió no modificar los porcentajes de este factor debido a que se consideró que mantiene la misma preponderancia tanto en zonas cordilleranas de Santiago como en sectores de la zona estudiada.	20%
		favorable	14%		14%
		medianamente favorable	10%		10%
		poco favorable	6%		6%
		muy poco favorable	2%		2%
Condiciones de humedad y saturación (f4)	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 (asociado a presencia de niveles impermeables). Saturación y mayor almacenaje favorecen generación de deslizamientos. La relación (profundidad N.F./espesor de suelo) cercana a 0 indica condiciones muy favorables de generación, ~0,5 es favorable.	muy favorable	10%	Se decidió no modificar los porcentajes de este factor debido a que se consideró que mantiene la misma preponderancia tanto en zonas cordilleranas de Santiago como en sectores de la zona estudiada.	10%
		favorable	7%		7%
		poco favorable	3%		3%
		sin antecedentes	2%		2%

Factores condicionantes aplicados por Lara (2007)				Modificaciones	
Factor	Especificaciones	Rangos	%	Consideraciones	%
Acumulación de nieve (f5)	Según estacionalidad.	siempre	5%	Se suprimió este factor debido a que la zona estudiada no presenta este tipo de condición climática.	0%
		estacional	2%		
		esporádico	1%		
		nula	0%		
Cobertura vegetal (f6)	Densidad en la ladera.	nula a baja	5%	Se decidió modificar la ponderación final debido a la presencia de zonas con vegetación abundante y densa, las cuales corresponden a más del 50% de la zona estudiada.	10%
		moderada	2%		5%
		alta	0%		0%
Desestabilización artificial de laderas (f7)	Por ejemplo cortes artificiales de laderas, construcción de terraplenes, etc.	importante	10%	Se decidió modificar la ponderación de los porcentajes debido a que el factor antrópico ha sido preponderante en la generación de eventos de remociones.	15%
		poco importante	5%		7%
		no observado	0%		0%
Deslizamientos declarados en la unidad geomorfológica (f8)	Información escrita y/u observación de escarpes y superficies de deslizamiento.	presente	10%	Se decidió no modificar los porcentajes de este factor debido a que se consideró que mantiene la misma preponderancia tanto en zonas cordilleranas de Santiago como en sectores de la zona estudiada.	10%
		sin antecedentes	3%		3%
		no observado	0%		0%
Deslizamientos declarados en la unidad geomorfológica de suelo (f9)	Información escrita y/u observación de escarpes y superficies de deslizamiento	presente	5%	Se decidió no modificar los porcentajes de este factor debido a que se consideró que mantiene la misma preponderancia tanto en zonas cordilleranas de Santiago como en sectores de la zona estudiada.	5%
		sin antecedentes	2%		2%
		no observado	0%		0%
Tipo de material (f10)	En este caso, el material roca no está en estudio, por lo tanto pondera 0 al resto de los factores.	suelo	1	Sin modificación.	1
		Roca (cobertura aproximada <1m-1,5m de suelo)	0		0

Tabla 3.4: Desglose de Factores condicionantes a Flujos de detritos (en base a Lara 2007).

Factores condicionantes aplicados por Lara (2007)				Modificaciones	
Factor	Especificaciones	Rangos	%	Consideraciones	%
Pendiente de Ladera (f1)	Promedio de la unidad	10°-15°	3%	Se decidió modificar la ponderación final debido a la presencia de pendientes más pronunciadas en promedio, comparadas con las pendientes de las zonas cordilleranas de Santiago.	1%
		15°-20°	6%		2%
		20°-25°	9%		4%
		25°-30°	11%		6%
		30°-40°	13%		8%
		>40°	15%		10%
Pendiente canal de drenaje al pie de la ladera (f2)	Promedio de la unidad. Si la unidad es sólo canal de drenaje, el puntaje f2 se asocia a f1, quedando sólo como un puntaje otorgado por "pendiente del canal".	<5°	1%	Se decidió no modificar los porcentajes de este factor debido a que se consideró que mantiene la misma preponderancia tanto en zonas cordilleranas de Santiago como en sectores de la zona estudiada.	1%
		5°-10°	5%		5%
		>10	10%		10%
Encajamiento canal de drenaje (f3)	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. Puede considerarse un valor mayor a 0,7 como encajamiento alto.	alto	7%	Se decidió no modificar los porcentajes de este factor debido a que se consideró que mantiene la misma preponderancia tanto en zonas cordilleranas de Santiago como en sectores de la zona estudiada.	7%
		medio	4%		4%
		bajo	1%		1%
Exposición al sol (f4)	Para el caso de Chile central, alta exposición: laderas mirando al N, al estar expuestas al Sol todo el año. Parcial: laderas mirando al E-W. Baja: laderas mirando al S.	alta	3%	Se decidió no modificar los porcentajes de este factor debido a que se consideró que mantiene la misma preponderancia tanto en zonas cordilleranas de Santiago como en sectores de la zona estudiada.	3%
		parcial	2%		2%
		baja	0%		0%
Características geológicas-geotécnicas del material (f5)	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%	Se decidió no modificar los porcentajes de este factor debido a que se consideró que mantiene la misma preponderancia tanto en zonas cordilleranas de Santiago como en sectores de la zona estudiada.	25%
		favorable	18%		18%
		medianamente favorable	13%		13%
		poco favorable	8%		8%
		muy poco favorable	3%		3%

Factores condicionantes aplicados por Lara (2007)				Modificaciones	
Factor	Especificaciones	Rangos	%	Consideraciones	%
Condiciones de humedad y saturación (f6)	Asociado a: (1) Capacidad de saturación por abajo (profundidad 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%	Se decidió no modificar los porcentajes de este factor debido a que se consideró que mantiene la misma preponderancia tanto en zonas cordilleranas de Santiago como en sectores de la zona estudiada.	10%
		favorable	7%		7%
		poco favorable	3%		3%
		sin antecedentes	2%		2%
Acumulación de nieve (f7)	Según estacionalidad.	siempre	5%	Se suprimió este factor debido a que la zona estudiada no presenta este tipo de condición climática.	0%
		estacional	2%		
		esporádico	1%		
		nula	0%		
Cobertura vegetal (f8)	Densidad en la ladera.	nula a baja	5%	Se decidió modificar la ponderación final debido a la presencia de zonas con vegetación abundante y densa, las cuales corresponden a más del 50% de la zona estudiada.	10%
		moderada	3%		5%
		alta	0%		0%
Obstrucción de canal de drenaje (f9)	No considera estructuras destinadas a contener los flujos	importante	5%	Se decidió no modificar los porcentajes de este factor debido a que se consideró que mantiene la misma preponderancia tanto en zonas cordilleranas de Santiago como en sectores de la zona estudiada.	5%
		moderada	4%		4%
		baja	2%		2%
		no observado	0%		0%
Desestabilización artificial de laderas (f10)	Por ejemplo cortes artificiales de laderas, construcción de terraplenes, etc.	importante	5%	Se decidió modificar la ponderación de los porcentajes debido a que el factor antrópico ha sido preponderante en la generación de eventos de remociones	10%
		poco importante	3%		5%
		no observado	0%		0%
Aluviones declarados en la hoya hidrográfica (f11)	Información escrita y/u observación e depósitos de flujos en la zona de estudio. Considerar como eventos frecuentes aquellos con recurrencia <=10 años	históricos frecuentes	10%	Se decidió no modificar los porcentajes de este factor debido a que se consideró que mantiene la misma preponderancia tanto en zonas cordilleranas de Santiago como en sectores de la zona estudiada.	10%
		históricos poco frecuentes	7%		7%
		prehistóricos	4%		4%
		sin antecedentes	1%		1%
Tipo de material (f12)	En este caso, el material roca no está en estudio, por lo tanto pondera 0 al resto de los factores.	suelo	1	Sin modificación.	1
		Roca (cobertura aproximada <1m-1,5m de suelo)	0		0

El índice de susceptibilidad de deslizamientos viene dado por:

$$IS_{DS} = (\sum f_n) * f_{10}$$

El índice de susceptibilidad de flujos de detritos viene dado por:

$$IS_{FD} = (\sum f_n) * f_{12}$$

3.4 Trabajo de laboratorio.

En laboratorio se realizaron los estudios posteriores de caracterización de suelo, dependiendo del ensayo y la muestra a realizar. Para las muestras obtenidas en terreno se realizó la corroboración de las densidades obtenidas en terreno, además de ensayos de granulometría, contenido de humedad y límites de Atterberg (plástico y líquido). Finalmente se realizó la clasificación de las muestras mediante USCS (Sistema unificado de clasificación de suelos). Para ver procedimientos de ensayos, ver Anexo B.

4 AREA DE ESTUDIO

4.1 Geomorfología y relieve

El área de estudio se caracteriza por la presencia de cerros con pendientes pronunciadas. Alcanza una superficie aproximada $9,8 \text{ km}^2$, entre los cuales se ubican los cerros Santa Elena, Rocuant, Ramaditas, Polanco, O'Higgins, La Virgen y Molino. La mayor altitud que alcanza la zona de estudio es de 508 m s.n.m. La zona posee pendientes pronunciadas, de hasta (67° de inclinación). En cuanto a la exposición al sol de las laderas se puede observar una notoria tendencia a laderas en dirección norte (figura 4.1). Depósitos de arenas estuariales indican que antiguamente existieron terrazas de abrasión las cuales alcanzaron hasta la cota 450 m s.n.m. Estas terrazas están labradas sobre intrusivos jurásicos, preservadas en la zona costera. Pueden o no poseer cubierta sedimentaria (Gana et al., 1996).

4.2 Geología

4.2.1 Unidades de roca

Se puede observar en la zona un tipo de roca predominante, el cual corresponde a rocas intrusivas del Jurásico, caracterizadas por ser de composición básica a intermedia, compuestas predominantemente por dioritas cuarcíferas de piroxeno-hornblenda-biotita, con tonalitas de hornblenda-biotita y gabros subordinados. Rocas de color gris oscuro a medio, grano medio a fino, con texturas inequigranular seriada o intergranular, en parte foliada, de origen magmático y también tectónico (Gana et al., 1996).

4.2.2 Unidades de suelo

En el área de estudio se presentan 2 tipos de suelo, los cuales se pueden clasificar en suelos residuales y suelos transportados.

Suelo residual

Cubre la mayor proporción del área estudiada, y alcanza hasta 7 metros de espesor en zonas de alta meteorización y baja erosión. Está constituida por un material pardo-rojizo que se ha descompuesto totalmente formando un limo muy arenoso con escasas cantidades arcillosas (con respecto a su tamaño de grano). En el producto subyacente desintegrado a gran profundidad, se puede reconocer la textura y estructura de la roca cristalina original, pero los minerales ya no tienen una ligazón fuerte entre sí, lo que hace que la roca sea relativamente débil; éste tipo de material ha sido designado en Chile con el nombre de maicillo (Álvarez & Grimme, 1964). Mediante cortes en los caminos, se observa una transición entre la roca altamente meteorizada (maicillo) y el suelo residual superior, el cual en ciertos puntos de estudio presenta 2 horizontes diferentes, uno con presencia de material de tamaño arenoso grueso, y uno superior con características arenosas a limo/arcillosas. El espesor del suelo residual suele disminuir con la altura y la pendiente, siendo mucho menor en zonas con pendientes más altas, debido a erosión más preponderante.

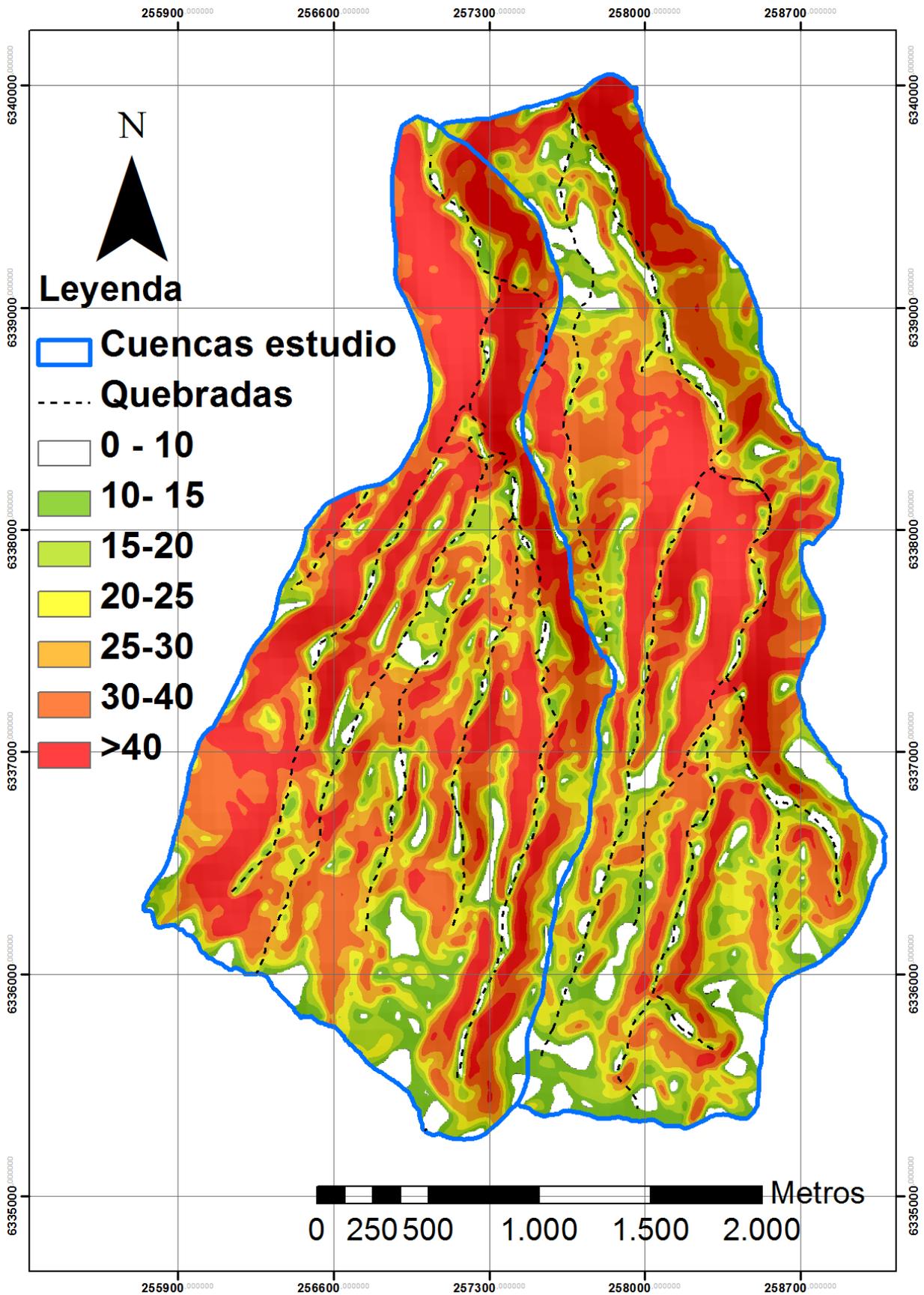


Figura 4.1: Mapa de pendientes y quebradas de la zona de estudio. Adicionalmente se ha agregado mediante transparencia una imagen hillshade con azimut 45° y una inclinación de 45° desde la horizontal.

Suelos transportados

Depósitos estuariales

Depósitos de origen estuarial y sincrónicos con los sedimentos marinos. Se disponen discordantemente sobre la superficie erosionada del zócalo de rocas plutónicas del Jurásico. Los depósitos sedimentarios están constituidos por clastos de la fracción arena. Se observan granos angulares, y en su mayoría corresponden a cuarzo; hay algunos clastos de feldespatos y otros de biotita. Se presentan derrumbes de material coluvial sobre sedimentos acuíferos y engranajes entre sedimentos marinos y fluviales. Estos rasgos sedimentarios indican que estos sedimentos fueron depositados en un ambiente estuarial, en el que alternan las condiciones marinas con las fluviales. En Valparaíso, en el cerro ramaditas, se presenta un depósito con las mismas características de los sedimentos estuariales de Viña del Mar en el que se observan variadas estructuras primarias de sedimentación, tales como estratificación cruzada, moldes de corrientes (flow-casts), estructuras de desplome, etc. (Alvarez, 1964).

Depósitos fluviales y coluviales

Los valles del área estudiada están rellenos, en parte, por arena, grava y limo que engranan o se intercalan con materiales coluviales heterogéneos. La litología representada en los clastos más gruesos de estos sedimentos es más o menos uniforme, predominando las rocas de tipo granítico con menor proporción de rocas volcánicas andesíticas (Alvarez & Grimme, 1964).

4.3 Geotecnia

Se realizó un estudio de geotecnia de suelos, debido a que las rocas en la zona no son estudiadas, y no fueron de acceso posible en la campaña de terreno. La clasificación de suelos se basa en 8 muestras obtenidas en terreno (tabla 4.2). Los suelos mostrados anteriormente se pueden clasificar geotécnicamente en 4; suelos residuales, suelos residuales afectados por incendio, depósitos estuariales de arenas cuarzosas y depósitos coluviales. Las muestras tomadas fueron de origen superficial (10 a 15 cm), por lo que no constituyen el perfil completo de suelo (figura 4.6). Además mediante la prueba de la gota (WDPT) de Van't Woudt (1959) y la clasificación de Bisdorn et al., (1993) se determinó a grandes rasgos la repelencia de los suelos (método en anexo B.1.4).

Suelos residuales (SW-SC)

Los suelos residuales han sido clasificados mediante USCS como suelos de arenas arcillosas /arenas bien seleccionadas (Muestras 6 y 8) (figura 4.2). El porcentaje de finos es de 6-7%. La densidad seca promedio es de 1,58 gr/cm³ y la densidad húmeda es de 1,78 gr/cm³, conteniendo una humedad relativa al suelo seco de 12,7%. Mediante ensayos de campo se determinó una compacidad densa y una consistencia firme. La repelencia según la clasificación de Bisdorn et al., (1993) arroja una repelencia leve (tiempo de infiltración de 6,3 segundos en promedio). Además se adjunta una tabla resumen de las características de los suelos estudiados (tabla 4.1).



Figura 4.2: Muestra de suelo residual intacto. Se caracteriza por sus colores oscuros, su humedad al tacto y su fácil disgregación.

Suelo afectado por incendio (SW-SC)

El suelo se compone por material originalmente asociado a un suelo residual afectado por el incendio. El suelo ha sido clasificado mediante USCS como suelo de arenas arcillosas/arenas bien graduadas (Muestras 1, 4, 5 y 7) (figura 4.3). El porcentaje de finos es de 8-15%, con 3 muestras cercanas a 14%. La densidad seca promedio del suelo es de $1,54 \text{ gr/cm}^3$ y la densidad húmeda es de $1,7 \text{ gr/cm}^3$, conteniendo una humedad relativa al suelo seco de 9%. Mediante ensayos de campo se determinó una compactación densa y una consistencia muy firme. Se puede suponer una cierta repelencia asociada al incendio, la cual puede alcanzar entre 30 a 60 en la escala de Tiempo de Penetración de la Gota (WDPT) (repelencia leve según Bisdom et al., (1993)) la cual varía entre 2 a 4 veces más que en los suelos residuales no afectados (tiempo de infiltración entre 16 y 50 segundos).



Figura 4.3: Suelo residual afectado por incendio. Se caracteriza por sus colores rojizos o anaranjados, su baja humedad en terreno y su dureza al excavar.

Depósitos estuariales de arenas cuarzosas (SP-SM)

El suelo está asociado a superficies de abrasión, con relleno de tipo estuarial. El suelo ha sido clasificado mediante USCS como suelo arenoso (Muestra 3) (figura 4.4). El porcentaje de finos es de 6%. La densidad seca promedio del suelo es de $1,8 \text{ gr/cm}^3$ y la densidad húmeda es de $1,95 \text{ gr/cm}^3$, conteniendo una humedad relativa

al suelo seco de 7,5%. Mediante ensayos de campo se determinó una compacidad densa y una consistencia dura. La repelencia según la clasificación de Bisdom et al., (1993) arroja una repelencia leve (12,2 segundos).



Figura 4.4: Suelos de depósitos estuariales. Se caracterizan por sus colores claros, su alta cantidad de cuarzo y su textura similar a arenas de playa.

Depósitos coluviales (SP)

Son suelos cercanos a la zona de estudio, pero que no delimitan una zona de interés extensa (Muestra 2) (figura 4.5). La clasificación USCS asociada es Arena pobremente graduada. No se pudo obtener datos de densidad, debido a que se trataba de material suelto, reciente. Mediante ensayos de campo se pudo determinar su compacidad densa y una consistencia firme (aunque más baja que los demás suelos). El porcentaje de finos es de 4,4% y la humedad relativa al suelo seco es de 9,8%. Dentro del contenido, además de suelo natural se pudo observar restos de origen antrópico (plástico, cristal, etc.).



Figura 4.5: Suelos de depósitos coluviales, se caracterizan por baja consistencia, presencia de material antrópico y la presencia de granos gruesos, de hasta más de 10 cms.

Tabla 4.1: Tabla resumen de valores promedio de Geotecnia de suelos en zona de estudio. Para detalle de cada muestra ver anexo C.

Tipo de Suelo	Clasif. USCS	Humedad Relativa a suelo seco (%)	Densidad Seca (gr/cm ³)	Densidad Húmeda (gr/cm ³)	Compacidad/Consistencia	Repelencia (basada en prueba de infiltración WDPT) y clasificación de Bisdom et al., (1993)	% finos (<0,08)	LP	LL
Suelo Residual	SW-SC	12,7	1,58	1,78	Densa/firme	Casi nula (infiltración en 6,3 segundos)	6-7	17,1	28,2
Suelo Residual quemado	SW-SC	9	1,54	1,7	Densa/muy firme	Leve (infiltración entre 16 y 50 segundos)	8-15	20,5	27,7
Depósitos estuarial	SP-SM	7,5	1,8	1,95	Densa/dura	Leve (infiltración en 12 segundos)	6	19,6	21,3
Depósitos coluviales	SP	9,8	-----	-----	Densa/firme	-----	4,4		

Tabla 4.2: Coordenadas de ubicación de extracción de muestras en terreno.

Muestra	x	y	z	Suelo relacionado
M1	257794	6337060	369	Residual Quemado
M2	257276	6339920	34	Coluvial
M3	257608	6339226	132	Estuarial
M4	255779	6337013	436	Residual Quemado
M5	257694	6337697	309	Residual Quemado
M6	258516	6335322	450	Residual
M7	257910	6337710	313	Residual Quemado
M8	258076	6337811	44	Residual

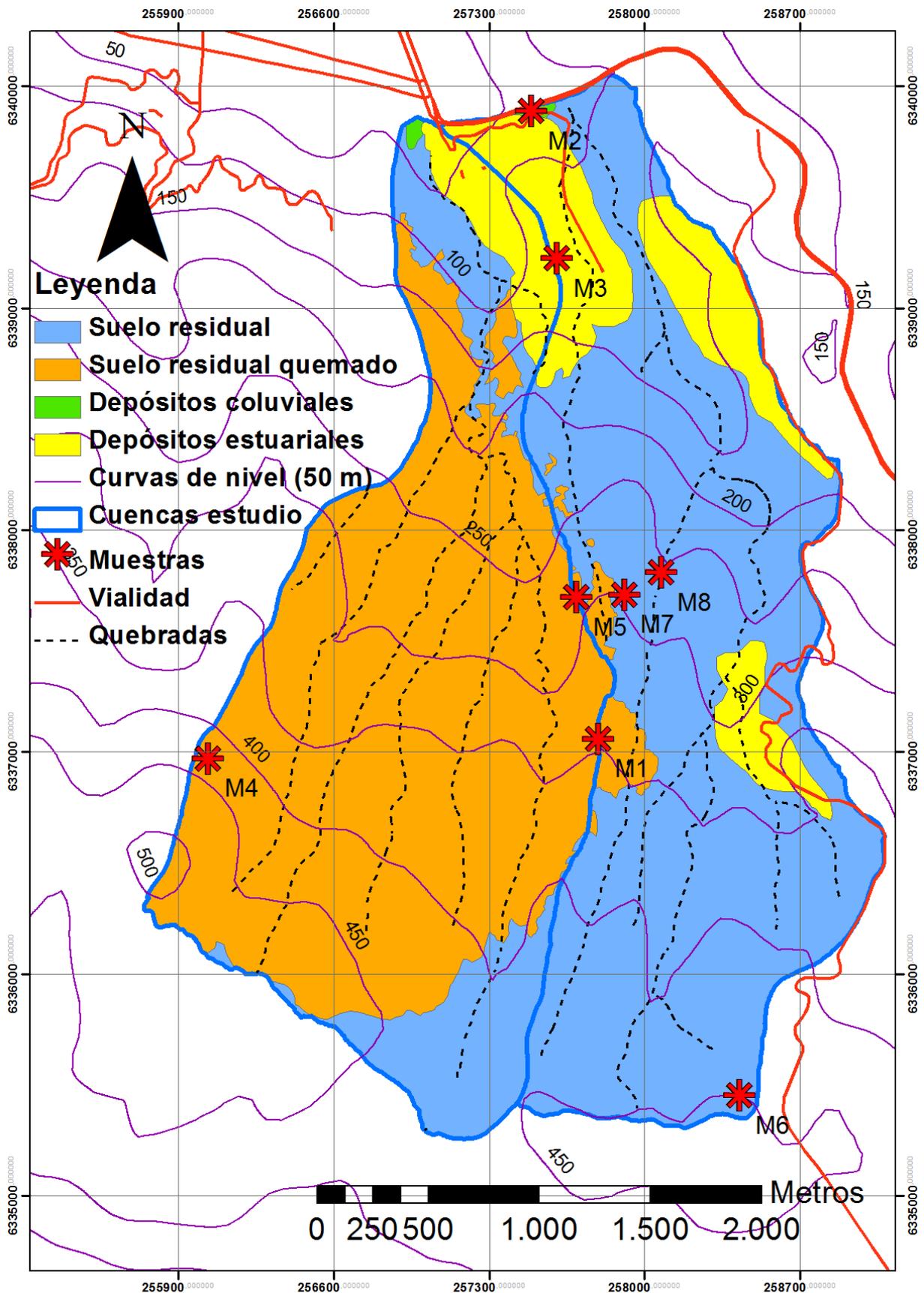


Figura 4.6: Mapa de delimitación de tipos de suelo dentro de área de estudio, basado en Gana et al. (1996) y Álvarez (1964).

4.4 Hidrología e Hidrogeología

El régimen de escorrentía que caracteriza a los esteros y quebradas, tanto en las cuencas costeras como en los denominados sectores costeros, es esencialmente de origen pluvial, por lo que su escurrimiento está estrechamente asociado a la distribución estacional de las lluvias (MOP, 1986; DGA, 2002).

La zona posee una serie de quebradas, de las cuales más del 50% desembocan en dirección norte. Las quebradas poseen pendientes que oscilan entre los 2° y los 17°, con laderas de pendientes pronunciadas. En cuanto a los encajamientos de canal de drenaje, en base a curvas de nivel cada 1 metro, no superan los 0,44 en cuanto a razón profundidad/ancho, y la mayor parte de los canales poseen encajamientos entre 0,1 y 0,3.

Gran parte de las quebradas es ocupada por viviendas construidas en zonas delimitadas como riesgosas por el PREMVAL (2010), u otras son utilizadas como puntos de acumulación de escombros y desechos urbanos, como se pudo observar en terreno.

