



UNIVERSIDAD DE CHILE

FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS

DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA

# **EVALUACIÓN DE LA SUSCEPTIBILIDAD DE REMOCIONES EN MASA EN LA QUEBRADA DE LOS CHANCHOS, REGIÓN METROPOLITANA, CHILE**

MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE GEÓLOGA

FRANCISCA PAZ CAMPOS MAZA

PROFESOR GUÍA:

MARISOL DEL PILAR LARA CASTILLO

MIEMBROS DE LA COMISIÓN:

SOFÍA REBOLLEDO LEMUS

SERGIO SEPÚLVEDA VALENZUELA

SANTIAGO DE CHILE

2014

## **Resumen**

La creciente expansión urbana ha llevado a utilizar los faldeos precordilleranos con fines habitables. Las características montañosas que presentan estas zonas las hacen muy susceptibles a fenómenos de remociones en masa, lo cual se transforma en un riesgo latente para la población.

En este estudio se realiza una evaluación de la susceptibilidad de remociones en masa de tipo caídas de roca, deslizamientos de suelo y flujos de detritos, mediante la aplicación de las metodologías propuestas por Lara (2007) y Muñoz (2013), en un área precordillerana del sector de La Dehesa, en que coexisten sectores con características urbanas y otros no intervenidos.

Las metodologías aplicadas para el cálculo de índice de susceptibilidad se basan en la sumatoria de valores de ponderación para cada factor condicionante de remoción en masa, entre los que se cuentan la pendiente de laderas, características geológicas y geotécnicas de los materiales, clima y vegetación, entre otros. Para esto se ha subdividido el área de estudio en unidades de características geomorfológicas y geológicas semejantes. La metodología de Lara (2007) se aplica a una escala a nivel de hoya hidrográfica y, la de Muñoz (2013), a nivel de áreas urbanas.

La zona de estudio se encuentra en La Dehesa, comuna de lo Barnechea, en la Región Metropolitana de Santiago. Específicamente corresponde a la hoya hidrográfica de la quebrada de Los Chanchos y sus alrededores, donde se han reconocido rocas estratificadas pertenecientes a la Formación Abanico y rocas intrusivas. Además en el área se observan unidades de suelo de tipo aluvial y coluvial, y depósitos de remociones en masa antiguas y recientes.

Existen registros de eventos locales de remociones en masa importantes, afectando a casas habitadas en el sector.

Los resultados obtenidos, reflejan que la zona de estudio a escala de hoya hidrográfica es susceptible a fenómenos de remociones en masa superficiales de tipo deslizamiento de suelo y caída de rocas, y en menor grado a mecanismos de tipo flujo. Por otro lado, a nivel más local muestra mayor susceptibilidad a caídas de roca que a deslizamientos de suelo.

En este contexto, el peligro potencial de remociones en masa en el área se asocia a mecanismos de carácter superficial y local.

A mi familia, la mejor de todas.  
A todos quienes creen y luchan por sus sueños...

## **Agradecimientos**

En estos momentos en que al fin se cierra una larga etapa, quisiera agradecer a todos los que a lo largo de mi vida han estado ahí para darme una mano; a mi familia, mis tíos, primos y abuelos (Lelo, Weli y Abu Rosa) por su apoyo en todo ámbito. Mención especial a mis padres, Consuelo y Eduardo, a quienes les debo todo lo que soy, que siempre han confiado en mí, y me han enseñado a llevar esta linda y loca vida; a mi hermano Diego por acompañarme siempre, y a Maxi por llevarnos a la niñez nuevamente.

También quisiera agradecer a los incondicionales amigos que tengo la fortuna de mantener hasta en los momentos más difíciles: Gaby, Mari, Cami, Dano y Coni por todo su apoyo y amor; a Cami L. y papá, los mejores ayudantes de terreno, a Joesin, experto en afloramientos, ahijado y amigo. Y a todos mis compañeros de Geo: Vale, Pelón, Gaby P., Caro, Feñi, Javi, Edu, lukitas, Chumita, Laura, Katy, Ale, Rurik, Salo, Aralito, Chewito, Baby, Curottin, Dani F., Dani V., Venao, Fabi, Panchito P, Panchito C, Gilla, Héctor, Álvaro, Flopy, Juanfi, Churri, Gordito, Fel, Ñaña y Tito, que se han vuelto grandes amigos a lo largo de la carrera con todos esos excelentes momentos vividos, y aguantándonos en las buenas y en las malas; a la Pollito, Rox y a Chinesse por estar desde el primer día de sufrimiento en Plan común, y en especial a mi Tun que siendo parte de ellos, se convirtió en mucho más que eso, por estar en todas conmigo, te amo.