La zona de estudio se ubica sobre la cubierta de roca denominada batolito costero, específicamente rocas intrusivas del Jurásico, las cuales dan cabida a la formación de suelo residual de tipo arenoso/arcilloso. A través de los sistemas de fracturamiento o de las oquedades, las rocas consolidadas pueden tener permeabilidad secundaria alta, siendo probable que lleguen a constituir acuíferos, sin embargo es difícil su detección y evaluación. Las rocas precuaternarias presentan mayor complejidad para la evaluación y explotación de las aguas subterráneas que pudieran almacenar, por esta razón, el Departamento de Administración de Recursos Hídricos (DGA, 2002) la ha definido como una unidad con características no permeables. En cuanto a los suelos, no se tiene evidencia de niveles impermeables que pudieran satisfacer las características para formar acuíferos. La mayor presencia de agua en los suelos se debe principalmente al régimen de alta pluviosidad en los meses de invierno.

4.5 Vegetación

La clasificación hecha para Chile permite ubicar a la V Región de Valparaíso entre los límites de la denominada zona "mesomórfica" (Gore Valparaíso, 2014). En la zona costera se puede encontrar vegetación asociada a un matorral arbustivo costero formado por especies como el peumo, boldos y maitenes, junto a hierbas y gramíneas. En las áreas más húmedas, como fondos de quebradas, se pueden encontrar litres, quilas, pataguas. Entre los 400 y 1.000 m s.n.m, existe el denominado bosque esclerófilo. Este bosque está formado por especies arbóreas como quillay, litre, molle, belloto, boldo y peumo. En lo que respecta a la actualidad, la forestación y reforestación está basada en la plantación principalmente de las especies Eucalyptus Globulus y Pinus Radiata, únicas especies plantadas en la región de Valparaíso en el año 2013 (Conaf, 2014-B).

Para un manejo adecuado de tipos de vegetación, la clasificación se basó en la metodología de Yokens (2001) (tabla 4.3), para determinar la clase de vegetación por medio de NDVI (Índice de Vegetación Diferencial Normalizada), además de los datos adquiridos en terreno y la imagen Aerofotogramétrica adquirida por Sernageomin.

Tabla 4.3: Tabla de clasificación de Vegetación mediante índice NDVI (Yokens, 2001).

Categoría	Clase	Características
1. Vegetación muy baja	<(-0.75)	Suelo desnudo
2. Vegetación baja	(-0.75)– (-0.45)	Vegetación herbácea - Suelo desnudo
3. Vegetación media baja	(-0.45) – (-0.15)	Vegetación arbustiva - Suelo desnudo
4. Vegetación media	(-0.15) - 0.15	Vegetación arbórea - arbustiva – Suelo desnudo
5. Vegetación alta	0.15 – 0.45	Vegetación arbórea - arbustiva
6. Vegetación media alta	0.45– 0.75	Vegetación arbórea
7. Vegetación muy alta	>(-0.75)	Vegetación arbórea densa

Se utilizó una imagen “Landsat 8” del 9 de Junio de 2014, debido a que fue la imagen más cercana que se pudo obtener con una visibilidad completa de la zona, y sin perturbaciones climatológicas. Además se utilizó una imagen “Landsat 8” del 21 de Octubre del 2013, para realizar una comparación en cuanto a las condiciones pre y post-incendio (figura 4.7).

Mediante una extrapolación de los NDVI, los datos de la imagen aerofotogramétrica y los datos de terreno se realizó la siguiente clasificación (basándose en el desglose de la metodología de Lara (2007)):

Tabla 4.4: Categorías de clasificación de vegetación (modificado de Yokens, 2001).

Categoría	Clase	Características
1. Vegetación nula a baja	-0,2 - 0,37	Vegetación arbustiva - Suelo Desnudo
2. Vegetación media	0,37 - 0,53	Vegetación arbórea - arbustiva
3. Vegetación Alta	0,53 - 1	Vegetación arbórea - arbórea densa

Como se puede observar, las clases (o intervalos) de NDVI de Yokens (2001) y los de este estudio son diferentes. Esto se debe a que la nueva clasificación del área estudiada no se basa en los intervalos tomados por el autor, sino en las áreas delimitadas por éste para cada tipo de vegetación (logrando hacer coincidir su mapa de vegetación con el mapa de éste estudio). La diferencia radica en el tipo de imagen utilizada (Yokens utilizó imágenes “landsat 7”, las cuales poseen otro tipo de bandas).

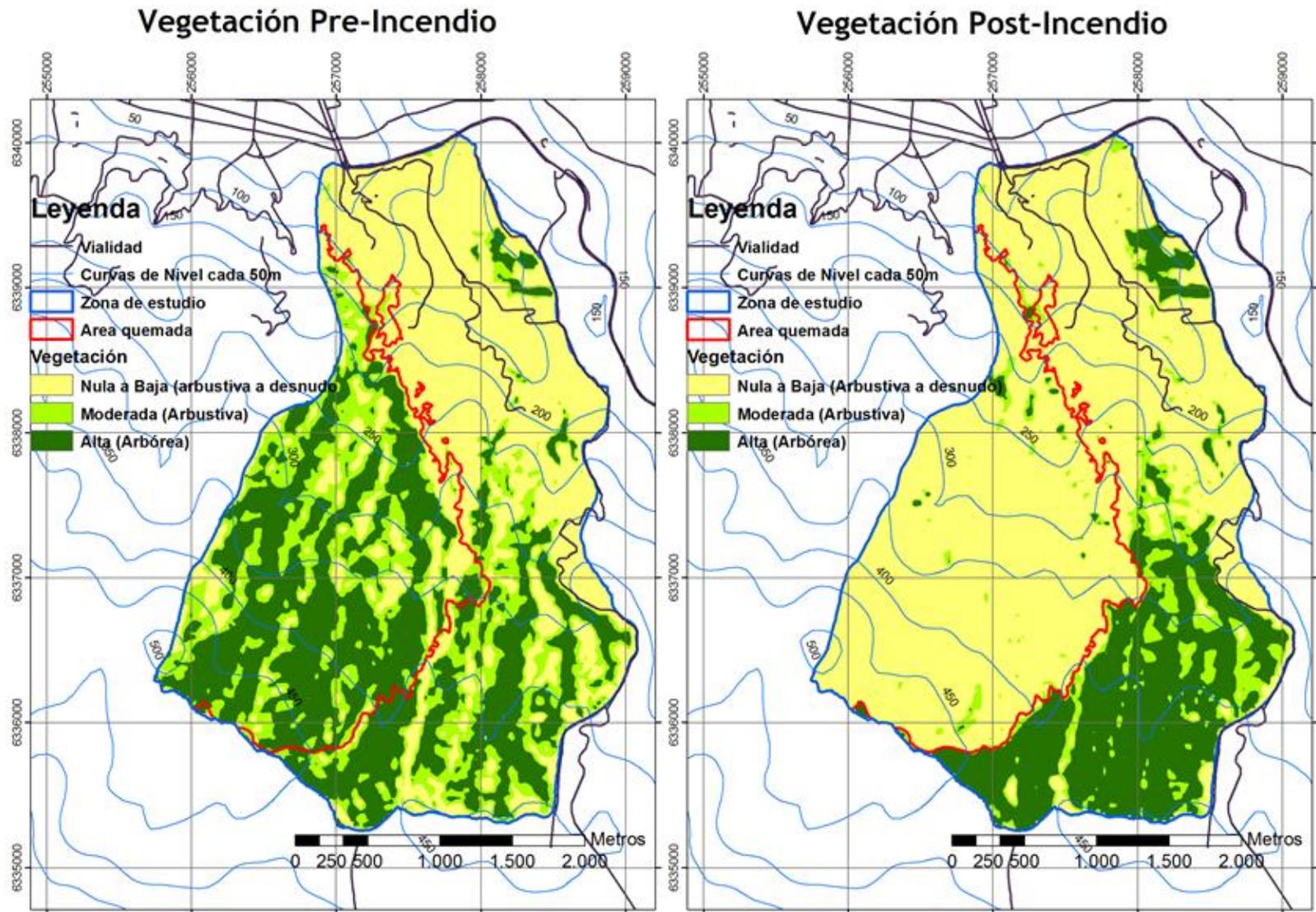


Figura 4.7: Vegetación pre y post-incendio en zona de estudio. Elaboración propia basada en observaciones de Yokens, 2001.

4.6 Clima

4.6.1 Generalidades

La región de Valparaíso presenta un clima templado mediterráneo, pero con algunas variaciones. Así como la semiaridez se presenta hacia el norte del río Aconcagua, es más húmedo o mediterráneo costero en el litoral y frío de altura hacia la cordillera.

Tanto el Océano Pacífico, en general, como la corriente de Humboldt, en particular, condicionan en gran medida la conducta de los elementos climáticos de la región. Las direcciones predominantes de los vientos, todas de componente oceánico y portadoras de humedad, explican la constante presencia de este factor en el clima regional. El carácter frío de la corriente de Humboldt determina la existencia permanente de una banda de bajas temperaturas vecinas a la costa, contribuyendo al descenso de las temperaturas continentales. En general se distinguen cinco tipos de climas, además de los climas de territorios de ultramar, basados en la clasificación climática de Köppen-Geiger (Kottek et al., 2006):

- Clima de estepa con nubosidad abundante (Bsn).
- Clima templado cálido con lluvias invernales (Csbn).
- Clima de estepa templada con precipitaciones invernales (BSks).
- Clima de estepa fría de montaña (BSk'G).
- Tundra de alta montaña (EB).
- Clima de tipo tropical (Afa) y clima templado-cálido con estación seca de 4 a 5 meses (Cbs2) en territorios de ultramar.

En la zona estudiada se presenta un clima “templado cálido con lluvias invernales” (Csbn). Se presenta con una estación seca prolongada y gran nubosidad. Se extiende por el litoral desde Zapallar al Sur, superando el límite regional. Comprende las últimas áreas costeras donde la nubosidad típica del Anticiclón del Pacífico Sur se hace sentir con cierta persistencia. Las variaciones de temperaturas son menores por el influjo del océano, siendo más parejas durante el año con un promedio anual de 14°. La humedad relativa es alta con un 75% y las precipitaciones son más abundantes (GORE Valparaíso, 2014., Kottek et al., 2006).

4.6.2 Precipitaciones

Las precipitaciones se concentran en los meses invernales, alcanzando un aporte del 68% con respecto a las precipitaciones totales caídas durante el año (Leyton, 2014), las cuales alcanzan en promedio 372,5 mm de agua caída (tabla 4.5 y tabla 4.6).

Tabla 4.5: Valores Normales de Precipitación por Región por mes en mm (1961-1990) (Modificado de Leyton, 2014).

Ciudad	Abril	Mayo	Junio	Total (aporte%)	Normal Anual
Iquique	0,0	---	0,3	0,3 (60%)	0,5
Valparaíso	13,3	54,5	83,1	150,9 (41%)	372,5
Santiago	10,4	42,2	70,4	150,9 (39%)	312,5
Pto Montt	143,3	234,1	223,8	601,2 (33%)	1802,5

Tabla 4.6: Precipitaciones normales por estación en mm (1961-1990) (Modificado de Leyton, 2014).

	La Serena	Valparaíso	Santiago	Curicó	Chillán	Concepción	Temuco
Verano	0,0	1,7	3,3	16,3	61,4	63,8	136,1
Otoño	7,4	71,5	55,8	157,0	273,1	259,2	301,9
Invierno	62,4	254,3	208,8	413,0	568,4	593,6	480,5
Primavera	8,7	45,0	44,6	115,6	204,1	193,6	238,9
Total	78,5	372,5	312,5	701,9	1107,0	1110,2	1157,4

4.7 Actividad Antrópica

El efecto de la actividad humana está principalmente ligado a un factor socioeconómico (autoconstrucción de viviendas en zonas de peligro), el cual produce una sobresaturación habitacional en los cerros de Valparaíso. También dentro de la actividad humana se debe tener en cuenta las áreas de construcción de obras de gran tamaño (edificios, obras civiles) en las cuales se producen acumulaciones de materiales de construcción (tierra, roca) en zonas inestables, generando remociones catastróficas en la comuna. La formación de represas artificiales que obstruyen el drenaje de las quebradas puede conducir a grandes remociones de tipo flujo. El caso más conocido es el ocurrido en la quebrada Yungay, en 1888, en el cual se produjo un aluvión el cual arrasó viviendas y diversas instalaciones urbanas, contabilizándose 42 víctimas fatales (Lépez et al., 2005).

El área comprendida en el estudio corresponde a una superficie aproximada de 9,8 Km², de los cuales 3 km² están comprendidos por áreas urbanizadas. Además se debe tener en cuenta que el PREMVAL determina como áreas de “Alta restricción” a la construcción aquellas que comprenden pendientes mayores a 80% (38,6°). En cuanto a las quebradas y la ocupación de éstas, delimita como “Zonas de Riesgo Natural por Quebradas” aquellas comprendidas en una franja de 50 m a ambos costados de la quebrada, para pendientes menores a 40% (21,8°). En caso de que las pendientes sean mayores a 40%, se determinan zonas de riesgo natural aquellas comprendidas a 50 m desde que las pendientes se mantienen bajo 40% (PREMVAL, 2010) (tabla 4.7).

Tabla 4.7: Áreas importantes referentes a cuenca estudiada.

Área de estudio (km ²)	9,8
Área urbanizada(km ²)	3
Área quemada estudiada (km ²)	4
Áreas de alta restricción (km ²)	3,2
Zonas de riesgo por Quebradas (Km ²)	5,1

El estudio de Revollo (2010) muestra una expansión en el área urbana hacia los sectores de laderas, entre los años 1980 y 1994, sobre zonas con pendientes mayores a 40% (21,8°), al sur de las Avenidas Colón y Santos Ossa, entre las cotas 100 m s.n.m. y 300 m s.n.m. Entre los años 1994 y 2007, si bien la superficie urbanizada no se incrementó tanto, en comparación al período anterior, se presentó una intensificación en los usos residenciales (un ejemplo de esto es el paso de zonas residenciales de baja densidad a alta densidad, aproximadamente en un 95%). La disminución de la densidad de la cobertura vegetal (cambio de vegetación densa a dispersa) ha sido de 31

hectáreas al 2007, además, la vegetación dispersa ha sido reemplazada por usos residenciales, reduciendo su extensión en 60 hectáreas (figura 4.8).

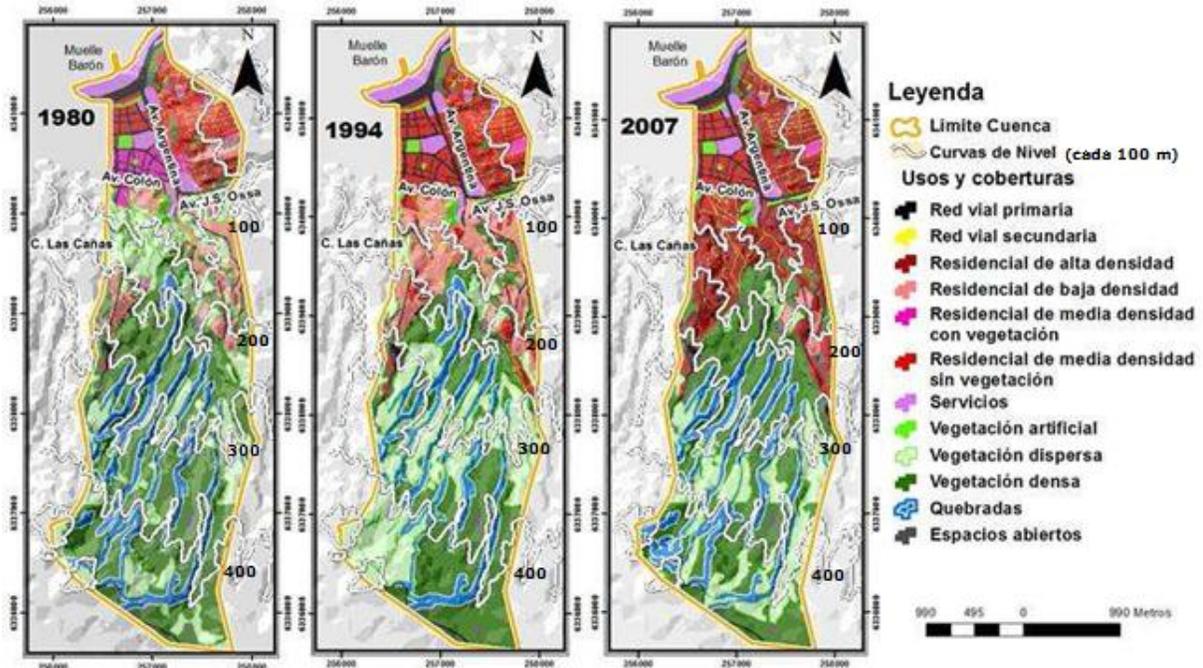


Figura 4.8: Cambio de uso de suelos, para el período comprendido entre 1980 y 2007 (Revollo, 2010). Se puede observar un aumento de las zonas residenciales, en cotas hasta los 300 m s.n.m. Se han agregado las cotas hasta los 400 m s.n.m. para mayor comprensión.

Otro de los efectos antrópicos observados en la zona es la formación de cortes artificiales en laderas, asociado a la construcción o despeje de vías de tránsito vehicular, sin un tratamiento adecuado posterior (figura 4.9).



Figura 4.9: Cortes artificial en ladera. A la derecha, corte asociado a deslizamiento de suelo histórico, posiblemente para retirar material disgregado o en condiciones de desestabilización (Coordenadas UTM: 257060/6339405), a la izquierda, corte asociado a ensanchamiento de ruta vehicular, se observa un horizonte de suelo de un espesor de 2 mts aproximadamente (Coordenadas UTM: 258902/6337352).

4.8 Factor Incendio

Los principales factores asociados al incendio son los referentes a la formación de niveles impermeables o repelentes, y a la disminución de cobertura vegetal.

En lo que respecta a la repelencia al agua en los suelos afectados, ésta se basa principalmente en la adición de sustancias hidrofóbicas, originarias de árboles perennes (liberación por vaporización de sustancias y migración por condensación hacia otros niveles (superiores o inferiores)). Las plantas que se asocian más comúnmente con la repelencia al agua son en particular árboles con una considerable cantidad de resinas, ceras, o aceites aromáticos (eucalipto y pino) (Doerr et al., 2000). La repelencia al agua también puede estar aumentada por la presencia de materiales finos intersticiales (partículas individuales y microagregados), los cuales al hacer contacto con partículas hidrofóbicas pueden causar repelencia al agua en grados extremos, al disminuir la porosidad de los suelos (Bisdorn et al., 1993)

Las temperaturas que se alcanzan en el suelo durante el fuego, son muy variadas dependiendo de los factores implicados. En general, y puesto que el suelo es un mal conductor del calor, las temperaturas que se alcanzan en capas profundas del suelo son bajas, a pesar de que las llamas sobrepasen en ocasiones los 1400°C (DeBano et al., 1998). Estudios como los de Rodríguez-Alleres et al., (2005) muestran que la repelencia desaparece más allá de los 20-40 cms.

La repelencia del suelo dependerá en cierta forma de la temperatura a la cual esté afectado y el tiempo de exposición, por ejemplo, a 200°C durante 10 minutos, la repelencia puede intensificarse, mientras que a más de 800°C la repelencia al agua desaparece en tan sólo 10 minutos (por la destrucción de sustancias hidrofóbicas) (DeBano & Krammes, 1966).

Otros autores sugieren que la repelencia al agua inducida por el fuego es el resultado de reacciones químicas que tienen lugar durante el proceso, que intensifican las uniones entre estas sustancias y las partículas del suelo (Savage 1972) y las hace aún más hidrofóbicas a causa de la pirolisis (descomposición de sustancias mediante fuego) (Giovannini, 1994).

Haigh (2009) explica que las condiciones de hidrofobicidad en suelos afectados por incendios se pueden mantener por unos cuantos meses, hasta incluso años, dependiendo de la ubicación geográfica y el tipo de vegetación presente en la zona (actividad biológica producto del recrecimiento de la cobertura vegetal).

El incendio de abril de 2014 afectó aproximadamente 11,5 km², de los cuales 4,02 km² pertenecen a la zona estudiada. El incendio provocó cambios en las características geotécnicas de los suelos, disminuyendo la permeabilidad, aumentando la cantidad de finos, aumentando la consistencia e incinerando casi por completo la cobertura vegetal, en sus diferentes tipos. Además de esto, la destrucción de viviendas dio pie a la construcción de viviendas de emergencia, las cuales fueron construidas sobre terrenos afectados, y sectores aledaños, sin tomar en cuenta las nuevas características de la zona de estudio. Todos los escombros relacionados a construcciones antiguas fueron depositados en zonas aledañas, sin considerar que pueden provocar obstrucciones de canales, o ser el origen de material de flujos de detritos. Debido a la gran cantidad de plantaciones de pino y eucalipto en la zona

estudiada, se supone la presencia de niveles impermeables en los suelos afectados, de bajo espesor (principalmente del 3er caso, ver figura 4.10), los cuales pueden producir erosión asociada a lluvias posteriores o incluso, flujos de detritos.

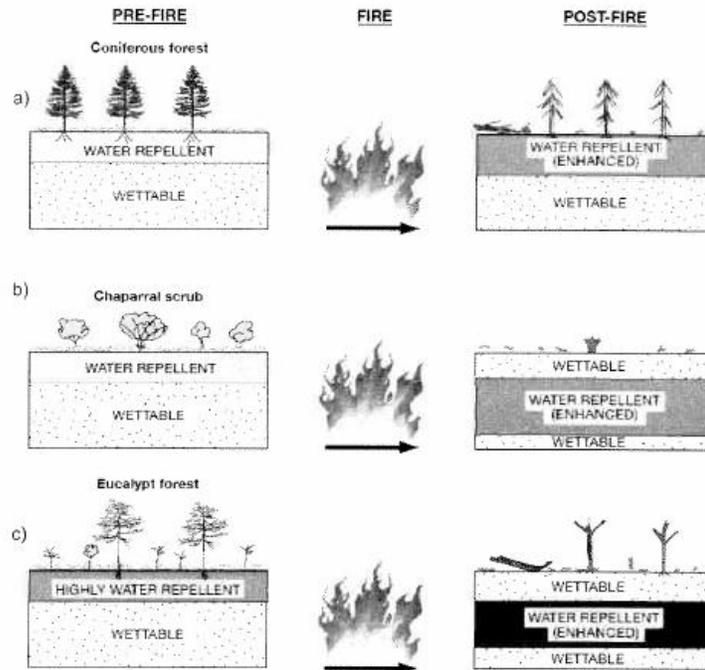


Figura 4.10: La repelencia del suelo cambia después del efecto del fuego. a) Bosques coníferos en el noroeste de USA; b) Chaparral de California; c) Bosque de eucaliptos australiano. Sombreado gris representa nivel impermeable, sombreado oscuro representa repelencia más severa (Haigh, 2009).

4.9 Eventos de remoción en masa en zona de estudio

Dentro de la zona de estudio se ubicaron alrededor de 47 eventos de remoción en masa, determinados mediante bibliografía de catastro en base a los estudios de López et al. (2005) (eventos producidos entre 1864-2002) y Muñoz (2013) (eventos producidos entre 2004-2011) (figura 4.12), además de notas y observaciones en campañas de terreno (tabla 4.8 y figura 4.11). Entre los eventos destaca la gran cantidad de deslizamientos de suelo, de tipo traslacional, los cuales están asociados principalmente a un desencadenante antrópico o de tipo pluvial, considerando principalmente la saturación de agua del terreno (épocas de grandes precipitaciones, rotura de matrices de agua). Para más detalle sobre eventos, ver anexo E.1.

Tabla 4.8: Cantidad de eventos de remoción en masa ubicados en la zona de estudio o en zonas aledañas, en base a los registros de López et al. (2005), Muñoz (2013) y los datos obtenidos en terreno. Los eventos de tipo caídas de roca no son considerados en éste estudio.

Evento	Cantidad
Flujo de detritos	11
Deslizamiento de suelo	31
Caídas de roca	5

En la campaña de terreno fue difícil determinar eventos considerables de remociones en masa, o la temporalidad de éstos (debido a la alta densidad poblacional de la zona), observándose sólo deslizamientos superficiales de magnitud media (en base a zonas con ausencia de vegetación, movimiento de viviendas o infraestructura urbana, exposición de raíces de árboles, etc., y flujos de detritos con un alcance menor, dentro de quebradas secundarias y muy pequeñas para la escala considerada en el estudio (figura 4.6). Muchos de los eventos suelen ser de bajo impacto pero de alta recurrencia, considerando la mitigación utilizada por parte de la población, utilizando cubiertas aislantes e impermeables sobre las laderas expuestas de suelo (para evitar la saturación y la posible desestabilización de terrenos ya afectados).



Figura 4.11: Eventos declarados en la zona estudiada. En la imagen 1 se puede observar un flujo de detritos de proporciones menores, asociado a una quebrada secundaria o posiblemente sólo a una ladera. La imagen 2 muestra indicios de remociones en masa de tipo deslizamiento superficial, dejando expuesta raíces de árboles aledaños. La imagen 3 y 4 muestran métodos de mitigación a la posible saturación de los suelos adyacentes, producto de lluvias invernales.

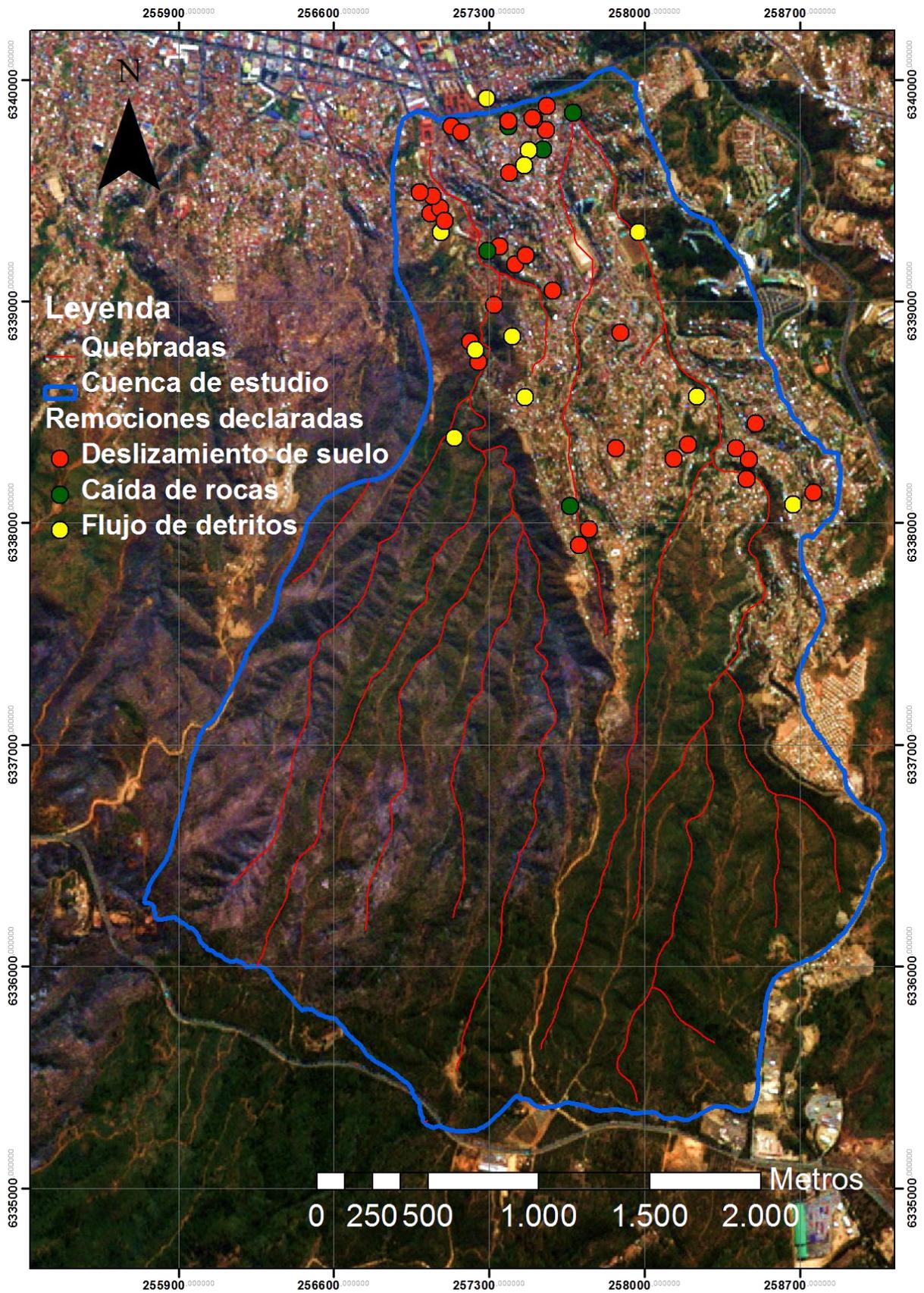


Figura 4.12: Mapa de zona de estudio. Se puede apreciar la concentración de remociones en masa en zonas de alta densidad poblacional. Elaboración propia.

5 EVALUACION DE SUSCEPTIBILIDAD POST-INCENDIO

Para la evaluación de susceptibilidad se utilizaron los antecedentes del área en estudio, presentados en el capítulo anterior. La zona de estudio se dividió en un total de 198 unidades geomorfológicas (Figura 5.1), utilizando el software ArcMap 10.0, y determinando como características importantes la exposición al sol (aspecto), cambios bruscos de pendientes de ladera, las unidades geológicas de suelo (entre las cuales se subdividieron además en áreas afectadas por incendio y no afectadas) y la cercanía de quebradas. Aunque la metodología de Lara recomienda la delimitación de 150 unidades como máximo, se superó esta cantidad para evitar la pérdida de detalle, principalmente en las zonas de quebradas.

. Para la posterior realización de mapas de susceptibilidad a deslizamientos de suelo y flujos de detritos, se suprimieron sectores con pendientes menores a 15° y 10°, respectivamente. Los mapas utilizados en esta etapa, tanto de pendientes, aspecto o unidades geológicas de suelo se presentan en el capítulo anterior o anexo A.

Se determinaron los índices de susceptibilidad (IS) para deslizamientos de suelo, y flujos de detritos, utilizando las tablas 3.1 y 3.2 de la metodología aplicada, para condiciones pre y post-incendio (figuras 5.2, 5.3, 5.4 y 5.5). El desglose de puntuación (post-incendio) para cada unidad geomorfológica se presenta en el Anexo D.

A continuación se presentan las unidades que obtuvieron un IS mayor o igual 50% (tabla 5.1 y 5.2), determinadas como unidades de alta susceptibilidad a remociones en masa (post- incendio). Es importante destacar que para las zonas susceptibles a deslizamientos (figura 5.2), estos eventos se caracterizaron como deslizamientos traslacionales (superficiales), debido a los bajos espesores de suelo determinados en el área, y la presencia del batolito costero bajo este nivel de suelo.

Tabla 5.1: IS≥50 para deslizamiento de suelos traslacionales.

Unidad	IS	Unidad	IS	Unidad	IS	Unidad	IS
4	56	68	67	148	62	176	59
17	58	69	52	149	69	177	64
18	56	70	62	150	62	180	58
20	56	71	59	151	74	181	54
21	62	74	58	154	77	182	66
22	65	98	58	160	58	184	54
23	64	99	58	162	52	185	67
24	55	131	54	164	73	186	64
27	62	136	62	165	63	188	57
30	52	139	57	166	59	190	62
31	62	140	54	167	56	193	69
37	56	141	64	168	59	194	58
50	63	142	69	169	59	196	69
52	77	143	51	170	64	197	52
61	62	145	77	171	74		
62	67	146	69	172	72		
66	79	147	69	174	67		

Tabla 5.2: $IS \geq 50$ para flujos de detritos.

Unidad	IS	Unidad	IS	Unidad	IS	Unidad	IS
3	50	66	55	146	62	169	55
9	54	68	58	147	50	170	57
17	56	74	51	148	52	171	57
18	50	86	53	149	59	172	56
20	50	92	54	150	51	174	54
21	52	98	51	151	62	176	51
22	58	99	51	154	54	177	62
23	53	100	54	158	57	181	53
27	52	102	52	160	51	182	54
29	51	136	53	161	51	185	54
31	52	139	54	162	52	190	50
33	51	140	53	164	63	193	57
50	63	141	57	165	55	194	54
52	58	142	59	166	55	196	53
61	52	143	50	167	52	197	50
62	54	145	58	168	55		

Adicionalmente se, calculó el área que corresponde a unidades con eventos declarados (para deslizamientos de suelo y flujo de detritos), y comparada con el área que fue determinada como de alta susceptibilidad previa al incendio (tabla 5.3):

Tabla 5.3: Comparación entre el área susceptible a eventos de remoción en masa y el área de unidades geomorfológicas con eventos declarados.

Evento	Susceptible (%)	Declarado (%)
Deslizamientos	30,86	14,22
Flujos	24,28	7,47

Las tablas 5.4 y 5.5 y las figuras 5.6 y 5.7 muestran la comparación entre los mapas de susceptibilidad a deslizamientos de suelo y flujos de detritos, en condiciones pre y post-incendio.

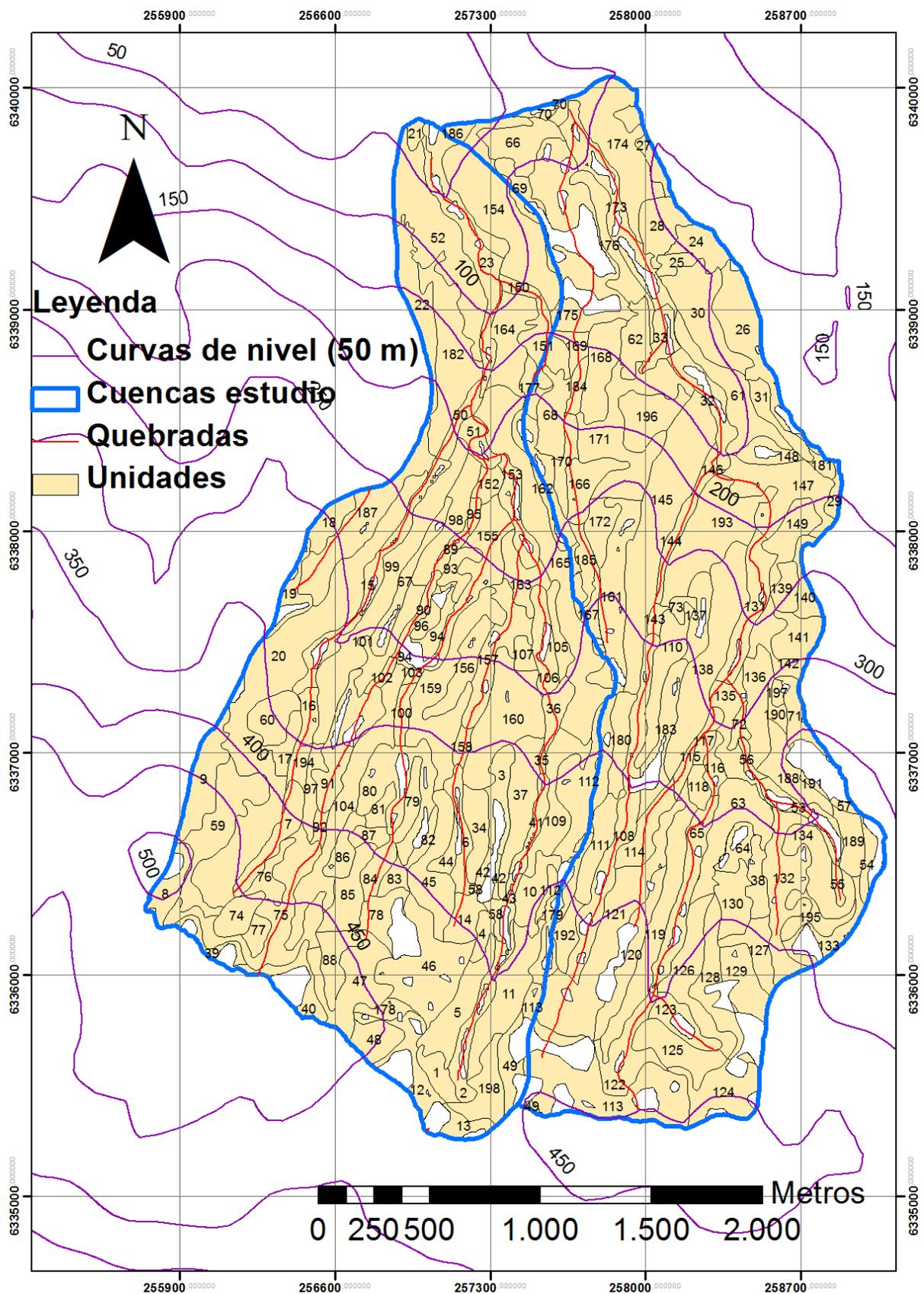


Figura 5.1: Mapa que muestra las 198 unidades geomorfológicas estudiadas. Estas unidades fueron delimitadas con respecto a su pendiente, orientación de laderas, y tipo de suelo (diferenciando entre suelos quemados e intactos). Elaboración propia.

Susceptibilidad a deslizamientos de suelo traslacionales (pre-incendio)

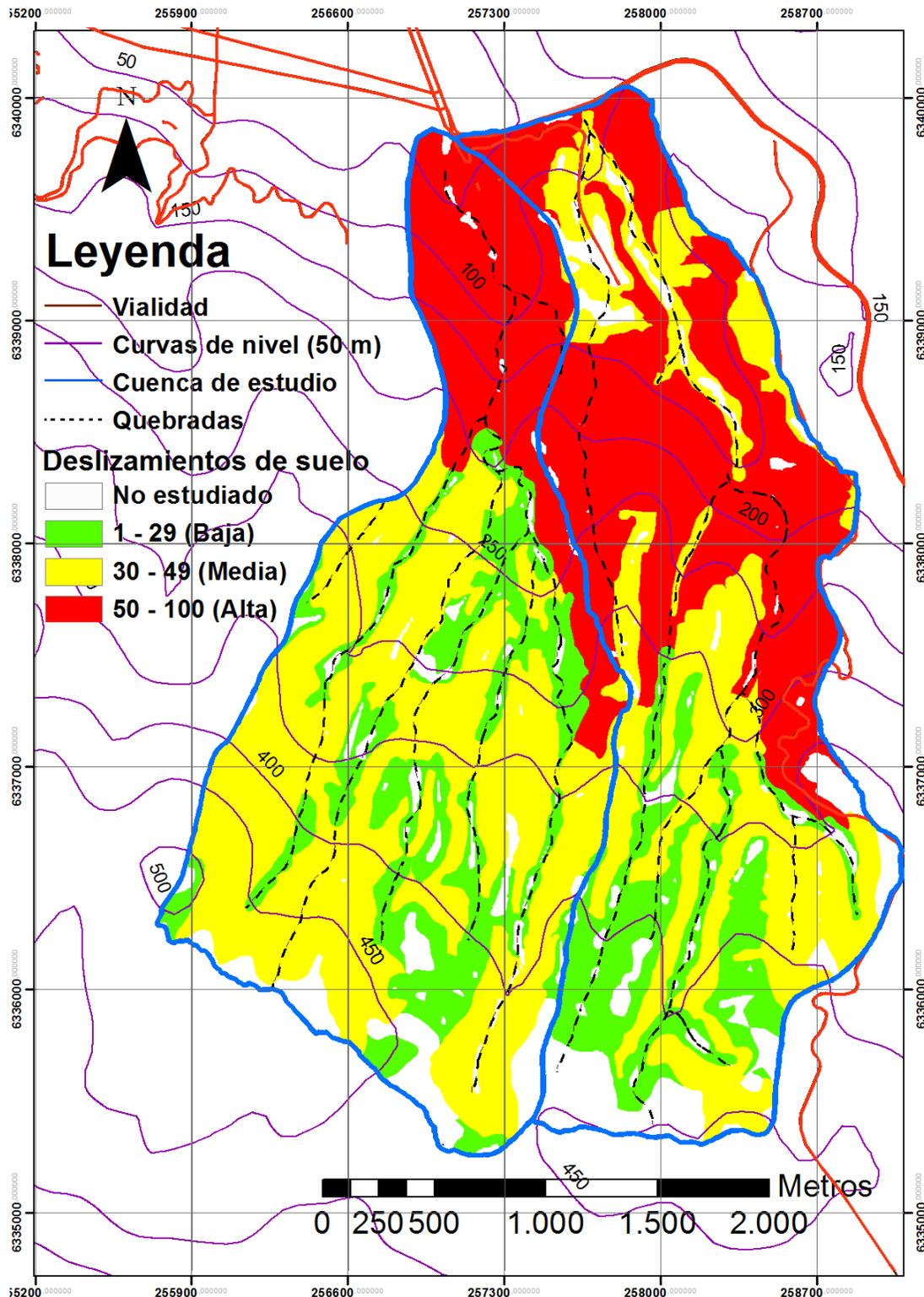


Figura 5.2: Mapa de susceptibilidad a deslizamientos traslacionales en condiciones previas a incendio. Las unidades con pendiente menor a 15° no fueron analizadas. Elaboración propia.

Susceptibilidad a deslizamientos de suelo traslacionales (post-incendio)

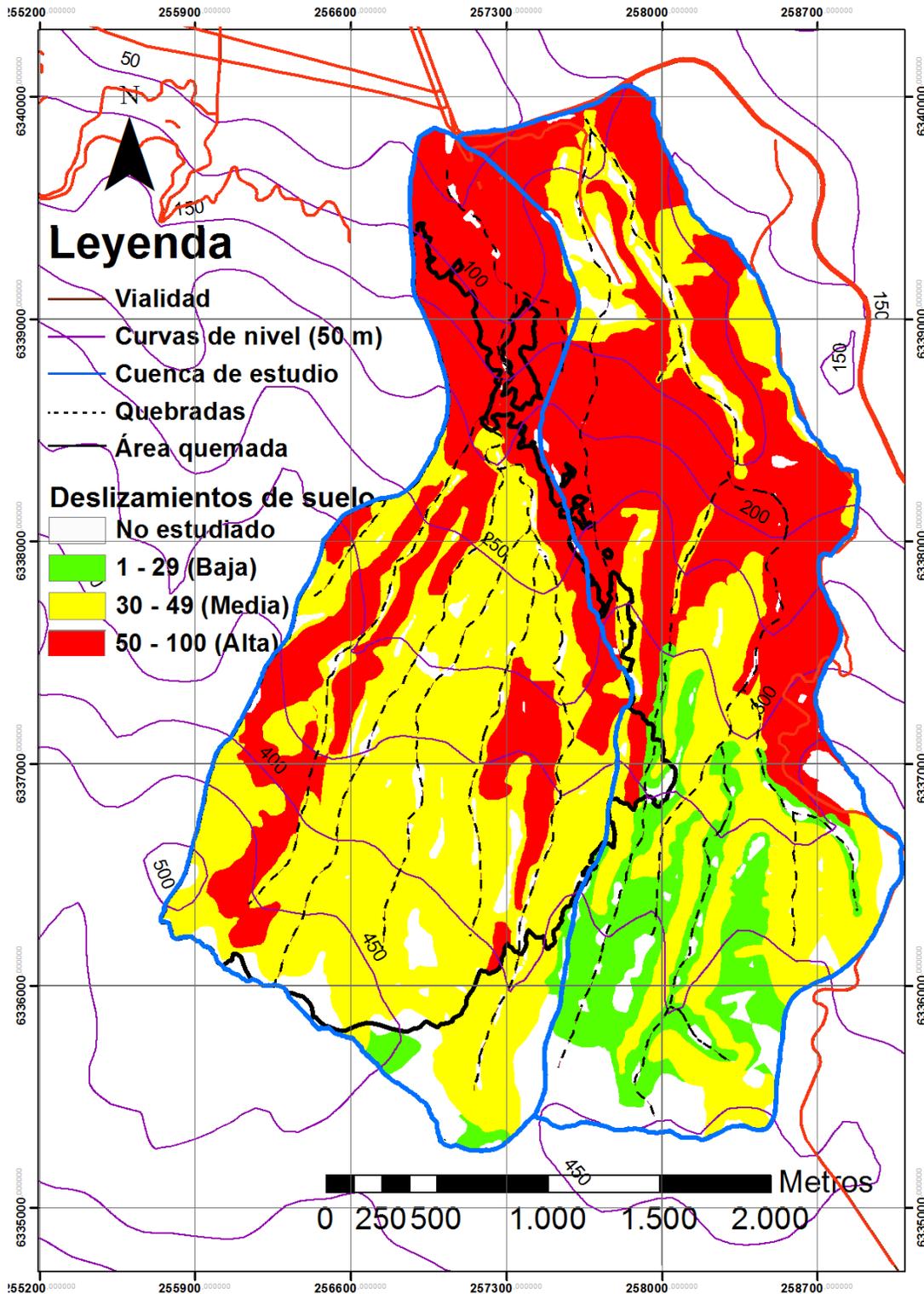


Figura 5.3: Mapa de susceptibilidad a deslizamientos traslacionales en condiciones posteriores al incendio. Las unidades con pendiente menor a 15° no fueron analizadas. Además se ha delimitado la zona afectada por el incendio. Elaboración propia.

Susceptibilidad a flujos de detritos (pre-incendio)

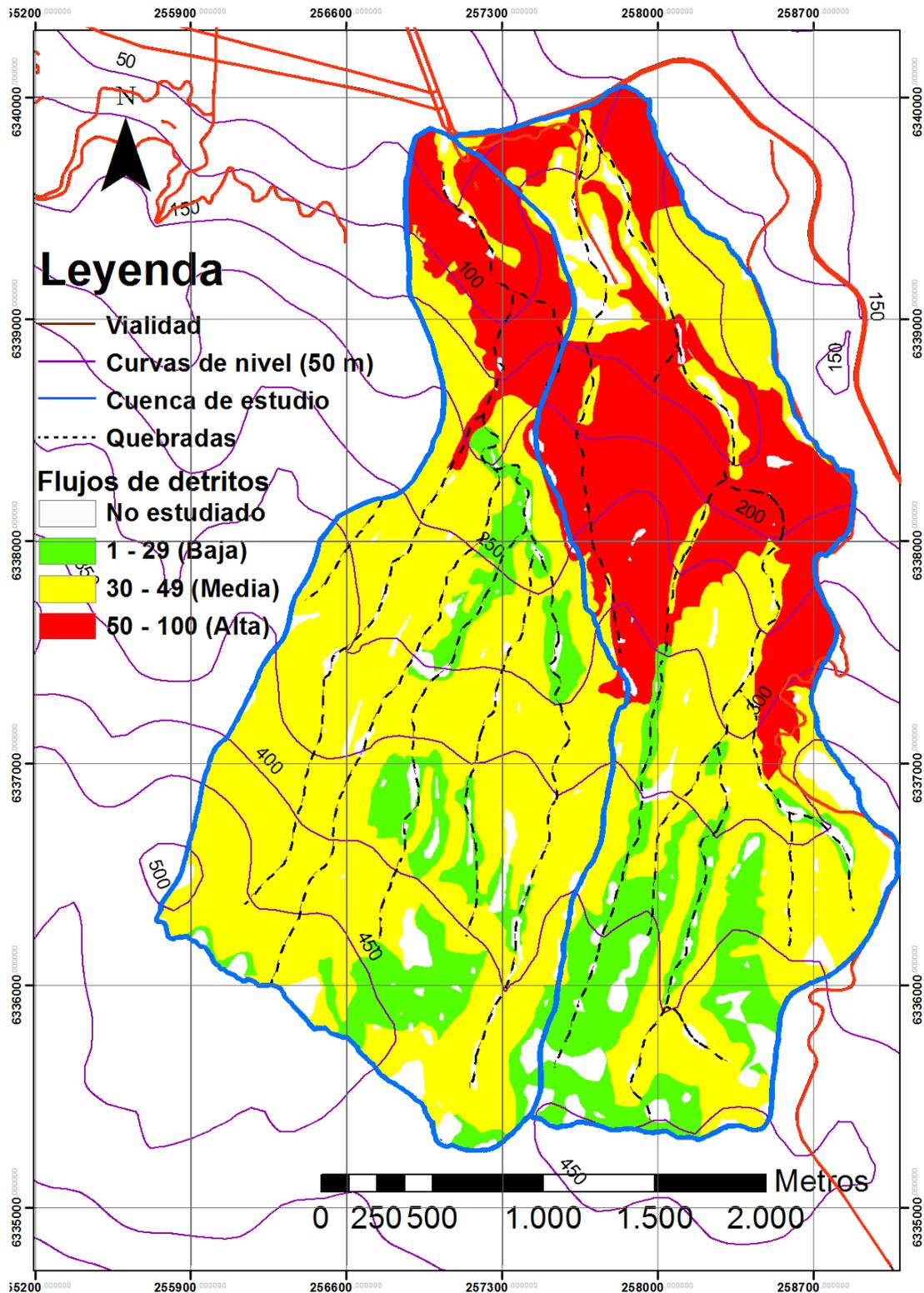


Figura 5.4: Mapa de susceptibilidad a flujos de detritos en condiciones previas a incendio. Las unidades con pendientes de ladera menor a 10° no fueron analizadas. Elaboración propia.

Susceptibilidad a flujos de detritos (post-incendio)

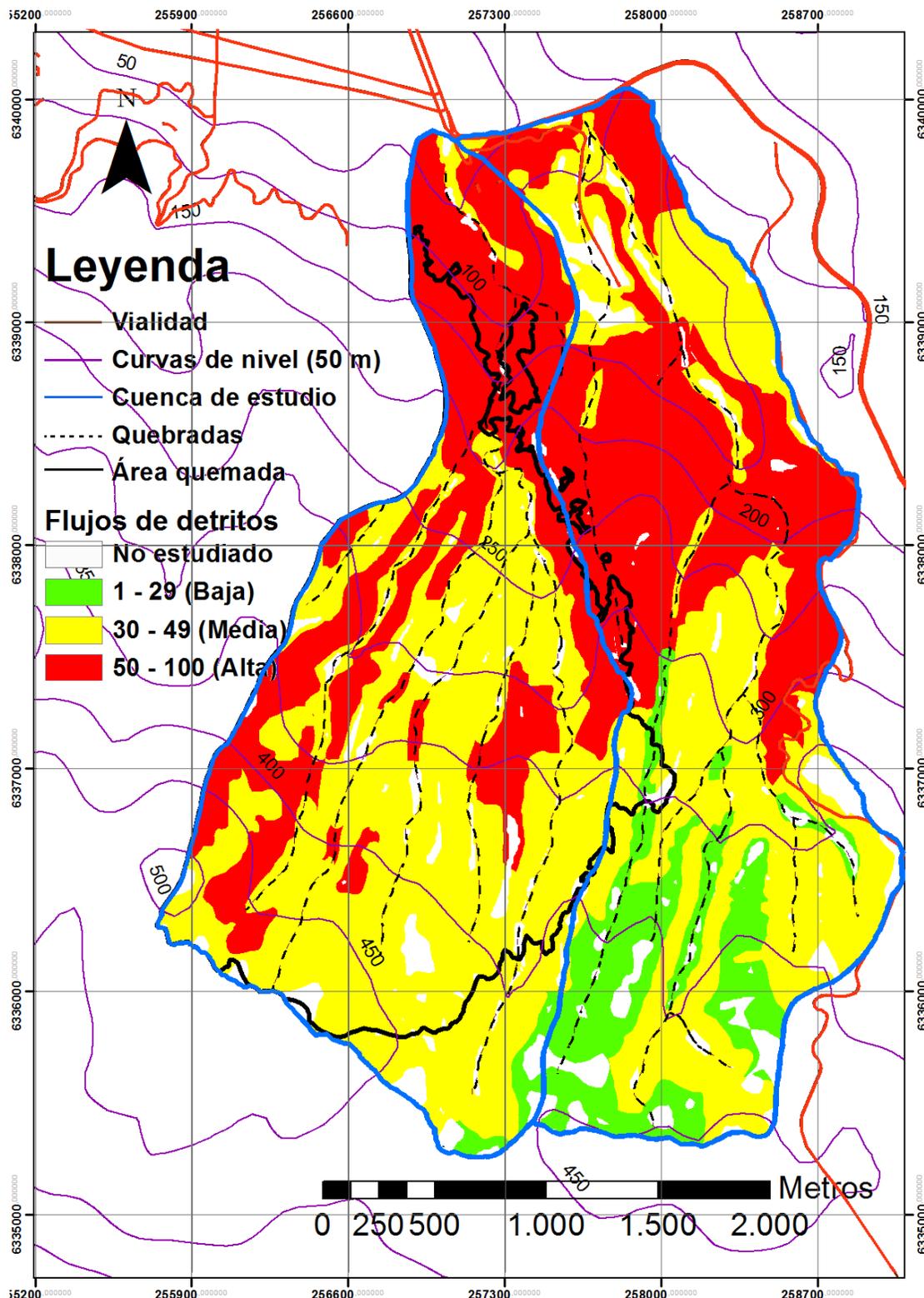


Figura 5.5: Mapa de susceptibilidad a flujos de detritos en condiciones posteriores al incendio. Las unidades con pendientes de ladera menor a 10° no fueron analizadas. Además se ha delimitado la zona afectada por el incendio. Elaboración propia

Tabla 5.4: Unidades afectadas por incendio, que cambiaron su clasificación de susceptibilidad a deslizamientos de suelo (basado en condiciones de humedad y saturación, y vegetación).

Unidad	Pre-Incendio	Post-Incendio	Unidad	Pre-Incendio	Post-Incendio
4	media	alta	74	media	alta
6	baja	media	78	baja	media
7	baja	media	80	baja	media
8	baja	media	82	baja	media
14	baja	media	84	baja	media
15	baja	media	91	baja	media
17	media	alta	94	baja	media
18	media	alta	95	baja	media
19	baja	media	96	baja	media
20	media	alta	98	media	alta
36	baja	media	99	media	alta
37	media	alta	105	baja	media
41	baja	media	106	baja	media
42	baja	media	153	baja	media
43	baja	media	155	baja	media
44	baja	media	157	baja	media
46	baja	media	160	media	alta
51	baja	media	180	media	alta
58	baja	media	194	media	alta

Tabla 5.5: Unidades afectadas por incendio, que cambiaron su clasificación de susceptibilidad a flujos de detritos (basado en condiciones de humedad y saturación, y vegetación).