No puedo dejar de mencionar a todos los funcionarios de Geología; Quilo, Tío Carlos, Don Carlos, Rosita, Verito, Tía Lily, y la super Blanquis, siempre dispuestos a ayudarnos hasta en las más locas ideas.

Por último quiero agradecer a mi profesora guía, Marisol Lara quien ha sido una ayuda fundamental en este proceso, respondiendo hasta la más mínima de mis dudas. A los Profesores Sofía Rebolledo y Sergio Sepúlveda, gracias por su ayuda y por confiar en mi trabajo.

Muchas gracias a todos por darme ánimo constantemente y ayudarme a no flaquear a lo largo de toda mi etapa universitaria, este trabajo va dedicado a todos ustedes.

# 1 Tabla de contenido

1	Introducción.....	1
1.1	Introducción .....	1
1.2	Ubicación y vías de acceso .....	2
1.3	Objetivos .....	3
1.3.1	Objetivo general .....	3
1.3.2	Objetivos específicos .....	3
1.4	Metodología .....	4
2	Marco conceptual.....	5
2.1	Introducción .....	5
2.2	Terminología.....	5
2.3	Remociones en masa .....	7
2.3.1	Definición.....	7
2.3.2	Clasificación de remociones en masa .....	7
2.3.3	Factores condicionantes .....	12
2.3.4	Factores gatillantes de remociones en masa .....	15
3	Metodologías para evaluación de susceptibilidad de generación de fenómenos de remociones en masa .....	17
3.1	Introducción .....	17
3.2	Esquema general.....	18
3.3	Métodos particulares de evaluación de susceptibilidad de ocurrencia de remociones en masa .....	19
3.3.1	Evaluación de susceptibilidad a escala de hoya hidrográfica (Lara, 2007) ..	19
3.3.2	Evaluación de susceptibilidad a escala de talud o ladera urbana (Muñoz, 2013) .....	23
4	Evaluación de la susceptibilidad de remociones en masa en la quebrada de Los Chanchos, Región Metropolitana .....	30
4.1	Introducción y alcances.....	30
4.2	Marco geológico y geomorfológico regional.....	32
4.2.1	Marco geológico .....	32
4.2.2	Marco geomorfológico .....	36
4.3	Descripción del área de estudio.....	37

4.3.1	Geomorfología.....	37
4.3.2	Geología del área de estudio.....	41
4.3.3	Vegetación.....	53
4.3.4	Clima .....	54
4.3.5	Sismicidad.....	55
4.3.6	Intervención antrópica .....	59
4.4	Aplicación de metodologías de susceptibilidad de remociones en masa en el área de estudio.....	61
4.4.1	Definición de unidades geomorfológicas .....	61
4.4.2	Cálculo de índices de susceptibilidad de remociones en masa .....	63
5	Discusiones .....	83
6	Conclusiones .....	94
7	Bibliografía.....	96
8	Anexos.....	99

## Índice de figuras

Figura 1.1 Área de estudio y sus alrededores. ....	3
Figura 2.1. Esquema de caídas de roca. ....	8
Figura 2.2. Esquema de deslizamiento traslacional. ....	9
Figura 2.3. Esquema de deslizamiento rotacional.....	9
Figura 2.4. Esquema de flujo canalizado y no canalizado. ....	10
Figura 2.5. Esquema de volcamiento en bloque y volcamiento flexural.....	11
Figura 2.6. Dibujo esquemático de un desplazamiento lateral. ....	11
Figura 4.1. Marco geológico regional .....	33
Figura 4.2. Principales morfoestructuras de la segmentación andina entre los 33° y 35° Sur.....	36
Figura 4.3. Zona de estudio demarcada en celeste y sus alrededores.....	37
Figura 4.4. Modelo digital de terreno. ....	38
Figura 4.5. Mapa topográfico de la hoya hidrográfica de la quebrada de Los Chanchos. ....	38
Figura 4.6. Distribución de pendientes de ladera en zona de estudio. ....	39
Figura 4.7. Distribución de aspecto (orientación de ladera) en la zona de estudio. ....	40
Figura 4.8. Perfil topográfico de la quebrada de Los Chanchos.....	40
Figura 4.9. Areniscas estratificadas de disposición subhorizontal asignadas a la Formación Abanico .....	41
Figura 4.10. Estructuras abiertas en brechas de la secuencia estratificada.....	42
Figura 4.11. Afloramiento hacia el oeste de la quebrada de Los Chanchos.....	42
Figura 4.12. Talud a los pies de la quebrada de los Chanchos .....	43
Figura 4.13. Roca con meteorización esferoidal observada en el corte de un talud artificial.....	43
Figura 4.14. Mapa geológico del área de estudio.....	44
Figura 4.15. Puntos de observación unidad de suelo superficial hacia el este de la quebrada.....	45
Figura 4.16. Depósitos de suelo superficial observados en terreno. ....	46
Figura 4.17. Depósitos aluviales en la quebrada de Los Chanchos. ....	46
Figura 4.18. Depósitos coluviales y de caída de roca en talud artificial a lo largo de la quebrada.....	47
Figura 4.19. Bloques de mayor diámetro en depósitos coluviales.....	47
Figura 4.20. Depósitos de caída en talud artificial limitando con la zona urbana del área de estudio. ....	48
Figura 4.21. Rasgos de deslizamiento superficial de suelo en talud artificial hacia el este de la quebrada de Los Chanchos.....	49
Figura 4.22. Rasgos de deslizamiento superficial de suelo en talud artificial hacia el este de la quebrada de Los Chanchos.....	49
Figura 4.23. Deslizamiento superficial de suelo en el área de estudio.....	50
Figura 4.24. Depósito de remoción en masa antigua al oeste de la quebrada de Los Chanchos. ....	50

Figura 4.25. Bloques pertenecientes al depósito de remociones en masa antiguas. ....	51
Figura 4.26. Depósito heterogéneo de bloques angulosos, se observa el contacto con la unidad de roca. ....	51
Figura 4.27. Fotografía muestra la unidad de suelo de relleno en la fundación de una de las casas construidas en la zona de estudio, se observa rasgos de deslizamiento de suelo. .....	52
Figura 4.28. Espino en la zona de estudio. ....	53
Figura 4.29. Litres en la zona de estudio. ....	54
Figura 4.30. Zonas sísmicas para Chile Central .....	56
Figura 4.31. Área metropolitana de Santiago, la imagen muestra las principales componentes de la cordillera de Los Andes y la Falla San Ramón. ....	57
Figura 4.32 Aceleración horizontal máxima esperada para un sismo de fuente interplaca, intraplaca y cortical, con periodo de retorno de 475 años.....	58
Figura 4.33. Aceleración horizontal máxima esperada para un sismo de fuente interplaca, intraplaca y cortical, con periodo de retorno de 1.950 años .....	58
Figura 4.34. Peligro asociado a la Falla San Ramón para un sismo de intensidad máxima esperada de 7.4 Mw según técnicas determinísticas. ....	59
Figura 4.35. Muro de hormigón como obra de estabilización en la zona de estudio.....	60
Figura 4.36. Corte artificial de ladera con malla de refuerzo .....	60
Figura 4.37. Unidades geomorfológicas definidas a escala 1:20.000 para aplicación de metodología Lara (2007) .....	62
Figura 4.38 Unidades urbanas definidas a escala 1:5.000 para aplicación de metodología de Muñoz (2013). ....	62
Figura 4.39. Unidades definidas a escala 1:5.000 a nivel de hoya hidrográfica para la aplicación alternativa de las metodologías de evaluación de susceptibilidad de remociones en masa de Lara (2007) y Muñoz (2013). ....	63
Figura 4.40. Mapa de susceptibilidad de deslizamientos de suelo, metodología Lara (2007), aplicada a escala 1:20000. ....	70
Figura 4.41 . Mapa de susceptibilidad a Deslizamientos de suelo, metodología Muñoz (2013), aplicada escala 1:5.000.....	71
Figura 4.42 Mapa de susceptibilidad de Deslizamientos de suelo, metodología Lara (2007) aplicada a unidades de ladera urbana y natural, escala 1:5.000.....	72
Figura 4.43. Mapa de susceptibilidad de deslizamientos de suelo, metodología Muñoz (2013) aplicada a unidades urbanas y de ladera natural, escala 1:5.000.....	73
Figura 4.44. Mapa de susceptibilidad a deslizamientos de suelo, metodología Lara (2007), aplicada a escala 1:20000 .....	74
Figura 4.45. Mapa de susceptibilidad de flujos, metodología Lara (2007) aplicada a escala 1:5000. ....	75
Figura 4.46. Mapa de susceptibilidad a flujos, metodología Muñoz (2013) .....	76
Figura 4.47. Mapa de susceptibilidad a caídas de roca, metodología Lara (2007) aplicada a escala 1:20.000.....	77
Figura 4.48. Mapa de susceptibilidad a caídas de roca, metodología Muñoz (2013) aplicada a escala 1:5.000.....	78