Unidad	Pre-Incendio	Post-Incendio	Unidad	Pre-Incendio	Post-Incendio
3	media	alta	86	media	alta
6	baja	media	92	media	alta
9	media	alta	94	baja	media
17	media	alta	98	media	alta
18	media	alta	99	media	alta
20	media	alta	100	media	alta
22	media	alta	102	media	alta
39	baja	media	105	baja	media
42	baja	media	106	baja	media
43	baja	media	153	baja	media
44	baja	media	155	baja	media
46	baja	media	158	media	alta
47	baja	media	160	media	alta
51	baja	media	165	media	alta
58	baja	media	167	media	alta
74	media	alta	178	baja	media
80	baja	media	182	media	alta
81	baja	media	194	media	alta
82	baja	media			

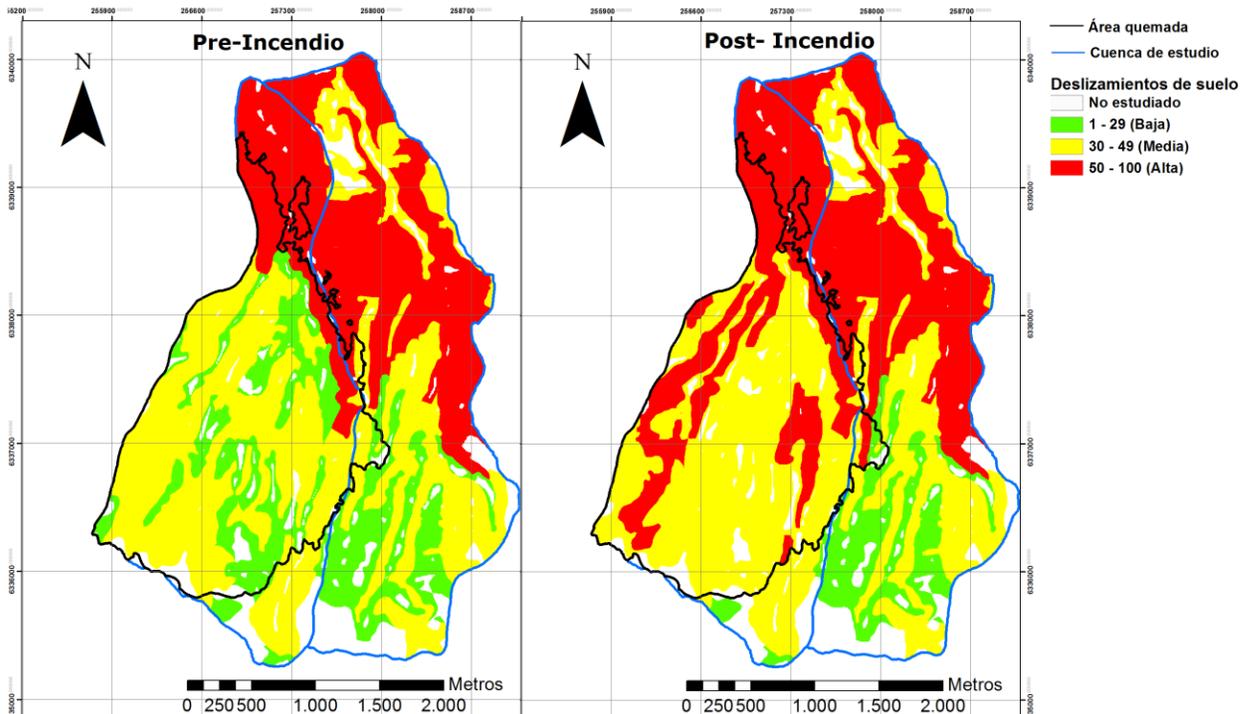


Figura 5.6: Cambios en clasificación de susceptibilidad a deslizamientos superficiales, post-incendio. El cambio fue de un 10,07% para zonas de susceptibilidad baja a media, mientras que las zonas que cambiaron de susceptibilidad media a alta fueron un 9,01% del área total estudiada.

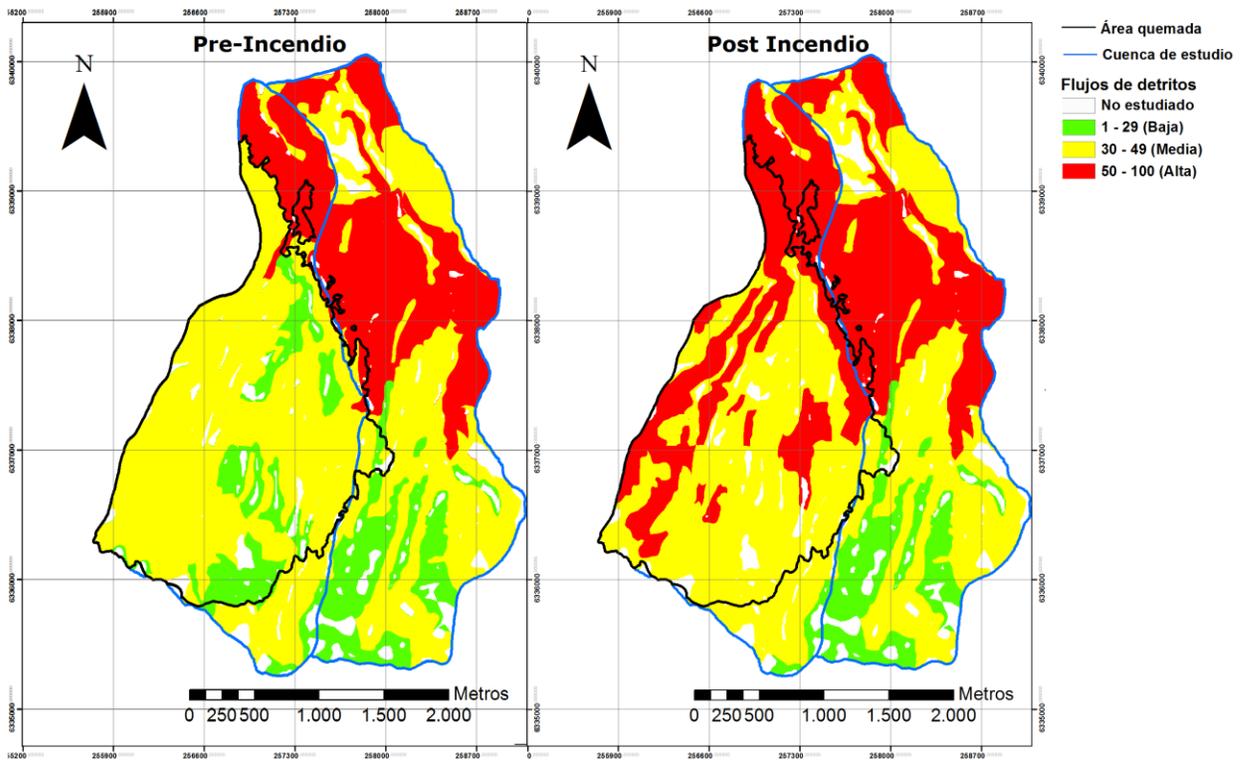


Figura 5.7: Cambios en clasificación de susceptibilidad a flujos de detritos, post-incendio. El cambio fue de un 13,76% para zonas de susceptibilidad baja a media, mientras que las zonas que cambiaron de susceptibilidad media a alta fueron un 6,7% del área total estudiada.

6 DISCUSIONES

6.1 Respetto de la metodología

La metodología utilizada se basó principalmente en la modificación de la metodología utilizada por Lara (2007), tomando en cuenta cambios en ciertos factores considerados, dependiendo de las características de la zona estudiada. La metodología utilizada se basa principalmente en dos etapas menores, las cuales se pueden dividir en los trabajos pre-estudio de la zona, y estudios referentes a la susceptibilidad en sí.

Previo al cálculo de susceptibilidad de la zona, la metodología de trabajo consistió en una delimitación de unidades geomorfológicas en la zona de estudio, llegándose a un total de 198 unidades, las cuales estaban definidas principalmente por los cambios bruscos de pendiente, la exposición al sol y el tipo de suelo estudiado, tal como lo indica la metodología de Lara (2007). Entre los tres factores señalados anteriormente, el cambio brusco de pendiente fue el principal delimitante, seguido por la exposición al sol y el tipo de suelo. Aunque la metodología de Lara sugiere un máximo de 150 unidades para un estudio más óptimo, se evitó la unión de unidades con ciertas características similares o con áreas reducidas (por ejemplo, zonas aledañas a quebradas fueron delimitadas como unidades por similitudes de pendientes).

El efecto del incendio no fue agregado como nuevo factor independiente, sino como modificador en el factor de suelo, diferenciando entre suelo residual quemado y no quemado (tomando en cuenta que la mayor parte del suelo quemado pertenece a suelo residual producto de meteorización del batolito costero). En la metodología, el incendio afectó a las condiciones de vegetación para los deslizamientos de suelo, y la formación de niveles impermeables y las condiciones de vegetación para flujos de detritos.

La delimitación de unidades más pequeñas (más detalle en cuanto a pendientes) no era óptimo, tomando en cuenta la escala del mapa final (1:20000), en los cuales los detalles no podrían ser apreciados con claridad. Posterior a la definición de unidades, se descartaron las zonas con pendientes de laderas menores a 10°, ya que según la metodología no eran relevantes en el estudio.

La información que no se podría obtener en terreno se extrajo de bibliografía acorde, y de imágenes satelitales (principalmente imágenes RASTER de la zona de estudio), con el fin de aprovechar al máximo el tiempo estipulado para el terreno. Es por esto que los eventos de tipo deslizamiento de roca y caídas de roca fueron descartados para éste estudio, por no poseer una bibliografía abundante o una cantidad importante de eventos de este tipo registrados en la zona, que permitan definir como prioritario el estudio de este tipo de remociones, además de que en terreno no se observaron afloramientos considerables, y los pocos expuestos se ubicaban en zonas de acceso restringido. Además se debe tener en cuenta que la mayor parte de las remociones registradas en la zona se desarrollaron en ubicaciones pobladas, lo que impedía el acceso y observación de todas y cada una de ellas.

La metodología utilizada en el estudio de susceptibilidad toma en cuenta las ponderaciones elaboradas por Lara (2007) mostradas en las tablas 3.3 y 3.4, pero con ciertas modificaciones.

Para el estudio de susceptibilidad a deslizamientos de suelos, se suprimió el factor asociado a acumulación de nieve, debido a que en la zona no se han registrado históricamente nevazones que puedan considerarse importantes o influyentes en la formación de remociones. El único caso registrado es una inusual nevazón ocurrida en junio del 2007, la cual, como informó el Director regional de la Oficina de Emergencia en esa fecha, Guillermo de la Maza, no existen antecedentes anteriores recientes de nevazones en Valparaíso (Emol, 2007). La ponderación asociada a éste factor fue agregada a la desestabilización artificial de laderas (aumentando de 10% a 15% como máximo), teniendo en cuenta la alta densidad poblacional en ciertas zonas, donde la recurrencia de eventos es mayor. Éste factor fue asociado a la construcción de viviendas en laderas de alta pendiente, y en zonas que están prohibidas (cercanas a quebradas o al fondo de éstas), según lo determina el PREMVAL, además de la construcción de terraplenes y escarpes artificiales.

El segundo factor modificado fue el de pendientes de ladera, al cual se le disminuyó en un 5% (30% a 25% como máximo) debido a que las pendientes en promedio de la zona de estudio, comparadas con las de la zona de estudio de Lara (2007) son mucho mayores (mayores a 30° en la zona de estudio, comparadas con pendientes entre 20° y 30° en la Quebrada San Ramón). Es decir, se modificó este factor para evitar la sobreestimación de unidades susceptibles a deslizamientos de suelo. El 5% disminuido fue agregado al factor vegetación (aumentando de 5% a 10% como máximo). Éste último factor es importante en la zona de estudio, tomando en cuenta zonas forestales de alta densidad, las cuales tienen vegetación con alturas que sobrepasan los 10 metros (comparadas con la vegetación de la Quebrada San Ramón, la cual no sobrepasa los 7 metros y son bastante puntuales). Toda esta modificación fue realizada en base a datos previos al incendio, es decir, en condiciones normales de la zona.

En el caso de los factores asociados a la susceptibilidad de flujos de detritos, se suprimió el factor asociado a la acumulación de nieve por los mismos motivos que en el caso de los deslizamientos. Éste porcentaje fue agregado a su vez al factor de desestabilización artificial de laderas, al igual que en el caso anterior (aumentó de 5% a 10%)

El factor pendiente de laderas fue modificado, al igual que en los deslizamientos de suelo, es decir, se disminuyó en un 5% este factor (25% a 20% como máximo), por los mismos argumentos anteriormente descritos.

Los encajamientos de canal de drenaje fueron calculados en base a curvas de nivel cada 1 metro, y los resultados arrojaron encajamientos entre 0,2 y 0,3 en promedio, pero no se decidió modificar este factor debido a la presencia de encajamientos mayores a 0,4 bastante puntuales.

Los demás factores no fueron modificados, por poseer similares características al estudio de Lara (2007) en la Quebrada San Ramón.

Hay que considerar que los deslizamientos de suelo definidos para el estudio son de tipo traslacional, debido al bajo espesor de suelo que existe en la zona, y a la magnitud de los eventos registrados históricamente. Para el caso de los flujos de detritos, los registros históricos muestran eventos de baja magnitud, en quebradas secundarias, y los más considerables se producen en épocas de altas precipitaciones.

6.2 Respetto del estudio de susceptibilidad

Con respecto a la clasificación de susceptibilidad, se tomó en cuenta como principal determinante de las áreas mínimas asociadas a alta susceptibilidad al catastro histórico de remociones en masa en la zona.

Se decidió modificar los factores y no los umbrales, como se explicó anteriormente, para adecuarse a las características de la zona de estudio.

Los resultados de comparación entre condiciones pre y post-incendio para deslizamientos de suelo indican que el área considerada como de alta susceptibilidad (igual o mayor a 50%) aumentó en un 9,01%, mientras que para flujos de detritos el aumento fue de un 13,8%. Esto se debe principalmente a que el factor incendio afecta tanto a la vegetación como a la permeabilidad de los suelos en el caso de los flujos de detritos, mientras que en el caso de los deslizamientos afecta sólo a la cubierta vegetal. Se puede suponer que los factores antrópicos y asociados al incendio son independientes, en base en que los niveles impermeables se producen en zonas con materia orgánica, y la zona con alta densidad poblacional posee poca o nula presencia de vegetación.

Para ambos tipos de remociones, se consideró un umbral secundario entre susceptibilidad baja y media de un 30%, para determinar unidades que posiblemente necesiten análisis posteriores en cuanto a cambios en alguno de sus parámetros (principalmente antrópico, y asociados a incendios (vegetación y permeabilidad)). Esto asociado a los mapas de susceptibilidad pre-incendio.

Tomando en cuenta el área con vegetación no afectada por el incendio, y realizando un análisis de sensibilidad para ésta zona, si se produjera un incendio dentro de la zona con vegetación, el área altamente susceptible a deslizamientos de suelo de la cuenca de estudio aumentaría en un 7,37% (de media a alta), mientras que para el caso de flujos de detritos el valor sería de 7,82% (de media a alta).

Los resultados de estudio de susceptibilidad a deslizamientos de suelo pre incendio (tabla 6.1) muestran una mayor concentración de zonas de susceptibilidad alta en la subcuenca este, abarcando un 42,5% del área de ésta subcuenca. En segundo lugar se encuentran las zonas de susceptibilidad media (menor a 30%). En la cuenca oeste, la susceptibilidad preponderante es media, con un 56,1% del área de esta subcuenca.

En el caso post-incendio, debido a la modificación de las condiciones de vegetación, parte de la zona de susceptibilidad media de la cuenca oeste cambia a susceptibilidad alta, alcanzando un 37,6%, aunque se mantiene preponderantes las susceptibilidades medias en ésta cuenca (por el paso de zonas de susceptibilidad baja a media). La cuenca este mantiene su mayor porcentaje de área con alta susceptibilidad (asociado al factor antrópico y la ausencia de vegetación por construcciones), por lo que se puede sugerir que el incendio por sí solo no es suficiente para cambiar drásticamente las condiciones de susceptibilidad en cuanto a los deslizamientos.

Tabla 6.1: Porcentajes de área para diferentes clasificaciones de susceptibilidad a deslizamientos de suelo dentro de la zona de estudio.

	Suscept. Deslizamientos de suelo (pre-incendio)			Suscept. Deslizamientos de suelo (post-incendio)	
	subcuenca oeste	subcuenca este		subcuenca oeste	subcuenca este
alta	19,7%	42,5%	alta	36,2%	43,3%
media	56,1%	36,9%	media	53,7%	36,1%
baja	24,2%	20,6%	baja	10,2%	20,6%

Para el caso de los flujos de detritos, el panorama es similar (tabla 6.2). El porcentaje del área de la subcuenca este con alta susceptibilidad a flujos de detritos pre-incendio es de 37,9%, seguido por la susceptibilidad media. En ésta cuenca predominan las zonas con susceptibilidad media a alta para flujos de detritos, principalmente ligado al factor antrópico (desestabilización, obstrucción de canales) y a la escasa o nula vegetación. Esto concuerda con la presencia mayor de zonas con susceptibilidad media en la cuenca Oeste, una vez más asociado a la densidad de vegetación preponderante.

En contraste, la susceptibilidad alta post-incendio aumenta drásticamente en la cuenca oeste (36,9%), asociándose a la presencia de niveles impermeables y a la destrucción casi por completo de la vegetación existente. Se puede observar que el aumento de áreas con susceptibilidad alta es mayor para los flujos de detritos en comparación con los deslizamientos (casi 10% más).

Tabla 6.2: Porcentajes de área para diferentes clasificaciones de susceptibilidad a flujos de detritos dentro de la zona de estudio.

	Suscept. Flujos de detritos (pre-incendio)			Suscept. Flujos de detritos (pre-incendio)	
	subcuenca oeste	subcuenca este		subcuenca oeste	subcuenca este
alta	11,2%	37,9%	alta	36,9%	38,5%
media	74,4%	45,9%	media	55,8%	45,3%
baja	14,4%	16,2%	baja	7,3%	16,2%

Si analizamos a grandes rasgos la cantidad de unidades con una susceptibilidad mayor a 60% (en el caso de deslizamientos y flujos), se tiene un 22% para deslizamientos y un 1,8% para flujo de detritos, en el caso de los deslizamientos, ésta área coincide con los eventos registrados.

Adicionalmente, analizando el posible desencadenante de remociones en masa, gracias al catastro se puede observar una ocurrencia de eventos en períodos otoño-invierno (concentrándose en meses invernales), lo que podría implicar un desencadenante de tipo pluvial para la zona estudiada (sin considerar los eventos provocados por acción antrópica).

La continuación de éste estudio, ahondando en peligros de remociones en masa, debe tomar en cuenta tanto las zonas determinadas como de alta susceptibilidad, como aquellas determinadas como “al límite”, es decir, zonas no afectadas por el incendio, las cuales pueden cambiar su clasificación, si es que se ven afectadas por algún siniestro.

6.3 Respecto del efecto del incendio

Dentro de los efectos de los incendios, los más importantes son: Disminución de vegetación y cambios en la geotecnia y permeabilidad de los suelos.

6.3.1 Disminución de vegetación

Las condiciones de vegetación, como se puede observar en la figura 6.1 y 6.2, tienen una recuperación de un 5% por cada mes aproximadamente, es decir, considerando el total del área afectada por el incendio (descartando las zonas de alta vegetación dentro del área previamente considerada), el 5% del área considerada como de nula o baja vegetación cambia a un estado de vegetación baja a media. Todo esto suponiendo que la recuperación de vegetación se produce en las estaciones de otoño-invierno, y no necesariamente es el tipo de vegetación original del área, o ésta vegetación crece directamente de restos no completamente destruidos (observado en terreno). En cuanto a la vegetación de alta densidad, a grandes rasgos se puede estimar un crecimiento de 1,5% por mes, es decir, se podría recuperar el área de alta vegetación en un período de 2,5 años, siempre y cuando ésta sea lineal.

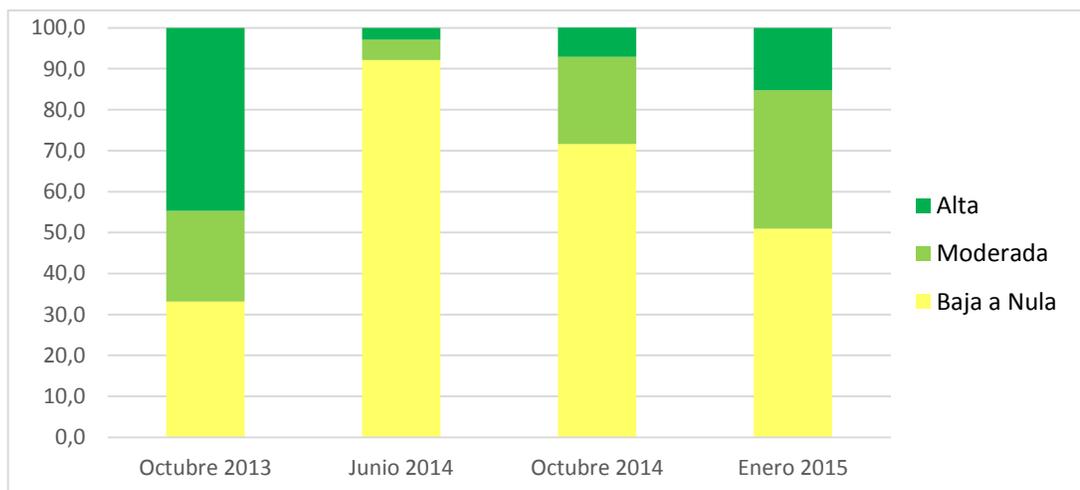
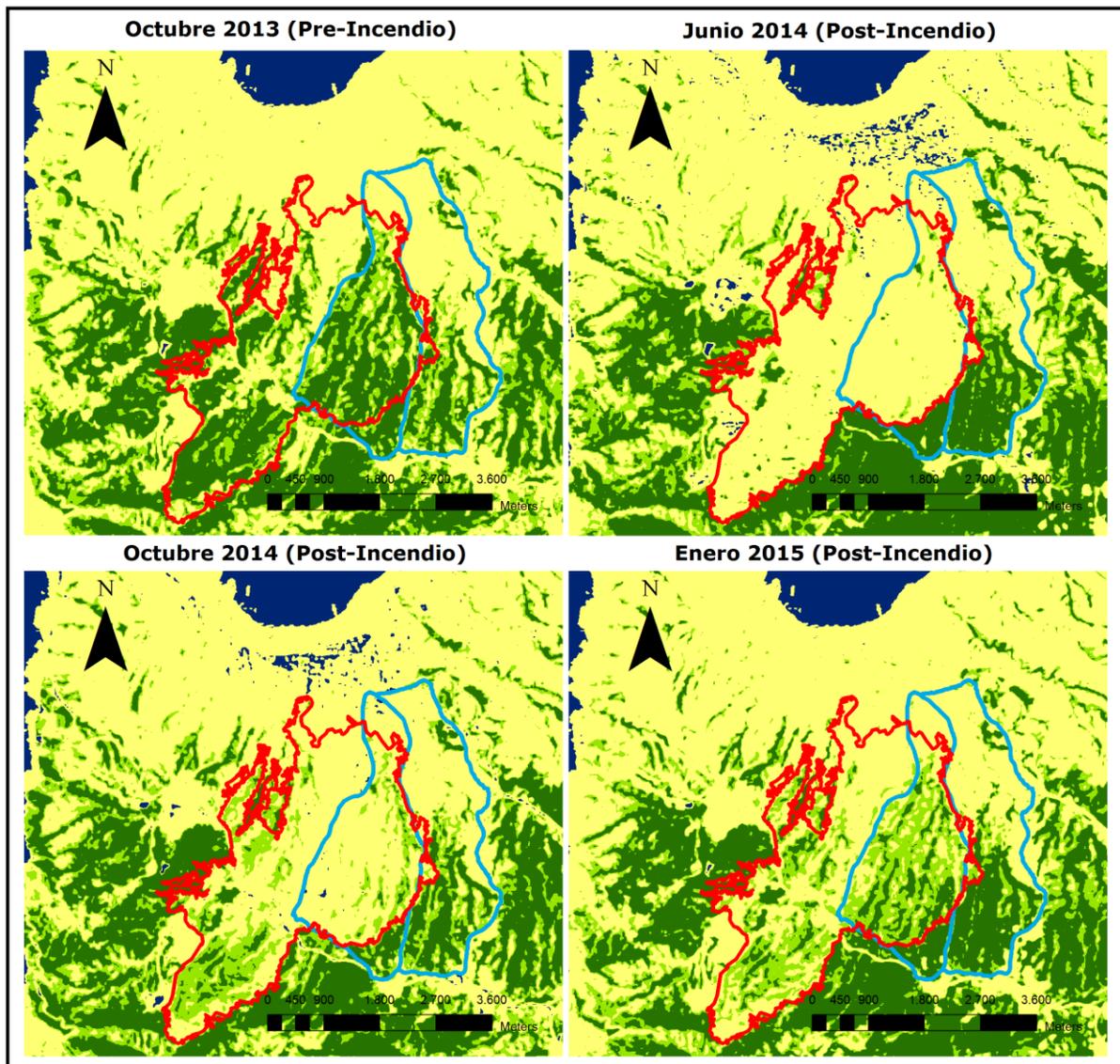


Figura 6.1: Distribución de estado de vegetación para zona afectada por incendio, para los meses de octubre 2013 (pre-incendio), junio 2014, octubre 2014 y enero 2015 (post-incendio).



Vegetación

- Nula o Baja
- Moderada
- Alta

Delimitación

- Zona afectada por incendio Abril 2014
- Cuencas en Estudio

Figura 6.2: Mapa temporal de condiciones de vegetación dentro de zona afectada por incendio, y delimitación dentro de cuenca de estudio.

Además se debe tener en cuenta que los datos entregados son de tipo superficial, por lo cual no se sabe la extensión de las raíces, las cuales juegan el papel de reafirmante del terreno (Jackson & Roering, 2008). Tomando en cuenta la bibliografía, se podría deducir que la vegetación expuesta antes del incendio se podría recuperar en un período de 4,1 años (considerando esto como el tiempo medio para el crecimiento de la especie *Eucalyptus Globulus* con una altura media de 10,2 mts (Pinilla, 2009)) (tabla 6.3), sin saber claramente cuál es la altura óptima para la estabilización del suelo adyacente. Es decir, la vegetación no crece linealmente, y el crecimiento acelerado se puede basar principalmente en una recuperación

directamente relacionada a los restos no destruidos de vegetación densa (bosque tipo renoval, de tipo secundario (Lara et al. 2003). En éste caso se ha considerado la presencia menor de la especie *Pinus Radiata*.

Tabla 6.3: Parámetros generales de parcelas experimentales en regiones de Valparaíso y Los Lagos (Pinilla, 2009).

Valores	Mediciones (N°)	Altura media (m)	DAP Medio (mm)	VOLUMEN (m³/ha)	Área Basal (m²/ha)	Altura Dominante (m)	Densidad (arb/ha)	Edad (años)
Medio	2	10,2	75,9	39,40	8,56	12,3	1.667	4,1
Máximo	4	26,3	215,1	278,01	29,34	30,3	3.660	19,4
Mínimo	1	3,1	23,2	0,00	0,62	3,9	600	0,4

6.3.2 Cambios en la geotecnia y permeabilidad

Comparando las muestras obtenidas en suelo intacto y afectado por el incendio (correspondientes ambos a suelo residual del batolito costero), se puede apreciar una disminución de permeabilidad en los suelos quemados, lo que queda reflejado en los resultados según la clasificación de Bisdorn et al. (1993), esto podría estar relacionado con el aumento de finos (principalmente cenizas de restos vegetales y arcillas calcinadas) y la migración de partículas hidrofóbicas contenidas en materia orgánica, hacia niveles inferiores (asociadas a la presencia de vegetación resinosa, como lo son los eucaliptos y pinos).

La densidad y humedad relativa se mantienen casi similares entre ambos tipos de suelo (siendo menor la humedad en los suelos quemados), esto se puede deber principalmente a la fecha de toma de muestras, la cual fue aproximadamente 5 meses después, por lo que el suelo podría haber tenido el tiempo suficiente para recuperar parte de su permeabilidad inicial, coincidente con lo explicado por Haigh (2009). Los datos obtenidos en terreno posiblemente son los remanentes de impermeabilización inicial producto del incendio. Otra posibilidad es la explicada en la Figura 4.5, la cual indica que dependiendo del tipo de vegetación presente en la zona, la impermeabilización se alojará en diferentes niveles, en éste caso el nivel impermeable está cubierto por un nivel permeable, y no se ve reflejado en las muestras tomadas superficialmente. Éste aumento de permeabilidad superficial posiblemente no afecte la ocurrencia de eventos de deslizamiento de suelo, pero si un aumento en la ocurrencia de flujos de detritos (por una sobresaturación de los niveles de suelo sobre las capas impermeables), o un aumento de la erosión de los suelo, con una posterior acumulación en quebradas, como lo indica Santi et al. (2007).