Figura 4.49. Mapa de susceptibilidad a caídas de roca, metodología Lara (2007) aplicada a escala 1:5.000 .....	79
Figura 4.50. Mapa de susceptibilidad a caídas de roca, metodología Muñoz (2013) aplicada.....	80
Figura 5.1. Mapa de susceptibilidad de deslizamientos superficiales de suelo, metodología Muñoz (2013) con cambio de ponderaciones recomendadas en toda el área de estudio. ....	89
Figura 5.2. Mapa de susceptibilidad de caídas de roca, metodología Muñoz (2013) considerando cambios en ponderación recomendadas en toda el área de estudio. ....	89
Figura 5.3. Mapa de susceptibilidad de deslizamientos superficiales de suelo, metodología Muñoz (2013) considerando cambios en ponderación recomendadas solo en unidades de ladera natural.....	91
Figura 5.4. Mapa de susceptibilidad de caídas de roca, metodología Muñoz (2013), cambio de ponderaciones recomendadas solo en unidades de ladera natural. ....	91

## Índice de tablas

Tabla 2.1. Clasificación de remociones en masa, elaboración propia basado en Varnes (1978) y González de Vallejo et al., 2002.....	8
Tabla 2.2. Factores condicionantes relevantes para cada tipo de remoción en masa, Lara (2007).....	12
Tabla 3.1. Estudios preliminares para la evaluación de peligros de remociones en masa, Lara (2007).....	18
Tabla 3.2. Ponderación máxima de factores condicionantes de deslizamientos en suelo, modificado de Lara (2007).....	21
Tabla 3.3. Ponderadores máximos de factores condicionantes de deslizamientos en roca, modificado de Lara (2007).....	22
Tabla 3.4. Ponderación máxima de factores condicionantes de flujos, modificada de Lara (2007).....	22
Tabla 3.5. Ponderación máxima de factores condicionantes de caída de roca, modificada de Lara (2007).....	23
Tabla 3.6. Factores máximos considerados en deslizamientos traslacionales de roca, modificado de Muñoz (2013). ....	25
Tabla 3.7. Factores máximos considerados en deslizamientos rotacionales, modificado de Muñoz (2013). ....	26
Tabla 3.8. Factores máximos considerados en deslizamientos superficiales de suelo, modificado de Muñoz (2013). ....	27
Tabla 3.9. Ponderación máxima utilizada para factores condicionantes de flujos, modificado de Muñoz (2013). ....	28
Tabla 3.10. Ponderación máxima de factores condicionantes de caída de roca, modificada de Muñoz (2013). ....	29

Tabla 4.1. Ponderadores para factores condicionantes de Deslizamientos de suelo, metodología Lara (2007). .....	64
Tabla 4.2. Ponderadores para factores condicionantes de Deslizamientos de suelo, metodología Muñoz (2013), se destaca el valor intermedio para el factor de deslizamientos de suelo reconocidos en la ladera, agregado en este trabajo.....	65
Tabla 4.3. Ponderadores para factores condicionantes de flujos, metodología Lara (2007).....	66
Tabla 4.4. Ponderadores para factores condicionantes de fenómenos tipo flujo, metodología Muñoz (2013) .....	67
Tabla 4.5. Ponderadores de factores condicionantes para Caídas de roca, metodología Lara (2007).....	68
Tabla 4.6. Ponderadores de factores condicionantes para Caídas de roca, metodología Muñoz (2013). .....	69
Tabla 5.1.Principales factores condicionantes que influyen en el cálculo del índice de susceptibilidad para cada uno de los mecanismos de remociones en masa evaluados según metodologías originales de Lara (2007) y Muñoz (2013).....	85
Tabla 5.2. Factores condicionantes predominantes en la evaluación alternativa de susceptibilidad para cada una de las metodologías y sus valores máximos considerados. ....	86
Tabla 5.3. Factores condicionantes a los que se propone modificar su ponderación máxima. ....	88

# **1 Introducción**

## **1.1 Introducción**

Las remociones en masa son procesos de movilización lenta o rápida de determinado volumen de suelo, roca, o ambos, en diversas proporciones, generados por distintos factores (Varnes, 1978). Las remociones en masa son procesos gravitacionales, considerando que una porción específica del conjunto del terreno se desplaza hasta una cota o nivel inferior a la original (Varnes, 1978).

Dentro de las distintas clasificaciones de remociones en masa de diversos autores, Varnes (1978) las separa entre flujos, deslizamientos, desprendimientos, avalanchas, subsidencia y hundimiento. Las clasificaciones también consideran el tipo de material en que se producen, pudiendo involucrar suelo o roca.

Entre los factores condicionantes de remociones en masa se consideran principalmente: la geomorfología de la zona a evaluar, rasgos como la topografía, pendiente y extensión de laderas entre otros; la geología y geotecnia de la zona de estudio, características como el tipo de material involucrado y las estructuras presentes; una posible intervención antrópica que genere modificaciones en el medio; clima y vegetación que abarca factores como la lluvia y humedad del área, entre otros; y por último la hidrología e hidrogeología. Los sismos y lluvias intensas son considerados como los principales factores desencadenantes de remociones en masa.

En los ambientes cordilleranos y precordilleranos, son comunes los deslizamientos y caídas de rocas, fenómenos de remociones en masa dados por inestabilidad gravitacional. Los flujos de detritos y aluviones tienen potencial de alcanzar las planicies formadas por los abanicos aluviales de diversas quebradas que drenan el frente montañoso, sobre los cuales la urbanización se ha desarrollado sin considerar mayormente los peligros geológicos que afectan al área. Ejemplo de los potenciales daños asociados a estos procesos, es el gran aluvión de 1993 en la Región Metropolitana, estudiado por Naranjo & Varela en 1996, donde los flujos de detritos alcanzaron un gran número de lugares habitados, causando desastre significativamente (Sepúlveda et al., 2006).

La zona de estudio se ubica al norte de la comuna de Santiago, específicamente en el sector precordillerano de La Dehesa, en la comuna de Lo Barnechea.

Dentro de la geología de la zona destaca la Formación Abanico, cuyas rocas forman un relieve con altas pendientes y afloramientos jóvenes, con poco desarrollo de suelo residual. Estas rocas al ser sometidas a la acción de los agentes de meteorización, generan material detrítico fracturado que luego se emplaza dentro de las quebradas, quedando propensos a removerse (Sepúlveda et al., 2006).

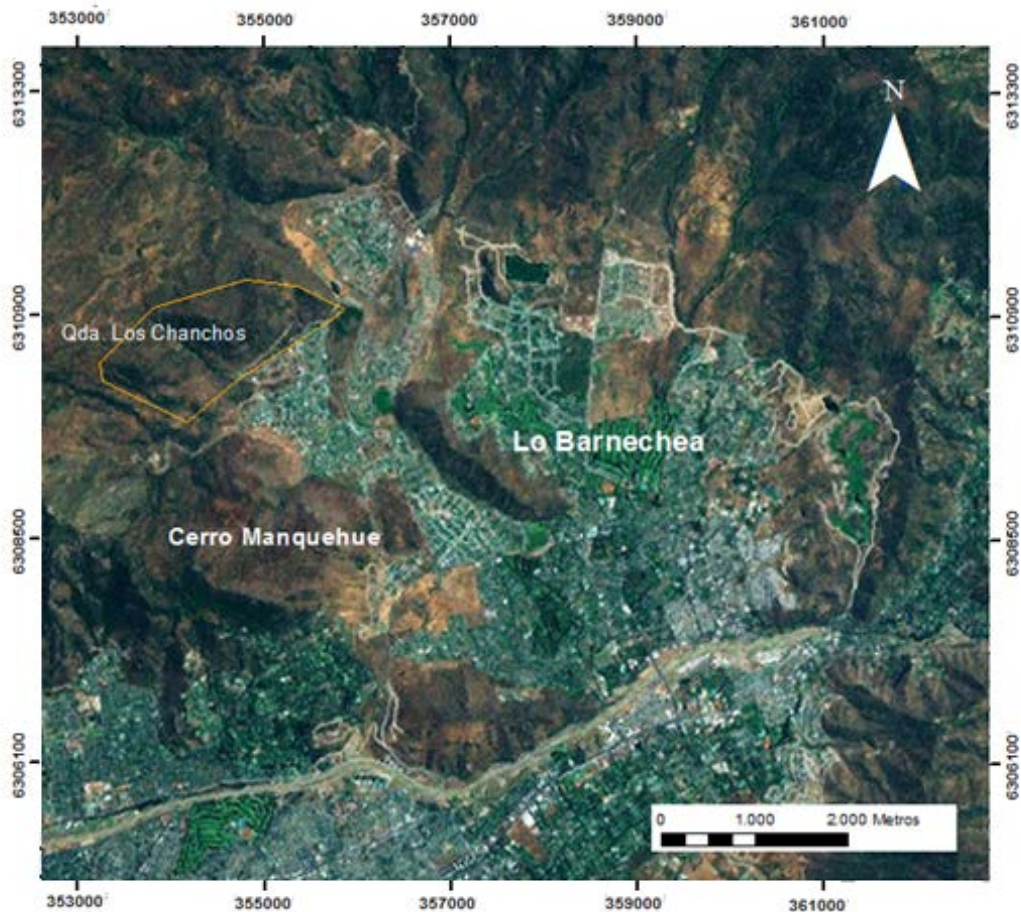
La Región Metropolitana se caracteriza por tener dentro de sus estructuras mayores la Falla San Ramón, una falla activa de carácter inverso (Rauld 2002; Pérez et al. 2014), de rumbo aproximado NS, y una extensión estimada de 25 km a lo largo de la zona oriente de la región. Según la traza de la falla de San Ramón definida por Armijo (2010), la zona de estudio se ubicaría aproximadamente a 3 km al norte de esta.