Una característica particular de los suelos quemados es su aumento de consistencia, la cual mediante métodos de campo se pudo clasificar como dura (un rango por encima que el suelo residual normal).

La muestra 7 fue extraída de una zona afectada por el incendio, y así es corroborado por sus características obtenidas (cantidad de finos, tiempo de infiltración, color, humedad relativa). Sin embargo, las coordenadas del punto de extracción muestran una ubicación en suelo residual intacto, por lo que posiblemente la delimitación previa no fue bastante detallada (realizada por ONEMI), o posiblemente está asociado a un error en la toma de coordenadas.

7 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Entre los parámetros más importantes en la zona estudiada se pueden nombrar sus altas pendientes de laderas y quebradas, vegetación escasa y un crecimiento habitacional desmesurado (es así como se observa mayor susceptibilidad alta en la cuenca este). Para evitar la sobreestimación de zonas susceptibles, se ha disminuido el factor pendiente, y aumentado el factor vegetación y antrópico. En el caso de la cuenca oeste, los parámetros post-incendio más importantes son la eliminación de la cubierta vegetal, y los niveles impermeables (sólo para flujos de detritos), combinado con las altas pendientes de laderas.

La delimitación de unidades se realizó en base a los factores pendiente, aspecto y tipo de suelo, completando un total de 198 unidades para las 2 subcuencas estudiadas. Los umbrales para susceptibilidad media y alta (30% y 50% respectivamente) no fueron modificados. El umbral de susceptibilidad media considera unidades que deben tenerse en cuenta, principalmente para la ubicación de nuevas viviendas, o para evaluarlas en caso de incendios posteriores. El umbral de susceptibilidad alta determina las unidades que necesitan ser evaluadas, para ver posibles soluciones mitigadoras a deslizamientos de suelo y flujos de detritos, así como zonas restringidas a la construcción.

El área considerada como susceptible, tanto a deslizamientos de suelo como a flujos de detritos, coincide con zonas de alta densidad poblacional, en períodos de intensas lluvias (otoño-invierno) y en zonas de vegetación escasa o nula. Estas zonas se ubican cercanas al centro de la comuna de Valparaíso.

El catastro de remociones históricas juega un papel importante dentro del análisis de susceptibilidad, debido a que determina las unidades que deben poseer como mínimo 50%, para ser clasificadas como de alta susceptibilidad. No necesariamente toda la zona considerada como de alta susceptibilidad posee registros históricos.

Es posible extrapolar la metodología utilizada en la zona de estudio a zonas aledañas, o de similares características dentro de la comuna de Valparaíso (pendiente, aspecto, geotecnia), considerando que parámetros como la expansión habitacional y la ocurrencia de incendios tienen un comportamiento similar a la cuenca estudiada.

El factor incendio tuvo más incidencia en el aumento de susceptibilidad a flujos de detritos, debido a su modificación en los factores de vegetación (eliminación de cobertura) y permeabilidad (formación de niveles impermeables superficiales). En cuanto a deslizamientos de suelo sólo afectó en lo que respecta a vegetación.

Se recomienda la elaboración de un catastro completo, detallado en cuanto a fecha, ubicación, tipo de evento, factor desencadenante y daños producidos.

Ya que el factor incendio fue el principal modificador dentro del área en estudio, se propone el análisis temporal de crecimiento arbóreo dentro de la zona afectada, mediante imágenes satelitales corregidas y detalladas en cuanto a fecha (y la reforestación con especies propias de la zona, y no resinosas (si es que es posible)). Además para determinar el comportamiento en cuanto a permeabilidad de suelos afectados, la realización de calicatas es lo más viable, con el fin de determinar posible

ubicación de niveles impermeables y horizontes de suelos, además de un muestreo a diferentes lapsos de tiempo, transcurrido el evento descrito (en zonas afectadas).

Aunque el factor incendio afectó gran parte de una de las cuencas estudiadas, por sí solo no juega un papel importante en cuanto a la delimitación de zonas de susceptibilidad alta (aunque sí produjo un aumento considerable de zonas de susceptibilidad baja a media).

La caracterización geotécnica de suelos sólo se pudo realizar en zonas de muestreo, con una cantidad bastante limitada, debido al tiempo destinado a ello, lo que se vio dificultado por la alta densidad poblacional y la posible extracción de muestras que no conformaban una buena representación de los suelos estudiados. Además el tiempo transcurrido desde el incendio fue de aproximadamente 5 meses, por lo que las muestras de suelo quemado no representan una fiabilidad completa en cuanto a comportamiento geotécnico (aunque los cambios en cuanto a consistencia se apreciaban hasta la fecha de terreno).

Se debe realizar una regulación adecuada de zonas aptas para construcción de viviendas, para evitar ocupación de zonas de pendientes altas, o cercanas a quebradas con alta susceptibilidad a flujos de detritos, de acuerdo a normativas del PRC (principalmente en la quebrada Oeste, la cual aún no ha sido poblada densamente), con el fin de evitar un esfuerzo mayor en áreas debilitadas o la obstrucción de los canales conductores de agua. Además se recomienda el aseguramiento de zonas de suelo expuestas a infiltración de agua, y aledañas a construcciones habitacionales o viales, mediante métodos de impermeabilización (posiblemente shotcrete), con el fin de evitar la sobresaturación de suelo y la posterior ocurrencia de remociones en masa (así como se ha hecho anteriormente en ciertos puntos de la cuenca estudiada).

Debido a que la división de unidades está basada en la caracterización de polígonos en base a unidades de suelo, pendiente, y exposición al sol, no hay una caracterización detallada, por lo que se recomienda (si es que existe el tiempo suficiente) un estudio minucioso, a menor escala, utilizando imágenes RASTER y programas adecuados para realizar matemática con ellas, con el fin de descartar posibles errores asociados a generalización de características de unidades delimitadas (promedio de características como pendientes y aspecto).

8 BIBLIOGRAFIA

- Alvarez, L; Grimme, K. 1964. El Suelo de Fundación de Valparaíso y Viña del Mar. Instituto de Investigaciones Geológicas, Chile. Boletín N°16. p.17-40.
- Ariza, A. 2013. Descripción y Corrección de Productos Landsat 8 LDCM (Landsat Data Continuity Mission). Instituto Geográfico Agustín Codazzi. Bogotá, Colombia.
- Bisdom, E; Dekker, L; Schoute, J. 1993. Water Repellency of Sieve Fractions from Sandy Soils and Relationships with Organic Material and Soil Structure. *Geoderma*, 56: 105-118.
- Cannon, S., et al. 2008. Storm rainfall conditions for floods and debris flows from recently burned areas in southwestern Colorado and southern California. *Geomorphology* 96 (2008) 250-269.
- Castillo, M., 2006 - El cambio del paisaje vegetal afectado por incendios en la Zona Mediterránea Costera de la Quinta Región de Chile. Tesis Magíster en Geografía. Facultad de Arquitectura y Urbanismo. Universidad de Chile. 155p.
- Castillo, M., 2009 –Análisis del Riesgo y Vulnerabilidad contra Incendios Forestales en Áreas de Interfaz, Provincia de Valparaíso. Proyecto FONDECYT 1095048. RISCOS - Associação Portuguesa de Riscos, Prevenção e Segurança. p.3
- Comte, D., A. Eisenberg, E. Lorca, M. Pardo, L. Ponce, R. Saragoni, S. K. Singh, Suárez, G. 1986. “The 1985 central Chile earthquake: A repeat of previous great earthquakes in the region?”, *Science*, 233, p. 393-500
- Conaf, 2014-A. Número y Superficie Afectada por Incendios Forestales por Comunas 1985 – 2013 <http://www.conaf.cl/incendios-forestales/incendios-forestales-en-chile/estadisticas-historicas/Estadísticas>. Último ingreso 26 de febrero de 2015.
- Conaf, 2014-B. Plantaciones Forestales establecidas durante el año 2013 <http://www.conaf.cl/nuestros-bosques/bosques-en-chile/estadisticas-forestales/>. Última entrada 02 de marzo 2015.
- Cruden, D., 1991. A simple definition of a Landslide. *Bulletin of the International Association of Engineering Geology*. No. 43, p. 27-29.
- 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.
- DeBano, L.F., Neary, D., Ffolliot, P., 1998. *Fire effects on ecosystems*. John Wiley & Sons. New York, NY.
- DeBano, L.F., Krammes, J.S., 1966. Water repellent soils and their relation to wildfire temperatures. *Bulletin of the International Association of Scientific Hydrology* 2:14-19.

- DGA, 2002. Informe de Zonificación Hidrogeológica para las Regiones Metropolitana y V. Departamento de Administración de Recursos hídricos, Dirección General de Aguas. Ministerio de Obras Públicas, Gobierno de Chile. P.123,136.
- Doerr, S.H., Shakesby, R.A., Walsh, R.P.D., 2000. Soil water repellency: its causes, characteristics and hydrogeomorphological significance. *Earth-Science Reviews* 51:33-65.
- EMOL, 2007. Nevazón en zona central del país. <http://www.emol.com/noticias/nacional/2007/06/22/260195/inusual-nevazon-en-zona-central-del-pais.html>. Última entrada 01 de marzo 2015.
- Falcón, F., Arenas, M., 2014. Efectos del Incendio del 12 al 16 de abril de 2014, Comuna de Valparaíso, Región de Valparaíso: Su impacto en la estabilidad de las laderas y la generación de remociones en masa. INF-VALPARAISO-01, p1.
- Falcón, F., Arenas, M., Neira, H., 2014. Efectos del incendio del 12 al 16 de abril de 2014, Comuna de Valparaíso, Región de Valparaíso: Áreas de riesgo por remociones en masa según instrumentos de planificación vigentes y estudios de peligro de Sernageomin. INF-VALPARAISO-02, p1-2.
- Gana, P.; Tosdal, R. 1994. Geocronología U-Pb y K-Ar en intrusivos del Paleozoico y Mesozoico de la Cordillera de la Costa, Región de Valparaíso, Chile. Servicio Nacional de Geología y Minería. *Revista Geológica de Chile*, Vol. 23, No. 2, p.151-164. 3 Figs, 2 tablas, Diciembre 1996.
- Gana, P.; Wall, R.; Gutiérrez, A. 1996. Mapa geológico del área Valparaíso-Curacaví, regiones de Valparaíso y Metropolitana. Servicio Nacional de Geología y Minería, Mapas Geológicos, No. 1, escala 1:100.000, anexo.
- Giovannini, G., 1994. The effect of fire on soil quality. En: Sala, M., Rubio, J.L. (eds.). *Soil Erosion as a Consequence of Forest Fires*. Geforma Ediciones. Logroño.
- Gore Valparaiso, 2014. Clima Regional. www.gorevalparaiso.cl/clima.php. Último ingreso 08 de octubre de 2014.
- Haigh, M., 2009. Fire Effects on Soils and Restoration Strategies. Volume 5 of Series: Land Reconstruction and Management, Oxford Brookes University, Oxford, UK, p205-207.
- Hauser, A., 1993. Remociones en masa en Chile. Servicio Nacional de Geología y Minería, Santiago. *Boletín No. 45*, p. 7-29.
- Jackson, M; Roering, J, 2008. Post-fire geomorphic response in steep, forested landscapes: Oregon. Department of Geological Sciences, University of Oregon, USA. *Quaternary Science Reviews* xxx, p.1-16.
- Kett, I. 2010. Standard Specification for Wire Cloth and Sieves for Testing Purposes, Engineered Concrete: Mix Design and Test Methods, Second Edition. Crc press taylor & Francis Group, second edition, 2010. Pag 79-80
- Kottek et al., 2006 World Map of the Köppen-Geiger climate classification updated. *Meteorologische Zeitschrift*, Vol. 15. No.3, 259-263. Gebrüder Borntraeger 2006.

- Lara M., 2007. Metodología para la Evaluación y Zonificación de Peligros de Remociones en Masa con Aplicación en Quebrada San Ramón, Santiago Oriente, Región Metropolitana. Tesis para optar al Grado de Magíster en Ciencias Mención Geología, Departamento de Geología, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Universidad de Chile. p.67-106.
- Lara, A. et al., 2003. Componentes Científicos Clave para una Política Nacional Sobre Usos, Servicios y Conservación de los Bosques Nativos Chilenos. Universidad Austral de Chile. Iniciativa Científica Milenio de Mideplan.
- López, L; Wall, R; Prat, M. 2005. Peligro de Remociones en Masa e Inundaciones de las Ciudades de Valparaíso, Viña del Mar y Concón, Región de Valparaíso. Servicio Nacional de Geología y Minería. Subdirección Nacional de Geología., p. 2-19
- Leyton, J., 2014. Condiciones otoño-invierno 2014. Estado actual y proyecciones...panorama nacional con énfasis en la zona central. 24 abril 2014. Dirección General de Aeronáutica Civil, Santiago.
- Madariaga, R. 1998. Física de la Tierra TS5N: 0214-4557. 1998, n.10, p. 221-255. Sismicidad de Chile.
- MOP, 1985. Ministerio de Obras Públicas, laboratorio nacional de vialidad. Curso Laboralista vial, Volumen 1, Geotecnia.
- MOP, 1986. Mapa Hidrogeológico de Chile, Texto Explicativo. Santiago de Chile. p-9.
- Muñoz, E. 2013. Susceptibilidad de remociones en masa y de respuesta sísmica asociada a fallas mayores en zonas urbanas. Estudio de caso en Viña del Mar, V Región. Memoria para optar al Grado de Magíster en Ciencias, Mención Geología.
- Onemi, 2014. <http://www.onemi.cl/alerta/se-declara-alerta-roja-para-la-comuna-de-valparaiso-por-incendio-forestal-7/#collapse2>.  ltimo ingreso 04 de agosto de 2014.
- Pinilla, J. 2009. Modelos de Crecimiento para Eucalyptus Globulus en Monte Bajo entre las regiones de Valparaíso y Los Lagos. Instituto Forestal, Sede Biobio, Concepción, Chile. p.212
- PRC, 2010. Observatorio Urbano. Ordenanza del plan regulador de Valparaíso. 2010. Texto refundido. Disponible en http://www.observatoriourbano.cl/ipt/resultado_decreto.asp?r=5&c=151&i=25, último acceso 07 de mayo de 2014.
- PREMVAL, 2010. Core Valparaíso. Ordenanza Plan regulador Metropolitano de Valparaíso. Disponible en http://www.corevalparaiso.cl/archivos_cot/Ordenanza_PREMVAL.Pdf, último ingreso 07 de mayo de 2014.
- Revollo, M., 2010. Relación entre la composición socioeconómica de la población, el proceso de urbanización y el riesgo a inundaciones, en dos cuencas del gran Valparaíso. Tesis para optar al Grado de Magíster en gestión y Planificación Ambiental, pp 42-46. Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Forestales y Conservación de la Naturaleza.

- Rodríguez-Alleres, M., et al. 2005. Implicaciones de la repelencia al agua del suelo en la generación de escorrentía y en la erosión en un área quemada del NW de España. Estudios de la Zona No Saturada del Suelo Bol.VII. Departamento de Biología Vegetal y Ciencia del Suelo. Edificio de Ciencias Experimentales.
- Ruiz, S. y G.R. Saragoni. 2005. "Fórmulas de atenuación para la subducción de Chile considerando los dos mecanismos de sismogénesis y los efectos del suelo". IX Jornadas Chilenas de Sismología e Ingeniería Antisísmica, Concepción, p. 16-19.
- Santi, P., et al. 2008. Source of debris flow material in burned areas. *Geomorphology* 96 (2008) 310-321.
- Savage, S.M., Osborn, J., Letey, J., Heton, C., 1972. Substances contributing to fire induced water repellency in soils. *Proceedings of the Soil Science Society of America* 36:674-678.
- Scott, K.M., Macías, J.M., Naranjo, J.A., Rodríguez, S., McGeehin, J.P., 2001. Catastrophic Debris Flows Transformed from Landslides in Volcanic Terrains: Mobility, Hazard Assessment and Mitigation Strategies. U.S. Geological Survey Professional Paper 1630.
- Sepúlveda, S.A., 1998. Metodología para Evaluar el Peligro de Flujos de Detritos en Ambientes Montañosos: Aplicación en la Quebrada Lo Cañas, Región Metropolitana. Memoria para optar al Título de Geólogo, Departamento de Geología, Universidad de Chile.
- SERVEL, 2007. Servicio de Registro electoral. División Político Administrativa y Censal, Región de Valparaíso.
- SHOA, 1994. Terremotos y tsunamis o maremotos. Texto guía para educación de enseñanza media. Dirección de educación general del Ministerio de Educación.
- Thorson, R. 1999. La Falla Geológica Marga-Marga, Viña del Mar - Chile. Universidad Técnica Federico Santa María, Departamento de Obras Civiles, Valparaíso.
- Turiscom, 2004. Mapa rutero 5ta región de Valparaíso. <http://www.turismovirtual.cl/v/v.html>. Último ingreso 04 de marzo 2015.
- Van't Woudt, B.D. 1959. Particles coatings affecting the wettability of soils. *Journal of Geophysical Research*, 64:263-267.
- Varnes, D.J., 1978. Slope movement types and processes. In *Landslides, Analysis and Control*, Special Report N°176. Schuster, R.L., Krizek, R.J., edits. Transportation Research Board, National Academy of Sciences, Washington D.C., p.11-33
- Vera, H., 2010. Dosis y Unidades de Medida. Regente de Farmacia.
- Yokens, Carlos (2001). Evolución espacial del patrón térmico superficial y su relación con las coberturas espaciales de uso de suelo y cobertura vegetal. Santiago: Memoria para optar al Título de Geógrafo, Escuela de Geografía. Universidad de Chile.
- Zagal, E; Sadzawka, A., 2007. Protocolo de Métodos de Análisis para Suelos y Lodos. Universidad de Concepción Facultad de de Agronomía, Chillán.p.11-12.

ANEXOS

ANEXO A. MAPAS ZONA DE ESTUDIO

A.1. Mapa de pendientes en zona de estudio

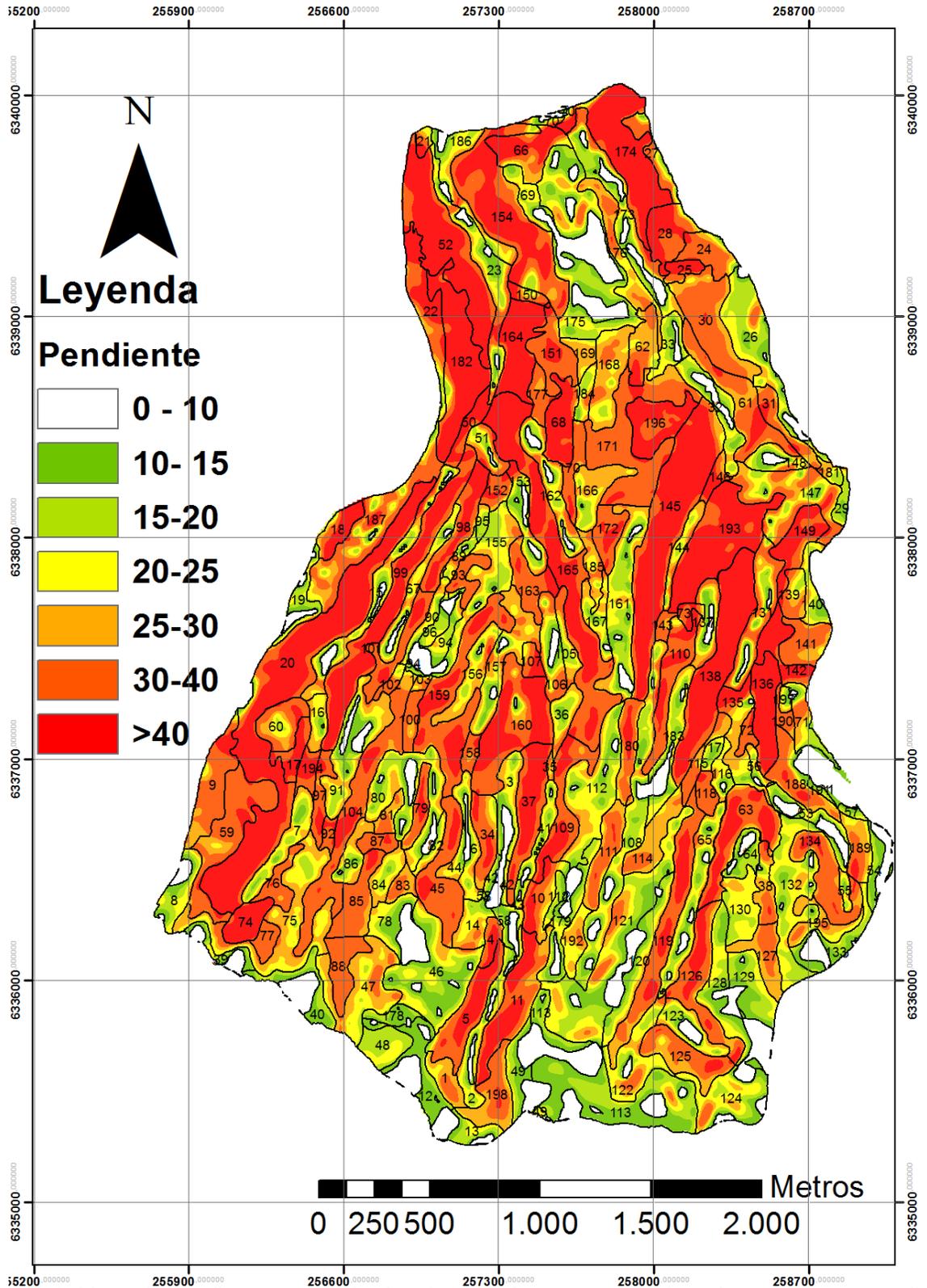


Figura A.1: Mapa de pendientes y delimitación de unidades geomorfológicas. Las zonas con pendientes menores a 10° no fueron consideradas en el estudio.

A.2. Mapa de exposición al sol en zona de estudio

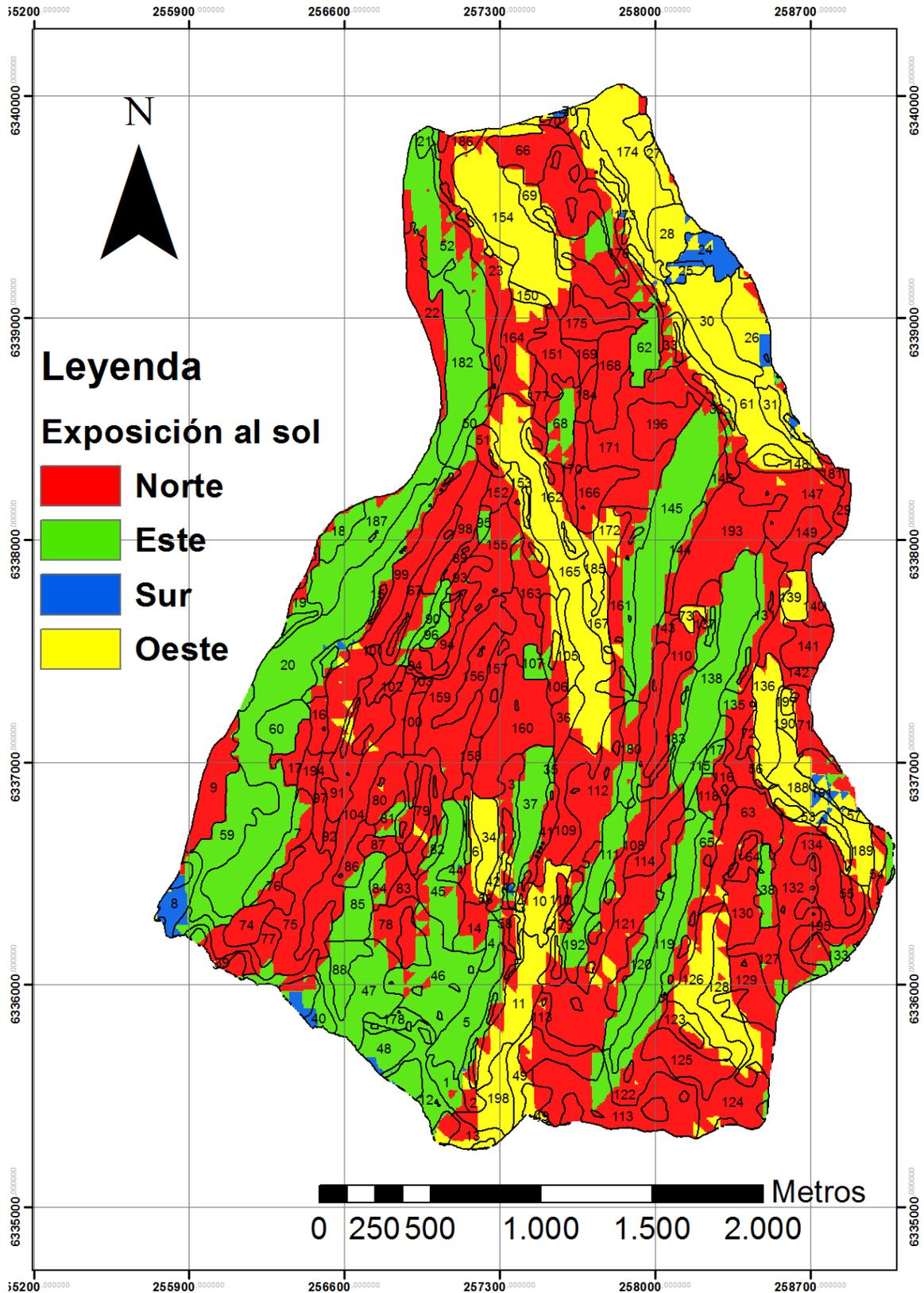


Figura A.2: Mapa de dirección de laderas de la cuenca estudiada, con delimitación de unidades geomorfológicas. Laderas manteadas hacia puntos cardinales combinados (SW, NE, etc.), fueron clasificadas en sus más cercanos, tomando en cuenta los 4 puntos cardinales básicos.

ANEXO B. ENSAYO DE MUESTRAS

B.1 Métodos de terreno

B.1.1 Densidad in situ por método de cono de arena

Para determinar la densidad in situ del suelo se procedió a calcular la densidad por método de cono de arena (MOP, 1985).

El cono de arena (figura B.1) es un instrumento que permite determinar la densidad in situ del suelo estudiado, mediante cálculos matemáticos y la utilización de arena estandarizada. Éste instrumento consta 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 apertura al centro, circular de igual diámetro que la base invertida del cono (en el caso del cono utilizado, el diámetro tanto de la placa como de del cono es de 7 pulgadas). Existe una válvula entre ambos, la cual permite el paso de la arena, como se observa en la figura.