En la Región Metropolitana de Santiago se aprecia una importante expansión urbana, llegando a ocupar los faldeos precordilleranos para ser habitados. Esto, sumado a los diversos antecedentes de remociones en masa existentes, genera la necesidad de llevar a cabo distintos estudios de susceptibilidad de ocurrencia de remociones en masa para zonas urbanas, ámbito en el que este trabajo busca ser un buen indicador y un aporte para la comunidad.

## **1.2 Ubicación y vías de acceso**

El área de estudio se ubica en la zona precordillerana al nororiente de la cuenca de Santiago, dentro de la comuna de Lo Barnechea, sector de La Dehesa (Figura 1.1). Está limitada por las coordenadas UTM (WGS-84 zona 19Sur) 353550 y 355350 Este, y 6309700 y 6311050 Norte.

Por ubicarse contigua a una zona urbana, cuenta con una importante cantidad de vías generales de acceso como el trayecto Avenida La Dehesa-Camino Los Trapenses-El Golf de Manquehue-Punta de Águilas desde la Comuna de Las Condes. Las vías de acceso han ido mejorando a través del tiempo debido al crecimiento urbano hacia los faldeos precordilleranos, sin embargo corresponde en su mayoría a un sector de propiedad privada, dificultando el reconocimiento total del área. Por otro lado, la zona no urbanizada dentro del área de estudio, se ve limitada en acceso debido a la presencia de importante vegetación.



**Figura 1.1** Área de estudio y sus alrededores, se demarca en naranja su contorno. Imagen satelital modificada en ArcGIS 10.

## **1.3 Objetivos**

### **1.3.1 Objetivo general**

Realizar una evaluación de susceptibilidad de remociones en masa, mediante la aplicación de metodologías semicuantitativas a diversas escalas que incorporan criterios geológicos, geomorfológicos y geotécnicos, en la quebrada de Los Chanchos al nororiente de Santiago.

### **1.3.2 Objetivos específicos**

- Identificar los eventos de remociones en masa existentes en la zona de estudio.
- Identificar y caracterizar los distintos tipos de suelos y rocas existentes en la zona de estudio mediante un análisis geológico y geotécnico.

- Identificar y caracterizar los factores condicionantes de eventos de remociones en masa potenciales y declarados en la zona.
- Realizar una evaluación de susceptibilidad de remociones en masa y confeccionar un mapa respectivo de la zona en estudio.
- Comparar metodologías de evaluación de susceptibilidad a diferente escala en el área de estudio.

## **1.4 Metodología**

Para efectuar el análisis de susceptibilidad de ocurrencia de remociones en masa en la zona de estudio, el trabajo a realizar se separó en las siguientes etapas:

- Revisión bibliográfica, caracterización de los distintos mecanismos de remociones en masa y elaboración de un marco geológico preliminar.
- Recopilación de información de métodos de evaluación de susceptibilidad de ocurrencia de remociones en masa.
- Mapeo de fotografías aéreas disponibles, caracterización de procesos geológicos de remociones en masa y análisis de vías de acceso para visita en terreno a la zona de estudio.
- Caracterización en terreno de unidades de suelo y roca y sus características geotécnicas, y reconocimiento de remociones en masa pre-existentes además de zonas de potencial generación de remociones en masa.
- Aplicación de las metodologías de análisis de susceptibilidad de remociones en masa establecidas por Lara (2007) y Muñoz (2013), y su comparación.
- Generación de mapas de susceptibilidad para las metodologías de Lara (2007) en escala 1:20000 y 1:5000, y de Muñoz (2013) para área urbana y área natural en escala 1:5000.
- Redacción de informe y discusión de resultados para la susceptibilidad de remociones en masa en la Quebrada de Los Chanchos.

## **2 Marco conceptual**

### **2.1 Introducción**

El objetivo de este capítulo es definir los conceptos utilizados en el presente estudio. Luego de la revisión bibliográfica de distintos autores, se hace una recopilación de las principales definiciones de los términos y procesos involucrados en remociones en masa y peligro. Es importante recalcar que un mismo término puede tener distintos significados dependiendo del área en que se especialice la persona que lo utilice, aquí se recopilan los términos más convenientes para el ámbito geológico y geotécnico.

### **2.2 Terminología**

La información proporcionada a continuación se basa en Olivier y Renet 1976, Tadashi (1995), Sepúlveda (1998), González de Vallejo et al (2002) y Hauser (2000).

#### **Catástrofe**

Es una repentina y violenta perturbación de la naturaleza, atribuida a causas naturales excepcionales, que afecta las condiciones físicas de la superficie terrestre.

#### **Peligro geológico**

Probabilidad de ocurrencia de un proceso geológico, dentro de un periodo de tiempo dado y dentro de un área específica.