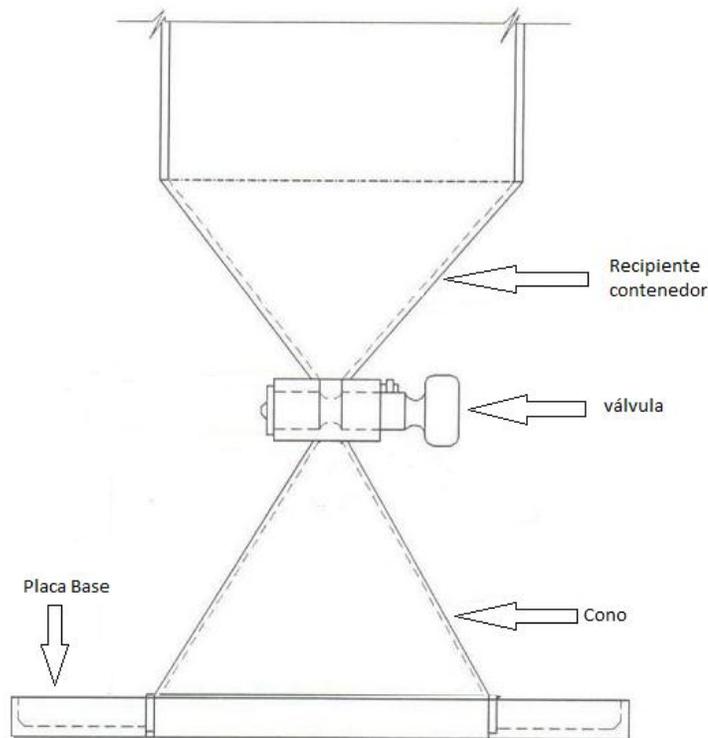


Figura B.1: Aparato cono de arena.

Además, otros implementos utilizados son:

- 1 huincha de 3 mts de largo.
- 12 kg de arena estandarizada.
- 1 balanza digital de hasta 30 kg, con una precisión de 5 gr.

- Elementos para realizar agujero (pala, espátula, puruña mediana, cucharón de densidades, bolsas para muestras, etc).
- Bolsas herméticas.

El funcionamiento del cono de arena se basa en el peso de la arena caída en el agujero excavado, además del peso del material extraído y la densidad de la arena estandarizada.

Previo al trabajo en terreno, se realizaron una serie de pruebas para calcular valores promedio de diferentes características de los materiales a utilizar.

Se obtuvo el valor de la densidad de la arena estandarizada mediante el siguiente procedimiento:

Se utilizó un recipiente de metal de un volumen conocido de 2126.96 cc, en el cual se colocó el aparato cono de arena y se utilizó tanta arena como fuese necesaria para llenar el recipiente. Al terminar de llenar el recipiente, se enrasó y eliminó toda la arena superficial. Luego de esto, se obtuvo el peso de la arena dentro del recipiente (3,21 kg), con lo cual se pudo calcular la densidad de la arena estandarizada (tabla B.1).

Tabla B.1: Masa, volumen y densidad de arena estandarizada, utilizada en método de cono de arena.

Marena (kg)	3,21
Varena (lt)	2,12696
Darena (gr/cc)	1,509196224

Además, se procedió a calcular el peso de la arena retenida por el cono y la placa base respectiva. Para este cálculo, se ubicó el aparato cono de arena en una superficie lisa, sobre una bolsa de plástico (para evitar la pérdida de la arena), y se agregaron 4 kg de arena en el recipiente superior. Luego de esto se procedió a abrir la válvula hasta que la arena dejara de caer. Posteriormente se cerró la válvula y se pesó la arena sobrante en el recipiente superior y en la válvula. Finalmente se restó este peso a los 4 kg agregados con anterioridad.

Tabla B.2: Datos de aparato cono de arena.

Marenatotal (kg)	4
Marenasobrante (kg)	2,295
Marena (cono+placa) (kg)	1,705

Los puntos determinados como importantes para la toma de muestras son propuestos con anterioridad, mediante la utilización de mapas de suelo y roca. Luego en terreno se busca puntos de posible extracción de muestras, en los cuales se observe presencia de suelo residual. El punto seleccionado para la medición de densidad debe ser nivelado y alisado mediante herramientas (ya sea pala, espátula, brocha, etc). Hay que tener precaución de no aplanar el suelo mediante herramientas de fuerza, debido a que se podrían falsear los datos de densidad. Una vez nivelado el suelo, se coloca la placa de densidades, y se procede a cavar un agujero de aproximadamente 10-12 cm

de profundidad, del mismo diámetro que la placa base (se debe tener mucha precaución de guardar inmediatamente en bolsas selladas el material extraído del agujero, evitando la caída de material que no provenga del agujero. Las bolsas deben ser herméticas con el fin de evitar la pérdida de agua de la muestra, para el correcto cálculo de la densidad, y posteriores análisis en laboratorio). Luego de excavado el agujero, y guardado el suelo extraído, éste debe ser pesado, para así obtener los datos de suelo húmedo. Se procede a colocar el cono de densidades sobre la placa base y en la parte superior del cono de densidades se agrega arena estandarizada, pesada previamente (para las pruebas en terreno se utilizaron 4 a 6 kg, dependiendo de la profundidad del agujero). Luego se abre la válvula y se deja caer arena hasta que el agujero, la placa base y el cono inferior estén llenos, la arena remanente en el recipiente superior debe ser pesada. Posterior al pesaje, se procede a recuperar la arena del agujero, tratando de no contaminarla con suelo residual (sólo se recupera la porción limpia de la arena).

El cálculo de la densidad in situ en el suelo se realiza de la siguiente manera:

$$M_{\text{arenatotal}} - M_{\text{cono+placa}} - M_{\text{sobrante+válvula}} = M_{\text{arenaagujero}}$$

$$V_{\text{agujero}} = \frac{M_{\text{arenaagujero}}}{D_{\text{arenaestandarizada}}}$$

$$D_{\text{suelo}} = \frac{M_{\text{sueloextraído}}}{V_{\text{agujero}}}$$

Hay que tener en consideración que el cálculo de densidad corresponde a suelo húmedo.

B.1.2 Consistencia de suelo mediante ensayo manual

La consistencia se refiere al grado de adherencia entre las partículas del suelo y a la resistencia ofrecida a las fuerzas que tienden a deformar o romper el agregado de suelo. La consistencia se describe por medio de los términos tales como blanda, media, firme, muy firme y dura (MOP, 1985) (tabla B.3).

Tabla B.3: Identificación de la consistencia por ensayo manual (Ministerio de Obras Públicas, Laboratorio Nacional de Vialidad, 1985).

Consistencia	Procedimiento de identificación	Resistencia al Corte (Kgf/cm ²)
Blanda	El pulgar penetra fácilmente varias pulgadas.	Menor que 0,25
Media	El pulgar penetra varias pulgadas con esfuerzo moderado.	0,25-0,50
Firme	Marca el pulgar pero penetra sólo con gran esfuerzo.	0,50-1,00
Muy Firme	Marca la uña del pulgar.	1,00-2,00
Dura	Marca con dificultad la uña del pulgar	Sobre 2,00

B.1.3 Compacidad de suelo

La compacidad es el grado de compactación o densidad natural de los suelos no cohesivos expresado cualitativamente como suelta (cuando una estaca de madera 50x50 mm puede ser hincada con facilidad) y densa (si es difícil hincar la estaca más de 50 mm) (MOP, 1985). En terreno se utilizó un mazo de goma de 40x40 mm.

B.1.4 Repelencia de suelo

Además de los análisis anteriores, se procedió a realizar una observación de la repelencia a grandes rasgos (debido a que no se contaba con los implementos necesarios para tal propósito. Utilizando un orificio excavado de 7 pulgadas (17,78 cm) (el mismo orificio resultante de la excavación para el cálculo de densidad, se procedió a vaciar una cantidad de 500 cc de agua y se calculó el tiempo que tomó en infiltrarse en el suelo.

Si bien el método es bastante general, permite obtener una idea de comportamiento del suelo en cuanto a repelencia al agua, y realizar una comparación posterior.

Luego se utilizó el método de Tiempo de Penetración de la Gota (WDPT) de Van't Woudt (1959) y la clasificación de repelencia de Bisdorn et al. (1993) (tabla B.4), el cual clasifica la repelencia al agua de un suelo en diferentes categorías, dependiendo del intervalo de tiempo (en segundos) que toma una gota en ser infiltrada. Para esto se calculó el área mínima y máxima que está en contacto con el agua (altura de columna de agua+base y sólo base), y se supuso que la cantidad de gotas en contacto con 1 cm² de la base de suelo es de 36 (Vera (2010) determina cantidad de gotas en 1 ml como 20). Realizado esto, se procedió a dividir el tiempo total en la cantidad de gotas por unidad de área.

Tabla B.4: Intervalos y categorías en segundos, asociadas a la repelencia de suelos, clasificación de Bisdorn et al., (1993), basado en el método WDPT de Van't Woudt (1959)

		Repelencia al agua								
	Hidrofilico	Ligera			Fuerte			Severa		Extrema
WDPT clases	≤5	10	30	60	180	300	600	900	3600	> 3600
WDPT intervalo (s)	≤5	6-10	11-30	31-60	61-180	181-300	301-600	601-900	901-3600	> 3600

B.2 Métodos utilizados en laboratorio

Los procedimientos de laboratorio se realizaron en las dependencias de la Universidad de Chile, específicamente en el laboratorio de Sedimentología del Departamento de Geología, en su unidad de laboratorio de secado y en su bodega de tamizaje.

B.2.1 Pesaje de Muestras

El pesaje de muestras se realiza para obtener una corroboración de los datos obtenidos en terreno, con una precisión de 0,01 gr, con el fin de obtener datos más exactos de densidad, para medir peso otra vez, con el fin de descartar errores en los pesajes in situ.

Para el pesaje se utilizó una balanza de precisión 0,01 gr marca Sartorius, bolsas herméticas y una brocha pequeña (figura B.2).

Previo al pesaje de las muestras, se procedió a calcular el peso de una bolsa hermética, idéntica a la utilizada en terreno.

Para pesar las muestras se procedió a abrir cuidadosamente las bolsas de muestras (las cuales estaban correctamente selladas), una a la vez, evitando la pérdida de material y procediendo de manera eficaz para evitar posibles pérdidas de humedad. Una vez pesado el material y anotado el valor, se procedió a cuartear cantidades de 500 gr y 700 gr, en pocillos de cerámica (previamente pesados en una balanza de 0,1 gr de error), para posterior secado. Al material pesado se le agregó la diferencia entre la bolsa hermética en la cual se transportó el material, y una bolsa nueva, para evitar la pérdida de humedad referente a la retenida en las superficies de la bolsa. El material sobrante se guardó y etiquetó en las bolsas originales, como material auxiliar en caso de error en alguno de los análisis.



Figura B.2: Balanzas utilizadas en el procedimiento. A la izquierda balanza con precisión 0,01 gr. A la derecha balanza con precisión 0,1 gr. Ambas balanzas son de marca Sartorius. Se utilizó una balanza de 0,1 gr de precisión para las pruebas posteriores, debido a que la tara de los pocillos no se puede realizar con la balanza más precisa (debido a su peso máximo de 400 gr).

B.2.2 Secado de muestras

El procedimiento de secado de muestras permite determinar el porcentaje de muestra que es agua, y contrarrestarlo con otras muestras. Además es necesario para calcular la densidad seca del suelo.

Los materiales utilizados para el procedimiento fueron los siguientes:

- Platos de cerámica de diferente peso y tamaño.
- Vasos precipitados de diferentes tamaños.
- Balanza de precisión 0,1 gr.
- Horno de secado Marca Memmert.
- Brocha y cuchara de metal.

Para el procedimiento se realizó un cuarteo de cada una de las muestras previamente revisadas, en cantidades de 500 gr y 700 gr en pocillos de cerámica, dependiendo del volumen de las muestras (los pocillos fueron pesados previamente). El secado se realizó mediante el horno, a una temperatura constante de 33°C±2, por un tiempo aproximado de 7 días (figura B.3). Transcurrido el tiempo se procedió a pesar las muestras en intervalos de 2 horas. Una vez que la diferencia entre los pesos de la misma muestra varía menos de un 0.1%, se determina que la muestra ha alcanzado una masa constante (Zagal & Sadzawka, 2007), y se extrae para análisis posteriores.

La humedad de un suelo en base al peso de la muestra seca (MOP, 1985) se determina mediante la siguiente fórmula:

$$\frac{M_{\text{muestra húmeda}} - M_{\text{muestra seca}}}{M_{\text{muestra seca}}} * 100 = \text{Contenido de Humeda de la muestra}$$



Figura B.3: Implementos utilizados en proceso de secado de muestras. A la izquierda se observa el horno marca Memmert utilizado, a una temperatura aproximada de 33°C. A la derecha se observan las muestras cuarteadas en cantidades de 500 gr y 700 g. Las muestras han sido etiquetadas previamente, registrando el código de la muestra, peso del recipiente y peso de la muestra húmeda.

B.2.3 Análisis Granulométrico

El método de tamizado consiste en hacer pasar el material por una serie de tamices de abertura de tamaños descendentes (tabla B.5 y figura B.4), por medio de movimientos normalizados, pesar lo retenido en cada tamiz y expresarlo en porcentajes del peso total de la muestra seca. Los resultados de este análisis se expresan en forma de tabla, tamiz versus porcentaje que pasa en peso, o en forma de gráfico semilogarítmico denominado “curva granulométrica”. La forma de la curva nos indica la relación entre los tamaños. Una curva empinada corresponde a un suelo uniforme. Una curva suave indica un suelo bien graduado. Una inflexión en la curva indica que el suelo está compuesto de dos suelos uniformes y es una graduación discontinua o incompleta. Las mallas utilizadas para el ensayo son las siguientes:

Tabla B.5: Mallas estandarizadas, con su respectiva conversión a pulgadas y milímetros (Kett, 2010).

US Malla	pulgadas	mm
11/4	1,2402	31,5
5/8	0,6260	15,9
5/16	0,3150	8
5	0,1575	4
10	0,0787	2
18	0,0394	1
35	0,0197	0,5
60	0,0098	0,25
120	0,0049	0,125
230	0,0025	0,063



Figura B.4: Mallas utilizadas para tamizaje. Se requirió utilizar 8 mallas a la vez, con un tiempo de tamizaje de 15 minutos por muestra.

La curva granulométrica permite a su vez determinar otros coeficientes:

Coeficiente de uniformidad: Se emplea para saber el tipo de graduación. Un material está bien graduado si el coeficiente de uniformidad (C_u) es mayor a 4 si es grava, y es mayor a 6 si es arena.

$$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}}$$

Coeficiente de Curvatura: Evalúa la regularidad de la curva. Para gravas y arenas bien graduadas debe estar comprendido entre 1 y 3. Un material bien graduado tiene mejor estabilidad, menor número de huecos, baja permeabilidad y baja compresibilidad; las partículas se pueden acomodar mejor.

$$C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}}$$

Para las ecuaciones anteriores, los tamaños asociados son los siguientes:

- D_{60} = Tamaño según curva granulométrica para el cual pasa el 60% del material.
- D_{30} = Tamaño según curva granulométrica para el cual pasa el 30% del material.
- D_{10} = Tamaño según curva granulométrica para el cual pasa el 10% del material.

B.2.4 Límites de Atterberg

Éste método es utilizado para conocer la consistencia de suelos cohesivos, mediante el paso gradual de estado sólido al plástico, y finalmente al líquido. El método permite definir los límites de humedad a los cuales el suelo presenta cambios de estado. Para el pertinente estudio se han realizado ensayos de límites plástico y líquido (MOP, 1985).

Previo al ensayo, se procedió a separar la fracción que pasaba la malla N°40 de cada muestra, con el fin de utilizarla para el cálculo de los límites. Éste remanente se procedió a curar con agua destilada por 24 horas mínimo, con tal de homogeneizar la muestra final.

Límite plástico: Para el cálculo de éste límite se procede a tomar muestras de suelo curado de aproximadamente 1 cm^3 . Se amasa con las manos y se hace rodar con las palmas de las manos o la base de un pulgar sobre una superficie lisa hasta formar cilindros de 3 mm (figura B.5). Se procede a amasar la muestra hasta que el cilindro formado se disgrega en trozos de 0,5 a 1 cm de largo aproximadamente. Luego se coloca la muestra amasada a secar, para calcular la concentración de humedad. Se procede este experimento hasta tener 3 determinaciones que no difieran en más de 2%. Luego se procede a calcular el promedio de las humedades.



Figura B.5: Procedimiento para cálculo de límite plástico. La disgregación de los bastoncillos debe ser en trozos de 5 a 10 mm para poder proceder a secado de muestras.

Límite líquido: Para el límite líquido se procede a utilizar el mismo tipo de muestra utilizado para el límite plástico. Una vez curada la muestra se procede a colocar aproximadamente de 50 a 70 gr de material en la cápsula de la máquina de Casagrande. Se alisa la superficie de modo que la altura en el centro sea de 10 mm. Se pasa el acanalador por el centro para dividir la masa con un surco de 63 mm de longitud. Se procede a girar la manivela y a contar el mínimo de golpes necesarios para que la ranura del surco cierre en 10 mm de longitud. Se extraen 10 gr del material del fondo del surco y se procede a secar para obtener el contenido de humedad. Luego se procede a seguir con el procedimiento unas 5 veces más, en un rango de 15 a 35 golpes. Se procede a realizar una curva semilogarítmica entre el contenido de humedad y el número de golpes, para luego interpolar a 25 golpes (figura B.6).

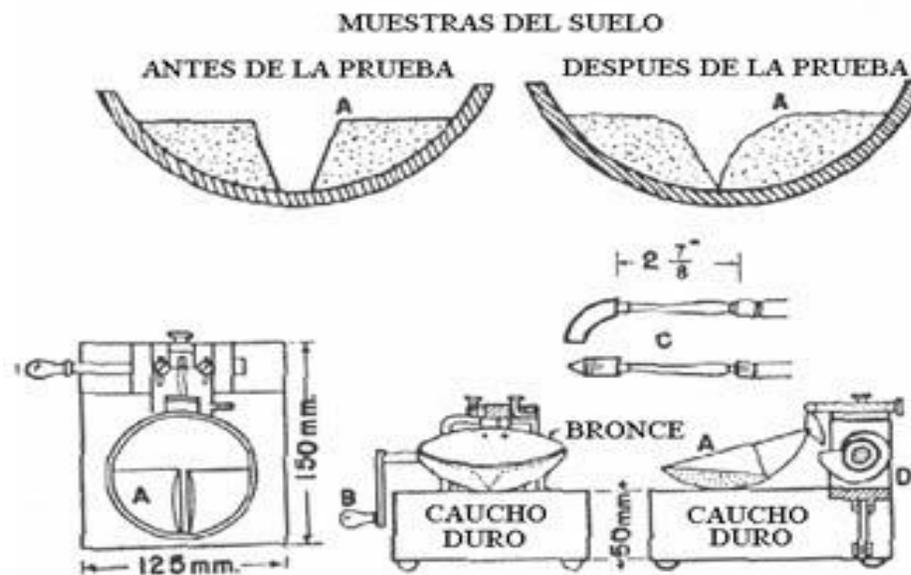


Figura B.6: Acanalador de Casagrande.

ANEXO C. RESULTADOS DE ENSAYOS

C.1 Resultados de Compacidad y Consistencia

Estos resultados fueron obtenidos en terreno mediante condiciones de material in situ. Para procedimiento en terreno ver anexo “métodos utilizados en terreno”.

Tabla C.1: Resultados de compacidad/consistencia y su resistencia al corte asociada.

Muestra	Compacidad	Consistencia	Resistencia al corte (Kgf/cm ²)
Muestra 1	Densa	Muy Firme	1,00-2,00
Muestra 2	Densa	Firme	0,50-1,00
Muestra 3	Densa	Dura	Sobre 2,00
Muestra 4	Densa	Muy Firme	1,00-2,00
Muestra 5	Densa	Muy Firme	1,00-2,00
Muestra 6	Densa	Firme	0,50-1,00
Muestra 7	Densa	Firme	0,50-1,00
Muestra 8	Densa	Media/Firme	0,25-0,5

C.2 Resultados de repelencia de suelos

Para las muestras de suelo obtenidas, se procedió a realizar en terreno un testeo a grandes rasgos de la repelencia del suelo (para la muestra 2 no se realizó el procedimiento debido a que no se realizó prueba de densidad y se determinó suelo como coluvial).

Los tiempos obtenidos para las muestras fueron los siguientes:

Tabla C.2: Tiempo transcurrido para infiltración de 500 cc de agua en los suelos estudiados.

Código de Muestra	Tiempo (s)
Muestra 1	1800
Muestra 3	438
Muestra 4	901
Muestra 5	571
Muestra 6	240
Muestra 7	601
Muestra 8	210

Realizando el supuesto de que el área que está en contacto con el agua corresponde a la altura del cilindro+base como máximo y base del cilindro como mínimo, se puede calcular el promedio del área de contacto:

$$\frac{\text{cilindro} + \text{base} + \text{base}}{2} = \frac{55,8 \text{ cm}^2 + 248 \text{ cm}^2 * 2}{2} = 276 \text{ cm}^2$$

Calculado esto se obtuvo que por 1 cm² de área de suelo pasan 1,8 ml de agua aproximadamente (36 gotas), con lo que se calculó el tiempo de una gota en infiltrarse y el intervalo y categoría según Bisdorn et al. (1993):

Tabla C.3: Resultados de repelencia según Bisdorn et al. (1993).

Código de Muestra	Tiempo en infiltrarse 1 gota (s)	Intervalo WDPT	Categoría según Bisdorn et al. (1993)
Muestra 1	50	30-60	Leve
Muestra 3	12,17	10-30	Leve
Muestra 4	25,03	10-30	Leve
Muestra 5	15,86	10-30	Leve
Muestra 6	6,67	10	Leve/nula
Muestra 7	16,69	10-30	Leve
Muestra 8	5,83	5-10	Leve/nula

C.3 Pesaje y Densidad de muestras

Para la densidad de muestras se utilizó el método de cono de arena, y arena estandarizada. En laboratorio se verificó el peso de las muestras, descartando errores de terreno. Para un total de 7 muestras, los resultados son los siguientes:

Tabla C.4: Resultados de densidad en terreno y laboratorio.

Código de muestra	Masa húmeda terreno (kg)	Masa húmeda laborat (kg)	Error (Terreno/Lab)	Volumen Agujero (lt)	Densidad Terreno (gr/cc)	Densidad Laborat (gr/cc)	Densidad Seca laborat (gr/cc)
Muestra 1	2,6100	2,5903	0,7533	1,4842	1,7585	1,7452	1,5624
Muestra 3	2,4050	2,3921	0,5360	1,2258	1,9620	1,9514	1,8155
Muestra 4	1,9300	1,9165	0,7005	1,2954	1,4899	1,4795	1,4099
Muestra 5	2,6750	2,6565	0,6920	1,4875	1,7983	1,7858	1,5764
Muestra 6	2,0700	2,0630	0,3391	1,1529	1,7954	1,7893	1,5895
Muestra 7	3,0200	3,0046	0,5099	1,6863	1,7909	1,7817	1,5997
Muestra 8	2,4100	2,6717	-10,8602	1,4975	1,6094	1,7841	1,5819

La muestra 2 no se consideró, debido a que se trataba de depósitos recientes, de tipo coluvial, los cuales no reflejaban las características del suelo colindante.

La muestra 8 presenta un error cercano al 10%, éste está relacionado con el pesaje de las muestras en terreno, el cual fue tomado de forma errónea.

La densidad seca se calculó mediante la proporción de volumen con respecto a 1200 gr de suelo húmedo, considerando el suelo como homogéneo. La fórmula utilizada fue la siguiente:

$$D_s = M_s / \left(\frac{Mh}{Dh} \right)$$

C.4 Resultados de Contenido de humedad

En base a los resultados de laboratorio, se procedió a calcular el contenido de humedad en base al peso de muestra seca (MOP, 1985). Los resultados son expresados en la siguiente tabla:

Tabla C.5: Contenido de agua o humedad para las muestras en terreno.

	Masa húmeda	Masa seca	% humedad
Muestra 1	1200	1074,3	11,7
Muestra 2	1500	1366,2	9,8
Muestra 3	1200	1116,4	7,5
Muestra 4	1200	1143,6	4,9
Muestra 5	1200	1059,3	13,3
Muestra 6	1200	1066	12,6
Muestra 7	1200	1077,4	11,4
Muestra 8	1200	1064	12,8

C.5 Resultados de Granulometría

Los resultados de granulometría están basados en el peso total del material obtenido luego del tamizaje. Las siguientes tablas muestran el material que pasa o es retenido en cada malla.

Tabla C.6: Peso acumulado para cada una de las muestras obtenidas.

pasa	230	120	60	35	18	10	5	5/16	5/8	11/4		
retiene	<230	230	120	60	35	18	10	5	5/16	5/8	11/4	Total
Muestra 1	64,64	131,75	237,08	360,44	532,68	773,47	975,59	1057,25	1074,34	1074,34	1074,34	1074,34
Muestra 2	40,96	105,16	259,18	457,97	692,87	952,16	1131,63	1234,31	1281,06	1315,59	1360,59	1360,59
Muestra 3	32,36	156,54	484,84	708,77	903,54	1020,04	1054,16	1063,67	1063,67	1063,67	1063,67	1063,67
Muestra 4	120,78	239,62	424,8	611,74	801,22	975,45	1092,61	1135,38	1137,74	1137,74	1137,74	1137,74
Muestra 5	111,99	255,84	559,93	727,08	917,91	1017,51	1046,44	1055,01	1055,01	1055,01	1055,01	1055,01
Muestra 6	46,75	92,54	171,02	280,81	435,22	634,26	841,7	974,14	1042,02	1042,02	1042,02	1042,02
Muestra 7	100,68	238,4	456,82	640,64	789,47	926,35	1028,27	1066,57	1067,71	1067,71	1067,71	1067,71
Muestra 8	49,93	121,65	297,34	533,49	763,36	950,75	1042,35	1059,4	1059,4	1059,4	1059,4	1059,4

Tabla C.7: Porcentaje acumulado para cada una de las muestras obtenidas

pasa	230	120	60	35	18	10	5	5/16	5/8	11/4		
retiene	<230	230	120	60	35	18	10	5	5/16	5/8	11/4	
Muestra 1	6,02	12,26	22,07	33,55	49,58	71,99	90,81	98,41	100	100	100	100
Muestra 2	3,01	7,73	19,05	33,66	50,92	69,98	83,17	90,72	94,15	96,69	100	100
Muestra 3	3,04	14,72	45,58	66,63	84,95	95,9	99,11	100	100	100	100	100
Muestra 4	10,62	21,06	37,34	53,77	70,42	85,74	96,03	99,79	100	100	100	100
Muestra 5	10,62	24,25	53,07	68,92	87	96,45	99,19	100	100	100	100	100
Muestra 6	4,49	8,88	16,41	26,95	41,77	60,87	80,78	93,49	100	100	100	100
Muestra 7	9,43	22,33	42,79	60	73,94	86,76	96,31	99,89	100	100	100	100
Muestra 8	4,71	11,48	28,07	50,36	72,06	89,74	98,39	100	100	100	100	100

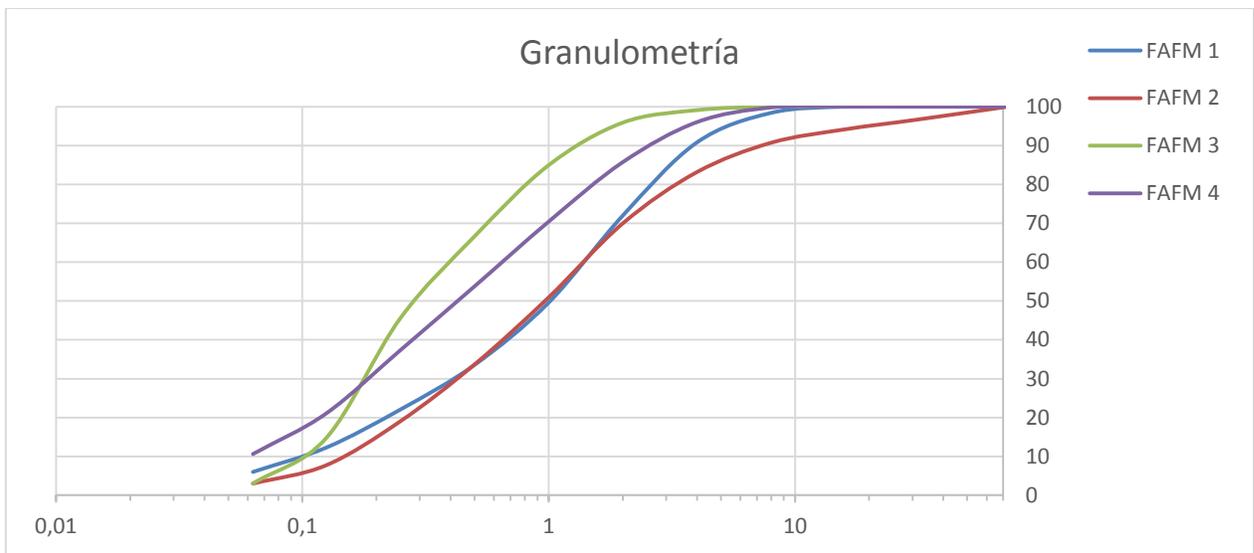


Figura C.1: Curva granulométrica para muestras 1 a 4. Se observa en las muestras una buena graduación, a excepción de la muestra 3, la cual posee una graduación discontinua.