#### **Riesgo geológico**

Pérdidas potenciales debidas a un fenómeno geológico determinado. Incorpora consideraciones socio-económicas y puede ser medido por unidades monetarias o índices similares, a diferencia del peligro geológico.

#### **Vulnerabilidad**

Grado de daños potenciales en un elemento o conjunto de elementos expuestos como consecuencia de la ocurrencia de un fenómeno de intensidad determinada. Suele evaluarse entre 0 y 100% de daño.

## **Susceptibilidad**

Posibilidad de que una zona se vea afectada por un determinado proceso, expresada en grados cualitativos y relativos. Depende de los factores que controlan o condicionan la ocurrencia de los procesos geológicos, que pueden ser intrínsecos a los propios materiales geológicos o externos.

## **Macizo rocoso**

Es el conjunto de los bloques de matriz rocosa y de discontinuidades presentes. Mecánicamente son medios discontinuos, anisótropos y heterogéneos.

## **Suelo**

Agregado de partículas sólidas, suelto o pobremente cementado, generalmente de composición rocosa, mineral o inorgánica, ya sea residual o transportado, junto con cualquier gas o líquido intersticial.

## **Remoción en masa**

Procesos de movilización lenta o rápida de determinado volumen de suelo, roca o ambos, en diversas proporciones, generados por una serie de factores. Son procesos gravitacionales, considerando que una porción específica del conjunto del terreno se desplaza hasta una cota o nivel inferior a la original.

## **Desastre**

Interacción de un fenómeno geológico extremo (de tipo catastrófico) y una comunidad u obra humana, que causa alteraciones intensas en personas, bienes, servicios y/o ambiente. Es la ocurrencia efectiva de un fenómeno peligroso que, como consecuencia de la vulnerabilidad de los elementos expuestos, causa efectos adversos sobre los mismos.

## **Evaluación de peligros**

Técnica de naturaleza predictiva cuyo objetivo es identificar los tipos de eventos peligrosos, determinar la frecuencia de tales eventos y definir las condiciones espaciales y temporales de su ocurrencia.

## **Análisis de riesgos**

Técnica que, a partir de la evaluación de peligros, trata de cuantificar las informaciones, correlacionando la probabilidad de ocurrencia de eventos peligrosos con la probabilidad de consecuencias indeseables, estimándose los daños y realizándose estudios de vulnerabilidad.



## **Peligro declarado**

Condición o proceso geológico que constituye un peligro, y que se ha producido en el pasado o está en evolución, dejando evidencias geomorfológicas, sedimentológicas o de otra naturaleza que permiten identificarlo.

## **Peligro potencial**

Condición o proceso geológico que potencialmente puede ocurrir en el futuro en una determinada zona, constituyendo un peligro geológico. Se define a través del análisis de factores desfavorables que pueden inducir el peligro o actualizarlo.

## **2.3 Remociones en masa**

### **2.3.1 Definición**

El término remoción en masa ha sido definido por Varnes (1978), Cruden & Varnes (1996), y actualizado por Hunger et al. (2013), como procesos de movilización lenta o rápida de determinado volumen de suelo, roca, o ambos, en diversas proporciones, generados por distintos factores, correspondiendo intrínsecamente a procesos gravitacionales, considerando que una porción específica del conjunto del terreno se desplaza hasta una cota o nivel inferior al original.

Este tipo de mecanismos constituyen un conjunto de amenazas tanto a escala geológica como a escala de obras de ingeniería, que resultan ser frecuentes en la naturaleza y que en algunas ocasiones generan gran daño a la población.

### **2.3.2 Clasificación de remociones en masa**

Es importante recalcar que en la literatura se encuentran muchas clasificaciones de remociones en masa, la mayoría de ellas se basa en el tipo de material, los mecanismos del movimiento, el grado de deformación del material y el grado de saturación. Entre los tipos principales de remociones en masa, según Varnes (1978) se encuentran caídas de roca, deslizamientos, flujos, toppling y extensiones laterales (Tabla 2.1).

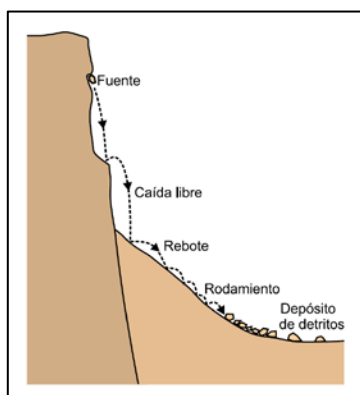
A continuación se presentan los principales tipos de remociones en masa, con alguna información e ilustraciones esquemáticas extraídas del libro “Proyecto multinacional andino: Geociencias para la comunidad andina” (2007).