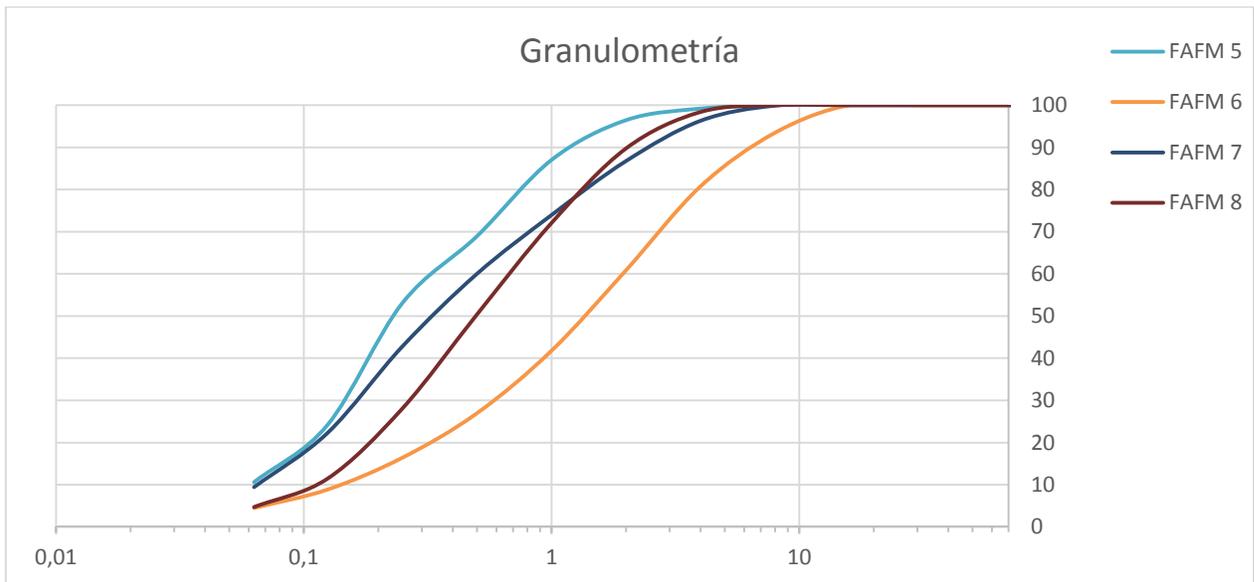


Figura C.2: Curva granulométrica para muestras 5 a 8. Se observa en las muestras 6,7 y 8 muestran una buena graduación, mientras que la muestra 5 posee una leve discontinuidad en su graduación.

C.6 Resultados Límites de Atterberg

Los resultados de límites de Atterberg se obtuvieron para 7 de las 8 muestras (la Muestra 2 no fue analizada para dichos límites, debido a que la cantidad de material fino no era suficiente para considerarse en la clasificación). Los resultados son los siguientes:

Tabla C.8: Resultados de límite plástico y líquido para las muestras de terreno. El límite plástico corresponde al promedio de tres ensayos de límite plástico para cada muestra. El límite líquido corresponde a la extrapolación del contenido de humedad a los 25 golpes.

Muestra	Límite Plástico	Límite Líquido	Índice de Plasticidad
Muestra 1	21,72	33,0025	11,2825
Muestra 3	19,56	21,262	1,702
Muestra 4	20,44	26,1705	5,7305
Muestra 5	24,4	26,6115	2,2115
Muestra 6	18,93	31,571	12,641
Muestra 7	15,62	23,642	8,022
Muestra 8	15,32	24,8305	9,5105

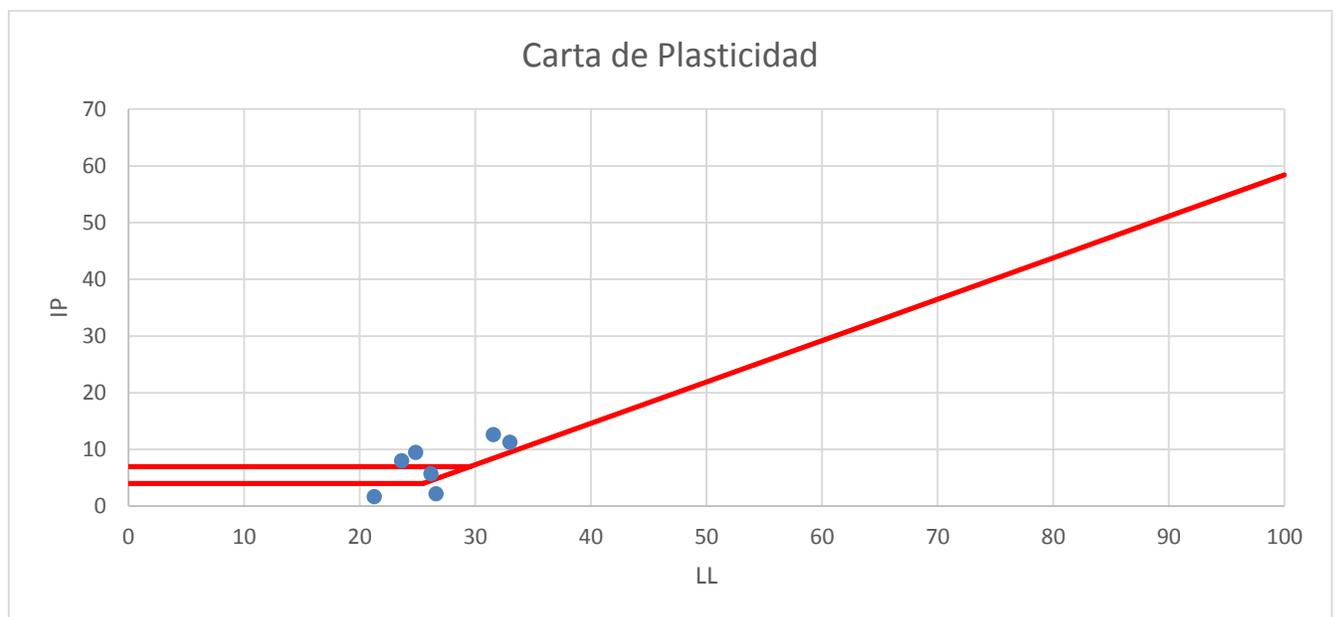


Figura C.3: Carta de plasticidad. La línea roja indica la curva A, la cual separa las muestras dependiendo de su contenido limoso (inferior) o arcilloso (superior). Los puntos en azul son los correspondientes a las 7 muestras analizadas para los límites de Atterberg (Muestras 3 y 5 limosas, muestras 1, 4, 6, 7 y 8 arcillosas).

C.7 Clasificación USCS

Mediante los resultados de granulometría y límites de Atterberg, se clasifican las muestras de suelos dependiendo de su tamaño de grano, uniformidad, curvatura y comportamiento plástico/líquido (MOP, 1985).

En el caso de las muestras estudiadas, todas corresponden a suelos de grano grueso.

Para la clasificación de suelos de grano grueso el procedimiento es el siguiente:

- La muestra debe ser clasificada como grava (G), si el 50%, o más de la fracción gruesa ($>0,08$ mm) es retenida en el tamiz 5 mm, o clasificada como arena (S), si más del 50% de la fracción gruesa ($>0,08$ mm) pasa el tamiz 5 mm.
- Si menos del 5% en peso de la muestra pasa por el tamiz 0,08 mm se procede a calcular el Coeficiente de Uniformidad (Cu) y el Coeficiente de Curvatura (Cc).
- Luego se clasifica la muestra como grava bien graduada (GW), o arena bien graduada (SW), si Cu es mayor que 4 para las gravas y mayor que 6 para las arenas, y Cc está comprendido entre 1 y 3. Si no satisfacen estos requerimientos, la muestra se clasifica como grava pobremente graduada (GP) o arena pobremente graduada (SP) respectivamente.
- En caso de que el la fracción fina sea más de 12%, se procede a clasificar como grava limosa (GM), o arena limosa (SM), si los resultados de los límites de consistencia muestran que los finos son limosos, si w_l vs IP está bajo la Línea "A", o si IP es menor que 4. En caso contrario, si los finos son de tipo arcilloso, es decir, w_l vs IP está sobre la Línea "A" e IP es mayor que 7, la muestra se clasificará como grava arcillosa (GC) o arena arcillosa (SC).
- Si el punto cae sobre la Línea "A" y el IP está entre 4 y 7, llevará clasificación doble (GM-GC o SM-SC).
- En caso de que la fracción fina se encuentre entre 5% y 12%, la muestra llevará clasificación doble (tomando la primera clasificación relacionada a Cu/Cc, y la segunda a su tipo de finos, ej: GW-GM, GW-GC, etc).

Tabla C.9: Clasificación de muestras de suelo obtenidas, mediante Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (USCS).

	D10	D30	D60	Cu	Cc	Límite Plástico	Límite Líquido	Clasificación	Nombre
Muestra 1	0,10	0,41	1,38	13,73	1,21	21,72	33,0025	SW-SC	Arena bien graduada- Arena arcillosa
Muestra 2	0,15	0,42	1,37	9,23	0,88	No procede	No Procede	SP	Arena Pobremente Graduada
Muestra 3	0,10	0,18	0,425	4,07	0,75	19,56	21,262	SP-SM	Arena pobremente graduada - arena limosa
Muestra 4	0	0	0	no procede	no procede	20,44	26,1705	SC	Arena arcillosa
Muestra 5	0	0	0	no procede	no procede	24,4	26,6115	SC	Arena arcillosa
Muestra 6	0,14	0,59	1,94	13,67	1,26	18,93	31,571	SW-SC	Arena bien graduada - arena arcillosa
Muestra 7	0	0	0	no procede	no procede	15,62	23,642	SC	Arena arcillosa
Muestra 8	0,11	0,27	0,67	5,93	0,95	15,32	24,8305	SW-SC*	Arena bien graduada - arena arcillosa

* La muestra se clasificó como SW-SC por su cercanía en los límites, y por ser tomada en la misma delimitación de suelo que la muestra 6.

ANEXO D. DETALLE DE PUNTAJES PARA MAPAS DE SUSCEPTIBILIDAD

Tabla D.1: Detalle de puntaje para unidades geomorfológicas. Deslizamiento de suelo. Las unidades con puntaje 0 indican pendientes menores a 15°.

Unidad	f1	f2	f3	f4	f6	f7	f8	f9	Puntaje	Unidad	f1	f2	f3	f4	f6	f7	f8	f9	Puntaje
1	15	3	6	3	0	0	0	5	32	26	5	3	6	3	5	15	0	5	42
2	10	5	6	3	0	7	0	5	36	27	20	3	6	3	10	15	0	5	62
3	10	5	6	3	10	0	0	5	39	28	25	3	6	3	0	7	0	5	49
4	25	3	6	3	10	0	0	5	52	29	5	5	6	3	10	15	0	5	49
5	25	3	6	3	0	0	0	5	42	30	20	3	6	3	0	15	0	5	52
6	10	5	6	3	10	0	0	5	39	31	20	3	6	3	10	15	0	5	62
7	10	3	6	3	10	0	0	5	37	32	5	5	6	3	10	15	0	5	49
8	5	1	6	3	10	0	0	5	30	33	5	5	6	3	10	15	0	5	49
9	20	5	6	3	10	0	0	5	49	34	20	3	6	3	10	0	0	5	47
10	20	3	6	3	10	0	0	5	47	35	15	3	6	3	10	0	0	5	42
11	25	3	6	3	0	0	0	5	42	36	10	5	6	3	10	0	0	5	39
12	0	3	6	3	0	0	0	5	0	37	25	3	6	3	10	0	0	5	52
13	5	3	6	3	0	0	0	5	22	38	15	3	6	3	5	0	0	5	37
14	10	5	6	3	10	0	0	5	39	39	0	5	6	3	10	0	0	5	0
15	10	3	6	3	10	0	0	5	37	40	0	3	6	3	10	0	0	5	0
16	15	5	6	3	10	0	0	5	44	41	10	5	6	3	10	0	0	5	39
17	25	5	6	3	10	0	0	5	54	42	5	3	6	3	10	0	0	5	32
18	25	3	6	3	10	0	0	5	52	43	5	5	6	3	10	0	0	5	34
19	5	3	6	3	10	0	0	5	32	44	10	3	6	3	10	0	0	5	37
20	25	3	6	3	10	0	0	5	52	45	20	3	6	3	10	0	0	5	47
21	20	3	6	3	10	15	0	5	62	46	5	3	6	3	10	0	0	5	32
22	25	5	6	3	10	7	0	5	61	47	15	3	6	3	10	0	0	5	42
23	10	5	6	3	10	15	10	5	64	48	5	3	6	3	0	0	0	5	22
24	20	1	6	3	5	15	0	5	55	49	0	3	6	3	0	0	0	5	0
25	25	1	6	3	0	0	0	5	40	50	25	3	6	3	10	7	0	5	59

Unidad	f1	f2	f3	f4	f6	f7	f8	f9	Puntaje	Unidad	f1	f2	f3	f4	f6	f7	f8	f9	Puntaje
51	10	5	6	3	10	0	0	5	39	76	20	5	6	3	10	0	0	5	49
52	25	3	6	3	10	15	10	5	77	77	20	5	6	3	10	0	0	5	49
53	5	3	6	3	0	0	0	5	22	78	10	5	6	3	10	0	0	5	39
54	0	5	6	3	5	7	0	5	0	79	20	5	6	3	10	0	0	5	49
55	10	5	6	3	0	0	0	5	29	80	10	5	6	3	10	0	0	5	39
56	10	3	6	3	0	0	0	5	27	81	15	3	6	3	10	0	0	5	42
57	5	3	6	3	10	0	0	5	32	82	5	3	6	3	10	0	0	5	32
58	5	5	6	3	10	0	0	5	34	83	15	5	6	3	10	0	0	5	44
59	20	3	6	3	10	0	0	5	47	84	10	5	6	3	10	0	0	5	39
60	20	3	6	3	10	0	0	5	47	85	20	3	6	3	10	0	0	5	47
61	20	3	6	3	10	15	0	5	62	86	10	5	6	3	10	0	0	5	39
62	15	3	6	3	10	15	10	5	67	87	20	5	6	3	10	0	0	5	49
63	25	5	6	3	0	0	0	5	44	88	20	3	6	3	10	0	0	5	47
64	5	5	6	3	0	0	0	5	24	89	10	5	6	3	10	0	0	5	39
65	10	5	6	3	0	0	0	5	29	90	10	3	6	3	10	0	0	5	37
66	25	5	6	3	10	15	10	5	79	91	10	5	6	3	10	0	0	5	39
67	10	5	6	3	10	0	0	5	39	92	20	5	6	3	10	0	0	5	49
68	25	3	6	3	10	15	0	5	67	93	20	5	6	3	10	0	0	5	49
69	10	3	6	3	10	15	0	5	52	94	5	5	6	3	10	0	0	5	34
70	10	3	6	3	10	15	10	5	62	95	5	3	6	3	10	0	0	5	32
71	15	5	6	3	10	15	0	5	59	96	5	3	6	3	10	0	0	5	32
72	20	5	6	3	0	7	0	5	46	97	20	5	6	3	10	0	0	5	49
73	20	3	6	3	0	0	0	5	37	98	25	5	6	3	10	0	0	5	54
74	25	5	6	3	10	0	0	5	54	99	25	5	6	3	10	0	0	5	54
75	15	5	6	3	10	0	0	5	44	100	20	5	6	3	10	0	0	5	49

Unidad	f1	f2	f3	f4	f6	f7	f8	f9	Puntaje	Unidad	f1	f2	f3	f4	f6	f7	f8	f9	Puntaje
101	20	5	6	3	10	0	0	5	49	126	20	3	6	3	0	0	0	5	37
102	20	5	6	3	10	0	0	5	49	127	15	5	6	3	0	0	0	5	34
103	15	5	6	3	10	0	0	5	44	128	5	3	6	3	0	0	0	5	22
104	20	5	6	3	10	0	0	5	49	129	5	5	6	3	0	0	0	5	24
105	10	3	6	3	10	0	0	5	37	130	10	5	6	3	0	0	0	5	29
106	10	5	6	3	10	0	0	5	39	131	10	5	6	3	10	15	0	5	54
107	20	3	6	3	10	0	0	5	47	132	10	5	6	3	0	7	0	5	36
108	10	5	6	3	0	0	0	5	29	133	5	5	6	3	5	7	0	5	36
109	20	5	6	3	10	0	0	5	49	134	20	5	6	3	5	0	0	5	44
110	20	5	6	3	5	0	0	5	44	135	15	5	6	3	5	0	0	5	39
111	20	3	6	3	0	0	0	5	37	136	25	3	6	3	5	15	0	5	62
112	10	5	6	3	10	0	0	5	39	137	10	3	6	3	5	0	0	5	32
113	0	5	6	3	0	0	0	5	0	138	25	3	6	3	5	0	0	5	47
114	15	5	6	3	0	0	0	5	34	139	15	3	6	3	10	15	0	5	57
115	20	3	6	3	0	0	0	5	37	140	10	5	6	3	10	15	0	5	54
116	10	5	6	3	0	0	0	5	29	141	20	5	6	3	10	15	0	5	64
117	5	3	6	3	0	0	0	5	22	142	25	5	6	3	10	15	0	5	69
118	20	5	6	3	5	0	0	5	44	143	20	5	6	3	5	7	0	5	51
119	20	3	6	3	0	0	0	5	37	144	15	5	6	3	5	7	0	5	46
120	5	3	6	3	0	0	0	5	22	145	25	3	6	3	10	15	10	5	77
121	10	5	6	3	0	0	0	5	29	146	25	5	6	3	10	15	0	5	69
122	10	5	6	3	0	0	0	5	29	147	15	5	6	3	10	15	10	5	69
123	10	3	6	3	0	0	0	5	27	148	10	3	6	3	10	15	10	5	62
124	10	5	6	3	0	7	0	5	36	149	25	5	6	3	10	15	0	5	69
125	20	5	6	3	0	0	0	5	39	150	20	3	6	3	10	15	0	5	62

Unidad	f1	f2	f3	f4	f6	f7	f8	f9	Puntaje	Unidad	f1	f2	f3	f4	f6	f7	f8	f9	Puntaje
151	20	5	6	3	10	15	10	5	74	176	15	5	6	3	10	15	0	5	59
152	20	5	6	3	5	0	0	5	44	177	20	5	6	3	10	15	0	5	64
153	10	3	6	3	10	0	0	5	37	178	0	3	6	3	10	0	0	5	0
154	25	3	6	3	10	15	10	5	77	179	5	5	6	3	5	0	0	5	29
155	10	5	6	3	10	0	0	5	39	180	20	3	6	3	10	7	0	5	54
156	10	5	6	3	10	0	0	5	39	181	10	5	6	3	10	15	0	5	54
157	10	5	6	3	10	0	0	5	39	182	25	3	6	3	10	0	10	5	62
158	20	5	6	3	10	0	0	5	49	183	5	5	6	3	5	0	0	5	29
159	20	5	6	3	10	0	0	5	49	184	10	5	6	3	10	15	0	5	54
160	25	5	6	3	10	0	0	5	54	185	15	3	6	3	10	15	0	5	57
161	5	5	6	3	10	15	0	5	49	186	10	5	6	3	10	15	10	5	64
162	10	3	6	3	10	15	0	5	52	187	20	3	6	3	10	0	0	5	47
163	20	5	6	3	10	0	0	5	49	188	20	3	6	3	5	15	0	5	57
164	25	5	6	3	10	15	0	5	69	189	20	3	6	3	0	0	0	5	37
165	25	3	6	3	10	7	10	5	69	190	20	3	6	3	10	15	0	5	62
166	15	5	6	3	10	15	0	5	59	191	0	1	6	3	10	15	0	5	0
167	10	3	6	3	10	15	0	5	52	192	10	3	6	3	0	0	0	5	27
168	15	5	6	3	10	15	0	5	59	193	25	5	6	3	10	15	0	5	69
169	15	5	6	3	10	15	0	5	59	194	25	5	6	3	10	0	0	5	54
170	20	5	6	3	10	15	0	5	64	195	15	5	6	3	5	0	0	5	39
171	20	5	6	3	10	15	10	5	74	196	25	5	6	3	10	15	0	5	69
172	20	3	6	3	10	15	10	5	72	197	10	3	6	3	10	15	0	5	52
173	5	3	6	3	10	15	0	5	47	198	20	3	6	3	0	0	0	5	37
174	25	3	6	3	10	15	0	5	67										
175	5	5	6	3	10	15	0	5	49										

Tabla D.2: Detalle de puntaje para unidades geomorfológicas. Flujo de detritos.

Unidad	f1	f2	f3	f4	f5	f6	f8	f9	f10	f11	Puntaje	Unidad	f1	f2	f3	f4	f5	f6	f8	f9	f10	f11	Puntaje
1	6	10	1	2	8	3	0	0	0	7	37	26	2	5	1	2	8	3	5	2	10	7	45
2	4	1	1	3	8	3	0	0	5	7	32	27	8	1	1	2	8	3	10	2	10	7	52
3	4	10	1	3	8	7	10	0	0	7	50	28	10	1	1	2	8	3	0	2	5	7	39
4	10	1	1	2	8	7	10	0	0	7	46	29	2	5	1	3	8	3	10	2	10	7	51
5	10	1	1	2	8	3	0	0	0	7	32	30	8	5	1	2	8	3	0	2	10	7	46
6	4	1	1	3	8	7	10	0	0	7	41	31	8	1	1	2	8	3	10	2	10	7	52
7	4	5	4	2	8	7	10	0	0	7	47	32	2	1	1	3	8	3	10	2	10	7	47
8	2	5	1	0	8	7	10	0	0	7	40	33	2	5	1	3	8	3	10	2	10	7	51
9	8	10	1	3	8	7	10	0	0	7	54	34	8	1	1	2	8	7	10	0	0	7	44
10	8	1	1	2	8	7	10	0	0	7	44	35	6	5	1	2	8	7	10	0	0	7	46
11	10	1	1	2	8	3	0	0	0	7	32	36	4	5	1	3	8	7	10	0	0	7	45
12	1	10	1	2	8	3	0	0	0	7	32	37	10	1	1	2	8	7	10	0	0	7	46
13	2	1	1	2	8	3	0	0	0	7	24	38	6	5	1	2	8	3	5	0	0	7	37
14	4	5	1	3	8	7	10	0	0	7	45	39	1	5	1	3	8	7	10	0	0	7	42
15	4	5	1	2	8	7	10	0	0	7	44	40	1	5	1	2	8	7	10	0	0	7	41
16	6	5	1	3	8	7	10	0	0	7	47	41	4	5	1	3	8	7	10	0	0	7	45
17	10	10	1	3	8	7	10	0	0	7	56	42	2	1	1	2	8	7	10	0	0	7	38
18	10	5	1	2	8	7	10	0	0	7	50	43	2	1	1	3	8	7	10	0	0	7	39
19	2	5	1	2	8	7	10	0	0	7	42	44	4	1	1	2	8	7	10	0	0	7	40
20	10	5	1	2	8	7	10	0	0	7	50	45	8	1	1	2	8	7	10	0	0	7	44
21	8	1	1	2	8	3	10	2	10	7	52	46	2	1	1	2	8	7	10	0	0	7	38
22	10	5	1	3	8	7	10	2	5	7	58	47	6	1	1	2	8	7	10	0	0	7	42
23	4	5	1	3	8	3	10	2	10	7	53	48	2	10	1	2	8	3	0	0	0	7	33
24	8	1	1	0	8	3	5	2	10	7	45	49	1	5	1	2	8	3	0	0	0	7	27
25	10	1	1	0	8	3	0	2	0	7	32	50	10	10	4	2	8	7	10	0	5	7	63

Unidad	f1	f2	f3	f4	f5	f6	f8	f9	f10	f11	Puntaje	Unidad	f1	f2	f3	f4	f5	f6	f8	f9	f10	f11	Puntaje
51	4	1	1	3	8	7	10	0	0	7	41	76	8	5	1	3	8	7	10	0	0	7	49
52	10	5	1	2	8	3	10	2	10	7	58	77	8	5	1	3	8	7	10	0	0	7	49
53	2	1	1	2	8	3	0	0	0	7	24	78	4	5	1	3	8	7	10	0	0	7	45
54	1	1	1	3	8	3	5	0	5	7	34	79	8	1	1	3	8	7	10	0	0	7	45
55	4	5	1	3	8	3	0	0	0	7	31	80	4	1	1	3	8	7	10	0	0	7	41
56	4	5	1	2	8	3	0	0	0	7	30	81	6	1	1	2	8	7	10	0	0	7	42
57	2	1	1	2	8	3	10	0	0	7	34	82	2	1	1	2	8	7	10	0	0	7	38
58	2	1	1	3	8	7	10	0	0	7	39	83	6	5	1	3	8	7	10	0	0	7	47
59	8	5	1	2	8	7	10	0	0	7	48	84	4	5	1	3	8	7	10	0	0	7	45
60	8	5	1	2	8	7	10	0	0	7	48	85	8	5	1	2	8	7	10	0	0	7	48
61	8	1	1	2	8	3	10	2	10	7	52	86	4	10	4	3	8	7	10	0	0	7	53
62	6	5	1	2	8	3	10	2	10	7	54	87	8	5	1	3	8	7	10	0	0	7	49
63	10	1	1	3	8	3	0	0	0	7	33	88	8	5	1	2	8	7	10	0	0	7	48
64	2	1	1	3	8	3	0	0	0	7	25	89	4	5	1	3	8	7	10	0	0	7	45
65	4	1	1	3	8	3	0	0	0	7	27	90	4	1	4	2	8	7	10	0	0	7	43
66	10	1	1	3	8	3	10	2	10	7	55	91	4	5	1	3	8	7	10	0	0	7	45
67	4	5	1	3	8	7	10	0	0	7	45	92	8	10	1	3	8	7	10	0	0	7	54
68	10	5	1	2	8	3	10	2	10	7	58	93	8	5	1	3	8	7	10	0	0	7	49
69	4	1	1	2	8	3	10	2	10	7	48	94	2	1	1	3	8	7	10	0	0	7	39
70	4	1	1	2	8	3	10	2	10	7	48	95	2	5	1	2	8	7	10	0	0	7	42
71	6	1	1	3	8	3	10	0	10	7	49	96	2	5	1	2	8	7	10	0	0	7	42
72	8	5	1	3	8	3	0	0	5	7	40	97	8	5	1	3	8	7	10	0	0	7	49
73	8	5	1	2	8	3	0	0	0	7	34	98	10	5	1	3	8	7	10	0	0	7	51
74	10	5	1	3	8	7	10	0	0	7	51	99	10	5	1	3	8	7	10	0	0	7	51
75	6	5	1	3	8	7	10	0	0	7	47	100	8	10	1	3	8	7	10	0	0	7	54

Unidad	f1	f2	f3	f4	f5	f6	f8	f9	f10	f11	Puntaje	Unidad	f1	f2	f3	f4	f5	f6	f8	f9	f10	f11	Puntaje
101	8	5	1	3	8	7	10	0	0	7	49	126	8	1	1	2	8	3	0	0	0	7	30
102	8	5	4	3	8	7	10	0	0	7	52	127	6	5	1	3	8	3	0	0	0	7	33
103	6	5	1	3	8	7	10	0	0	7	47	128	2	1	1	2	8	3	0	0	0	7	24
104	8	5	1	3	8	7	10	0	0	7	49	129	2	1	1	3	8	3	0	0	0	7	25
105	4	1	1	2	8	7	10	0	0	7	40	130	4	1	1	3	8	3	0	0	0	7	27
106	4	1	1	3	8	7	10	0	0	7	41	131	4	5	1	3	8	3	10	2	5	7	48
107	8	1	1	2	8	7	10	0	0	7	44	132	4	5	1	3	8	3	0	0	5	7	36
108	4	1	1	3	8	3	0	0	0	7	27	133	2	1	1	3	8	3	5	0	5	7	35
109	8	5	1	3	8	7	10	0	0	7	49	134	8	1	1	3	8	3	5	0	0	7	36
110	8	5	1	3	8	3	5	0	0	7	40	135	6	5	1	3	8	3	5	0	0	7	38
111	8	1	1	2	8	3	0	0	0	7	30	136	10	5	1	2	8	3	5	2	10	7	53
112	4	1	1	3	8	7	10	0	0	7	41	137	4	5	1	2	8	3	5	0	0	7	35
113	1	5	1	3	8	3	0	0	0	7	28	138	10	5	1	2	8	3	5	0	0	7	41
114	6	5	1	3	8	3	0	0	0	7	33	139	6	5	1	2	8	3	10	2	10	7	54
115	8	5	1	2	8	3	0	0	0	7	34	140	4	5	1	3	8	3	10	2	10	7	53
116	4	5	1	3	8	3	0	0	0	7	31	141	8	5	1	3	8	3	10	2	10	7	57
117	2	5	1	2	8	3	0	0	0	7	28	142	10	5	1	3	8	3	10	2	10	7	59
118	8	5	1	3	8	3	5	0	0	7	40	143	8	10	1	3	8	3	5	0	5	7	50
119	8	1	1	2	8	3	0	0	0	7	30	144	6	5	1	3	8	3	5	0	5	7	43
120	2	1	1	2	8	3	0	0	0	7	24	145	10	5	1	2	8	3	10	2	10	7	58
121	4	1	1	3	8	3	0	0	0	7	27	146	10	10	4	3	8	3	10	2	5	7	62
122	4	5	1	3	8	3	0	0	0	7	31	147	6	5	1	3	8	3	10	2	5	7	50
123	4	5	1	2	8	3	0	0	0	7	30	148	4	5	1	2	8	3	10	2	10	7	52
124	4	5	1	3	8	3	0	0	5	7	36	149	10	5	1	3	8	3	10	2	10	7	59
125	8	5	1	3	8	3	0	0	0	7	35	150	8	5	1	2	8	3	10	2	5	7	51

Unidad	f1	f2	f3	f4	f5	f6	f8	f9	f10	f11	Puntaje	Unidad	f1	f2	f3	f4	f5	f6	f8	f9	f10	f11	Puntaje
151	8	10	1	3	8	3	10	2	10	7	62	176	6	1	1	3	8	3	10	2	10	7	51
152	8	10	1	3	8	7	5	0	0	7	49	177	8	10	1	3	8	3	10	2	10	7	62
153	4	1	1	2	8	7	10	0	0	7	40	178	1	1	1	2	8	7	10	0	0	7	37
154	10	1	1	2	8	3	10	2	10	7	54	179	2	1	1	3	8	3	5	0	0	7	30
155	4	1	1	3	8	7	10	0	0	7	41	180	8	1	1	2	8	7	10	0	5	7	49
156	4	5	1	3	8	7	10	0	0	7	45	181	4	5	1	3	8	3	10	2	10	7	53
157	4	5	1	3	8	7	10	0	0	7	45	182	10	5	4	2	8	7	10	2	0	7	55
158	8	10	4	3	8	7	10	0	0	7	57	183	2	5	1	3	8	3	5	0	0	7	34
159	8	5	1	3	8	7	10	0	0	7	49	184	4	1	1	3	8	3	10	2	10	7	49
160	10	5	1	3	8	7	10	0	0	7	51	185	6	5	1	2	8	3	10	2	10	7	54
161	2	5	1	3	8	3	10	2	10	7	51	186	4	1	1	3	8	3	10	2	10	7	49
162	4	5	1	2	8	3	10	2	10	7	52	187	8	5	1	2	8	7	10	0	0	7	48
163	8	1	1	3	8	7	10	0	0	7	45	188	8	1	1	2	8	3	5	0	10	7	45
164	10	5	1	3	8	7	10	2	10	7	63	189	8	1	1	2	8	3	0	0	0	7	30
165	10	5	1	2	8	7	10	0	5	7	55	190	8	1	1	2	8	3	10	0	10	7	50
166	6	5	1	3	8	3	10	2	10	7	55	191	1	1	1	0	8	3	10	0	10	7	41
167	4	1	1	2	8	7	10	2	10	7	52	192	4	1	1	2	8	3	0	0	0	7	26
168	6	5	1	3	8	3	10	2	10	7	55	193	10	5	1	3	8	3	10	0	10	7	57
169	6	5	1	3	8	3	10	2	10	7	55	194	8	10	1	3	8	7	10	0	0	7	54
170	8	5	1	3	8	3	10	2	10	7	57	195	6	1	1	3	8	3	5	0	0	7	34
171	8	5	1	3	8	3	10	2	10	7	57	196	8	1	1	3	8	3	10	2	10	7	53
172	8	5	1	2	8	3	10	2	10	7	56	197	4	5	1	2	8	3	10	0	10	7	50
173	2	1	1	2	8	3	10	2	10	7	46	198	8	5	1	2	8	3	0	0	0	7	34
174	10	1	1	2	8	3	10	2	10	7	54												
175	2	1	1	3	8	3	10	2	10	7	47												

ANEXO E. INVENTARIOS Y NOTAS

E.1 Inventario de Remociones en Masa Históricas

El inventario de remociones en masa está basado en los trabajos de López et al. (2005) y Muñoz (2013), los cuales a su vez están basados en bibliografías acordes y archivos de prensa referentes a los años 1864-2002 y 2004-2011.

Tabla E.1: Inventario de remociones históricas

Tipo de Fenómeno	Fecha de Ocurrencia	Fecha de Publicación	Dirección/Ubicación	Descripción de daños
Deslizamiento	lunes, 25 de junio de 1962	Martes, 26 de junio de 1962	Calle Menelao n�278	Desprendimiento de tierra de una parte del cerro O'Higgins afectó a vivienda.
Deslizamiento	Jueves, 21 de julio de 1966	Viernes, 22 de julio de 1966	Subida Los Lavados	Derrumbe de muro de contención de 6 m de largo por 3 m de alto sobre parte de la Escuela n�43
Deslizamiento	miércoles, 15 de julio de 1970	jueves, 16 de julio de 1970	Subida Troncoso n�19, cerro Merced	Muro de Contención de 2 m. de largo por metro y medio de alto se derrumbó sobre vivienda.
Deslizamiento	Domingo, 11 de junio de 1972	lunes, 12 de junio de 1972	Santa Elena	Deslizamiento de tierra en la parte trasera de una mediagua.
Deslizamiento	jueves, 27 de junio de 1974	viernes, 28 de junio de 1974	Calle camino a la Cantera s/n, Santa Elena	Derrumbe de cerro colindante se produjo por excesiva humedad del suelo.
Flujo de Detritos	domingo, 27 de junio de 1982	lunes, 28 de junio de 1982	Calle El Bosque n�1389, cerro Ramaditas	Flujo sepult� tres casas de material ligero, una víctima fatal.
Deslizamiento	lunes, 02 de julio de 1984	Martes, 03 de julio de 1984	Cuesta Colorada n�1790	Por lluvias se reblandeci� piso cediendo sopletes de madera de vivienda.
Flujo de Detritos	miércoles, 04 de julio de 1984	Jueves, 05 de julio de 1984	Escuela D-272, barrio O'Higgins	Masa de barro afectó instalaciones de escuela

Deslizamiento	Miércoles, 12 de agosto de 1987	Jueves, 13 de agosto de 1987	Calle Padre Febres n°322 y 342	Desplome de muro de contención.
Deslizamiento	Domingo, 02 de junio de 1991	Lunes, 03 de junio de 1991	Calle Marinero Ugarte n°1009, cerro Ramaditas	Reblandecimiento del terreno causó derrumbe del muro de contención.
Deslizamiento	miércoles, 06 de mayo de 1992	jueves, 07 de mayo de 1992	Calle Malloco n°106 de San Roque	Reblandecimiento de terreno hizo ceder sustento de casa, que se derrumbó.
Deslizamiento	martes, 12 de mayo de 1992	miércoles, 13 de mayo de 1992	Calle Fernando Lazo de Rocuant alto	Rotura de matriz de agua potable causó deslizamiento de tierra.
Deslizamiento	martes, 24 de mayo de 1994	miércoles, 25 de mayo de 1994	Calle Federico Costa n°998, subida cerro Ramaditas	Muro de contención de 10 m de altura cedió cayendo sobre calzada.
Deslizamiento	domingo, 30 de julio de 1995	lunes, 31 de julio de 1995	Subida Washington, sector Piedra Azul	Derrumbe dejó en peligrosa estabilidad a casa.
Deslizamiento	Miércoles, 11 de junio de 1997	Jueves, 12 de junio de 1997	Sector Piedra Azul, cerro Ramaditas	Muro cayó sobre una propiedad, sin que se produjeran lesionados.
Deslizamiento	Jueves, 12 de junio de 1997	Miércoles, 18 de junio de 1997	Calle El Bosque n°1343 Rocuant Bajo	4:00. Casa literalmente aplastada. Rotura de matriz. 6 damnificados.
Deslizamiento	lunes, 16 de junio de 1997	martes, 17 de junio de 1997	Calle Roblería n°926 cerro Ramaditas	05:00 hr. 2 damnificados.
Deslizamiento	martes, 17 de junio de 1997	miércoles, 18 de junio de 1997	Calle Rocuant bajo n°343	Deslizamiento de la ladera de un cerro aplastó vivienda. La causa fue reblandecimiento del terreno por agua proveniente de la rotura de una cañería.
Deslizamiento	Sábado, 28 de junio de 1997	Sábado, 28 de junio de 1997	Avda. Washington sobre avda. Santos Ossa	A 100 m de avda. Argentina se produjo deslizamiento.
Deslizamiento	sábado, 28 de junio de 1997	sábado, 28 de junio de 1997	Avda. Washington altura 440 sobre Santos Ossa	04:00 deslizamiento obligó a cerrar parte de la Ruta 68. Además se rompió matriz de agua potable de Esva.

Deslizamiento	Domingo, 07 de septiembre de 1997	Lunes, 08 de septiembre de 1997	Calla Santa Elena n°379	Derrumbe de cerro en parte posterior de la casa, con rodados de gran tamaño (aprox. 1 m)
Flujo de detritos	Martes, 04 de junio de 2002	Miércoles, 05 de junio de 2002	Calle Laocan n°111, Cerro Merced	Flujo de barro aplastó vivienda.
Flujo de Detritos	martes, 09 de marzo de 2004		Valparaíso	Temor por posibles aluviones que arrastren sedimentos dejados por incendios forestales.
Caída de rocas	lunes, 04 de agosto de 2004		Pasaje San Bernardo - Cerro O'Higgins	Desprendimiento de ladera causa caída de muro de 3 casas.
Deslizamiento	martes, 21 de junio de 2005		Subida Washington 700 y Quebrada Lourdes, Cerro las Cañas	
Deslizamiento	domingo, 03 de julio de 2005		Calle Lafontaine 750, Cerro el Litre	Deslizamiento de lodo.
Deslizamiento	domingo, 28 de agosto de 2005		Escalera Luis Cousiño 204, Cerro Las Cañas	Aplastamiento de Vivienda.
Caída de rocas	sábado, 14 de mayo de 2005		Cerro Rocuant, Valparaíso	Desprendimiento de rocas tiene con el alma en un hilo a vecinos.
Deslizamiento	jueves, 13 de julio de 2006		Sector El Pajonal, Cerro Las Cañas	
Deslizamiento	jueves, 13 de julio de 2006		Pasaje Rolando Rivas 31, Cerro Rocuant	
Caída de rocas	viernes, 21 de diciembre de 2007		Cerro Las Cañas, Valparaíso	Temblores causan derrumbe de vivienda de cerro las cañas.
Deslizamiento	jueves, 07 de agosto de 2008		Calle Anticlea, límite Cerros Las Cañas y Merced	

Flujo de Detritos	domingo, 17 de agosto de 2008		Santos Ossa 1529	Santos Ossa 1529.
Flujo de Detritos	viernes, 20 de agosto de 2010		Cerro Las Cañas, Valparaíso	Rotura de Matriz.

E.2 Remociones ubicadas en terreno (aproximación)

Tabla E.2: Las remociones están ubicadas en el cuadrante 19S para coordenadas UTM

	Evento	x	y		Evento	x	y
1	Flujo de Detritos	257286	6339923	10	Deslizamiento de suelo	257762	6337967
2	Deslizamiento de suelo	257184	6339770	11	Deslizamiento de suelo	258251	6338570
3	Deslizamiento de suelo	257477	6339821	12	Deslizamiento de suelo	258251	6338570
4	Deslizamiento de suelo	257584	6339872	13	Deslizamiento de suelo	258251	6338570
5	Flujo de Detritos	257477	6339688	14	Flujo de Detritos	257229	6338691
6	Flujo de Detritos	257464	6339599	15	Flujo de Detritos	257210	6338278
7	Caída de rocas	257305	6339237	16	Flujo de Detritos	258251	6338570
8	Deslizamiento de suelo	257248	6338742	17	Flujo de Detritos	258633	6338141
9	Deslizamiento de suelo	257229	6338812	18	Deslizamiento de suelo	258251	6338570

E.3 Datos imágenes Landsat utilizadas

Tabla E.3: Porcentaje de áreas con respecto a densidad de vegetación en zona afectada por incendio.

	21 de octubre 2013	9 de junio 2014	31 de octubre 14	28 de enero 2015
Nula a baja	33,2%	92,1%	71,6%	50,9%
media	22,1%	5,0%	21,3%	33,8%
alta	44,7%	2,9%	7,1%	15,3%

E.4 Notas de terreno

Entre los días 23 y 28 de Septiembre del 2014 se realizó una campaña de terreno en la zona estudiada, con el fin de recopilar datos de la zona referentes a remociones históricas, pendientes, condiciones de suelo, vegetación, acción antrópica y filtración de agua. Además se extrajo una cantidad de 8 muestras, en diferentes puntos de la cuenca, para posteriores análisis. A continuación se muestran las notas de terreno en cada una de las paradas realizadas. El cuadrante utilizado es el 19S.

Tabla E.4: La tabla incluye datos de punto GPS, coordenadas, altitud y detalles en zona estudiada.

GPS	x	y	z	Notas
27	257060	6339405	23	Esquina Santa Elena/Troncoso. Presencia de suelo residual (roca muy meteorizada tipo maicillo). Vetilleo en dirección NE, con presencia de alteración y óxidos de hierro. Cobertura vegetal nula o escasa. No hay presencia de remociones o indicios de éstas. Remoción en masa histórica, no detectada en la zona, por la presencia de alta densidad poblacional, y escasas visual.
28	257228	6338571	115	Presencia de desarenador con contenido de agua, vegetación exuberante. Roca intacta con presencia de agua (superficial y canalizada, pero no infiltrada). Hacia la ladera oeste de quebrada, alta presencia de vegetación. Suelo residual de bajo espesor en zonas más altas de quebrada (aumentando levemente hacia partes bajas). Altas pendientes en los costados de la quebrada. Suelo residual sobre material maicilloso. Calle las canteras s/n. No se observa remoción en masa histórica.
29	257347	6339112	66	Presencia de escarpes de 2 metros, superficial, estable, y con presencia de vegetación densa al sureste del punto 29. Presencia de roca intacta y maicillo. Suelo residual de aproximadamente 2 metros de alto (vista en general de la zona).
30	257316	6339245	75	Presencia de maicillo. Presencia de escarpes sin vegetación, en dirección Norte 35/320 (dip/dipdir). Evidencia de deslizamiento de roca, sin infiltración, sólo erosión superficial.
31	257794	6337060	369	Muestra de tipo limo/arcilloso. Muestra con presencia de humedad. Zona afectada por incendio, con suelos de color anaranjado y similar a greda. Utilización de tablas de vialidad para el cálculo de compacidad y consistencia. Utilización de cono de arena para cálculo de densidad. Toma de muestra 1. Testeo de permeabilidad de suelo.

32	257650	6337898	284	Vista de pequeñas remociones en el costado W del cerro observado (desde punto GPS al E). Presencia de pequeños flujos de detritos y escarpes, y casas inclinadas indicadores de deslizamientos de suelo.
33	257473	6339815	65	Vegetación densa tipo arbusto. Presencia de ductos o cañerías de desagüe. Suelo escaso y presencia de acumulación de escombros. Presencia de laderas tratadas a base de shotcrete.
34	257488	6339691	84	Depósito aluvial. Se observan clastos de hasta 10 cms de diámetro. Matriz arena media a gruesa. Clastos imbricados, consistencia muy firme y estratificación en dirección de la quebrada. Aproximadamente 2 metros de depósitos.
35	257441	6339590	96	Depósitos de gravas con arena (intercalación). Gradación de baja a alta energía, luego baja (arena/grava/arena), posiblemente indicio de varios episodios aluviales.
36	257161	6339781	37	Sin presencia de infiltración, posiblemente corresponde a remoción de 1997. Vegetación creciendo en dirección del deslizamiento. Presencia de clastos de hasta 1,5 metros de diámetro, angulosos, en una matriz arenosa media a fina. Álvarez (1964) lo define como depósitos coluviales.
37	257276	6339920	34	Indicios de posible flujo de detritos. Punto perteneciente a remoción de 2008 (flujo de detritos), no se observa presencia de material nuevo (recientemente limpio), presencia de canalizador hacia calle principal y Santos Ossa. Roca inferior tipo basamento, de color oscuro y rica en anfíbolos. Matriz arenosa con alta presencia de biotita. Se obtuvo una muestra para posterior análisis de granulometría. Álvarez (1964) lo define como depósitos coluviales. Toma de muestra 2.
38	257608	6339226	132	Muestra de tipo arenosa. Muestra con presencia de humedad. Zona no afectada por incendio, cercana a zonas urbanizadas. Colores grises y de arena fina a muy fina. Utilización de tablas de vialidad para el cálculo de compacidad y consistencia. Utilización de cono de arena para cálculo de densidad. Prueba de permeabilidad de suelo. Toma de muestra 3.
39	256679	6339184	131	Observación en ladera W de cerro en vista hacia el E.

40	255779	6337013	436	Muestra de tipo limo/arcilloso. Muestra con poca humedad. Zona afectada por incendio, con suelos de color anaranjado y similar a greda. Utilización de tablas de vialidad para el cálculo de compacidad y consistencia. Utilización de cono de arena para cálculo de densidad. Prueba de permeabilidad. Toma de muestra 4.
41	257799	6336860	436	Escarpe de deslizamiento pequeño, a 30 metros al E del punto GPS. Se observa alta acumulación de material producto de vertedero El Manzano. No se observan remociones a la quebrada al W del camino. Alta vegetación, con grandes árboles, que se mantienen en pie, después de incendio en área.
42	257639	6337906	257	Vista en dirección W. Quebrada en dirección W. Quebrada con escombros de origen antrópico y material suelto. Se observan restos carbonizados de vegetación. Laderas son preferentes al transporte de material. Álvarez (1964) lo define como suelo residual de basamento. Vegetación densa pero tipo arbusto.
43	257354	6338511	215	Presencia de material carbonizado, con restos y escombros de origen antrópico.
44	257358	6338492	217	Presencia de canaletas de desagüe y canales pequeños formados. Vegetación densa tipo arbusto. Al NW de la posición se observan deslizamientos superficiales (flujos y deslizamientos) y roca intacta. Al E se observa roca intacta. Al SW se observa flujo.
45	257355	6338564	201	Al W de la posición se observan acumulaciones de material no consolidado y antrópico, y caídas de roca. Al NW se observan escarpes de deslizamiento más profundo.
46	257694	6337697	309	Muestra de tipo arenoso. Muestra con mucha humedad. Zona afectada por incendio, con suelos de color anaranjado a rojizo, se pudo realizar el agujero con cierta facilidad. Utilización de tablas de vialidad para el cálculo de compacidad y consistencia. Utilización de cono de arena para cálculo de densidad. Prueba de permeabilidad. Toma de muestra 5.

47	257636	6337683	300	Se observan depósitos en dirección SW (ver mapa). En la intersección de quebradas, flujo en dirección W (de menor tamaño). Presencia de zona quemada pero en menor medida (en pendiente). Vista hacia el W de zona quemada. Quebrada al sur del punto con pendientes muy pronunciadas. En la misma dirección que flujo, hay deslizamiento superficial. Vegetación está perturbada no necesariamente por remociones, puede ser de origen antrópico debido a bombardeos de agua para sofocar incendio. Escarpe marcado hacia el WNW (depósitos en el fondo, cercanos a árboles de coloraciones claras).
48	256597	6336470	427	No se observan remociones en masa hacia el E. Zona quemada, vegetación se mantiene escasa, consistencia muy firme/compacidad muy densa. Material con presencia de humedad.
49	256775	6336870	376	Nada visible hacia el E. Zona quemada, restos y árboles carbonizados.
50	256112	6337178	386	Presencia de rocas al SE del punto (arriba de cantera). Presencia de deslizamiento a 20 m al N del punto. Acumulación de escombros y posible zona de origen de material. Al E se observa acumulación.
51	256447	6338300	386	Presencia de rocas al SE del punto (arriba de cantera). Presencia de deslizamientos a 20 m al N del punto. Acumulación de escombros y posible zona de origen de material. Al E se observa acumulación. Hacia el E se observan flujos y material no consolidado, además de escombros. Hacia el S, un canalizador desemboca en quebrada.
52	256630	6338750	199	Deslizamiento de suelo y roca al S de la posición.
53	258809	6338169	200	Quebrada en dirección NNW. Se observan pequeños deslizamientos. Al SW presencia de material antrópico y residual al W. Vegetación densa tipo arbusto y árbol de gran tamaño. En la zona SW se observa movimiento de postes y árboles en dirección E. En dirección SSW se observan escarpes. Se observa roca Pc altamente meteorizada.
54	258902	6337352	296	Presencia de escarpe hacia el S de la coordenada. Acumulación al costado N del camino, material antrópico y de relleno. Talud se limita entre diques. Diques de composición ácida con mayor resistencia a la meteorización. Presencia de desagüe hacia el camino y quebrada. Al NNW se observa acumulación de material residual y antrópico en ladera W de quebrada.

55	258874	6336728	366	Acumulación de material de escombros. Hacia el SW de las coordenadas escarpe pronunciado. Vegetación densa tipo arbusto y árboles de gran tamaño. Suelo agrietado en dirección W. Suelo de tipo arenoso. Compacidad densa y consistencia muy firme. Se trató de obtener una muestra pero no se logró debido al agrietamiento de la zona y del material orgánico en demasía.
56	258516	6335322	450	Muestra de tipo limo/arcilloso. Muestra con mucha humedad. Zona no afectada por el incendio, se pudo realizar el agujero con cierta facilidad. Utilización de tablas de vialidad para el cálculo de compacidad y consistencia. Utilización de cono de arena para cálculo de densidad. Prueba de permeabilidad. Toma de muestra 6.
57	258462	6338477	161	Observación al SW del punto GPS, escarpe detrás de vivienda. Al NW de vivienda escarpe al lado del camino. Acumulación al WSW y al N. Pendientes altas mayores a 80%. Vegetación densa tipo arbusto y árboles. Suelos de tonalidad amarillenta a cafésosa. Flujo al NW al lado de casa blanca. Densidad poblacional alta.
58	258526	6338279	172	En dirección norte se aprecia deslizamiento con plásticos cubriendo su superficie. Acumulación de material al E del punto de coordenadas. Vegetación densa tipo árbol y arbusto.
59	258499	6338391	137	Remoción tapada con plásticos para evitar infiltración. Punto crítico. Deslizamiento de ladera.
60	258170	6338450	172	Presencia de escombros y material suelto al E del camino en el punto GPS. Ladera de 70-80° aproximadamente. Vegetación densa tipo arbusto y árbol de gran tamaño. Suelo tipo maicillo. A 20 metros del punto en dirección W se observan pequeños flujos y acumulación de material. Vegetación y roca (densa tipo arbusto).
61	258170	6338450	172	Deslizamiento cubierto de plásticos, suelo arenoso, arcilloso, vegetación tipo arbusto/árbol pequeño. Pendientes mayores a 70°, al W del punto GPS anterior y en ladera E del cerro. Comprobar en mapa el pto GPS y plásticos de color negro y anaranjado.
62	257826	6338202	236	Alta densidad poblacional. Vegetación tipo arbusto pequeño. Indicios de escorrentía superficial. Suelo tipo relleno de material maicilloso/antrópico/vegetal.
63	257754	6338397		Desmoronamiento de maicillo y suelo residual (arenoso). Presencia de raíces expuestas al costado del camino. Vegetación media tipo arbusto, al costado S del camino. En dirección N del camino se observan depósitos de escombros y material vegetal.

64	257910	6337710	313	Muestra de tipo limo/arcilloso. Muestra con mucha humedad. Materia orgánica si descomposición. Zona no afectada por el incendio, se pudo realizar el agujero con facilidad. Utilización de tablas de vialidad para el cálculo de compacidad y consistencia. Utilización de cono de arena para cálculo de densidad. Prueba de permeabilidad. Toma de muestra 7.
65	258364	6337352	235	Posible escarpe en dirección W del punto. Vegetación densa tipo arbusto/árbol pequeño. Al E posible remoción. Laderas de quebradas con acumulación de escombros. Al S se observa agua superficial y rocas con desprendimiento de suelo superficial.
66	258059	6337707	233	Presencia de escombros. Acumulación por flujos de detritos y material antrópico. Fin del camino.
67	258076	6337811	44	Muestra de tipo limo/arcilloso. Muestra con mucha humedad. Materia orgánica si descomposición. Zona no afectada por el incendio, se pudo realizar el agujero con facilidad. Utilización de tablas de vialidad para el cálculo de compacidad y consistencia. Utilización de cono de arena para cálculo de densidad. Prueba de permeabilidad. Toma de muestra 8.
68	257739	6337722	293	Observación de remociones en masa al E del punto. Se observan suelos con tonalidades amarillentas/cafesosas. Tipo de suelo maicilloso con un poco de suelo residual de tipo limoso. Vegetación tipo arbusto, pendientes pronunciadas. En ladera E de la quebrada hacia el E. Presencia de árboles caídos, producto de deslizamiento superficial de suelo.
69	257873	6337251	348	Presencia de material de escombros al lado W del punto, desprendimiento de suelo residual y raíces de vegetación expuestas. Límite de zona quemada/normal.