**Tabla 2.1. Clasificación de remociones en masa, elaboración propia basado en Varnes (1978) y González de Vallejo et al., 2002.**

Tipo de movimiento		Tipo de material involucrado y nombre del movimiento asociado a este		
Caída		Suelo		Roca
		Caída de rocas o desprendimientos		
Deslizamientos	Rotacional	Suelo		Roca
	Traslacional	Asentamiento		
Flujo		Material no consolidado		
		Bloques	Detritos	>50% arena, limo y arcilla
		Flujo de escombros	Flujo de detritos o derrubio	Flujo de barro
Volcamiento		Suelo		Roca
		Volcamiento (Toppling)		
Extensiones laterales		Material blocoso		Suelo
		Extensión lateral		

### **Caídas de roca**

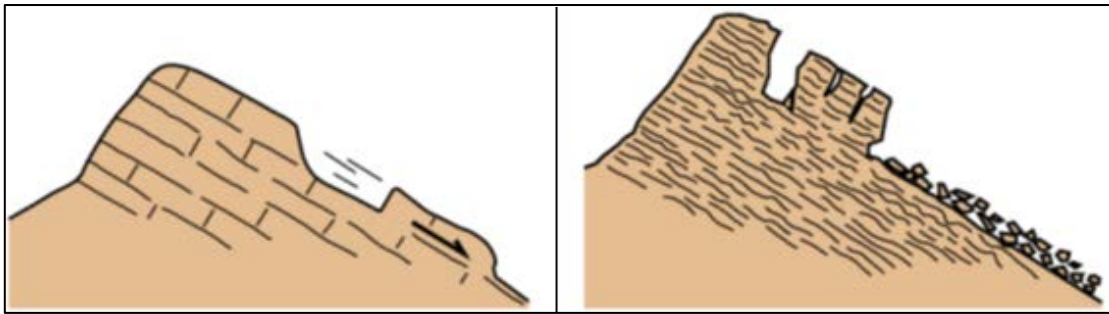
Son movimientos abruptos de bloques independientes de roca, siendo sus causas principales la presencia de discontinuidades en el macizo rocoso. El material desprendido podrá alcanzar el pie del talud mediante caída libre, rodando y rebotando, lo que dependerá principalmente de la forma del bloque y del ángulo de pendiente del talud. Durante la caída, los materiales podrán adquirir una alta energía cinética, permitiéndoles abarcar una amplia área a los pies de la ladera, lo cual se acrecentaría si se suma una cantidad importante de material aportado (Varnes ,1978).



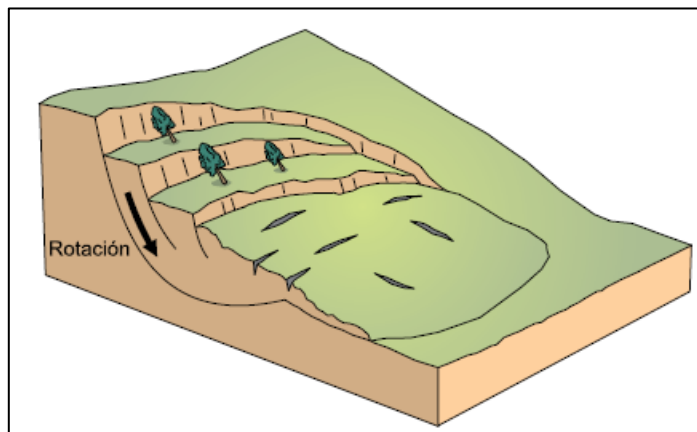
**Figura 2.1. Esquema de caídas de roca.**

## ***Deslizamientos***

Corresponde a un movimiento ladera abajo de masas de suelo o roca a través de superficies de cizalle definidas. Según Varnes (1978) los movimientos más comunes que presentan los deslizamientos, son los traslacionales y rotacionales. Los primeros pueden darse en suelo o en roca y tienen lugar en superficies preexistentes más o menos planas, generadas por discontinuidades presentes en el macizo rocoso (por ejemplo diaclasas, fallas o planos de estratificación), y donde la masa a deslizar supera la resistencia que le ocasiona la discontinuidad mediante características propias de la estructura, como propiedades mecánicas resistentes de la superficie y del relleno (González de Vallejo et al., 2002). Y los segundos, que son más frecuentes en suelos cohesivos o roca muy meteorizada, donde la rotura, ya sea superficial o profunda, tiene lugar a favor de superficies curvas, en que una vez iniciada la inestabilidad, la masa empieza a rotar, pudiendo dividirse en varios bloques que deslizan entre sí y dan lugar a “escalones” con la superficie basculada hacia la ladera y a grietas de tracción estriada (González de Vallejo et al., 2002).



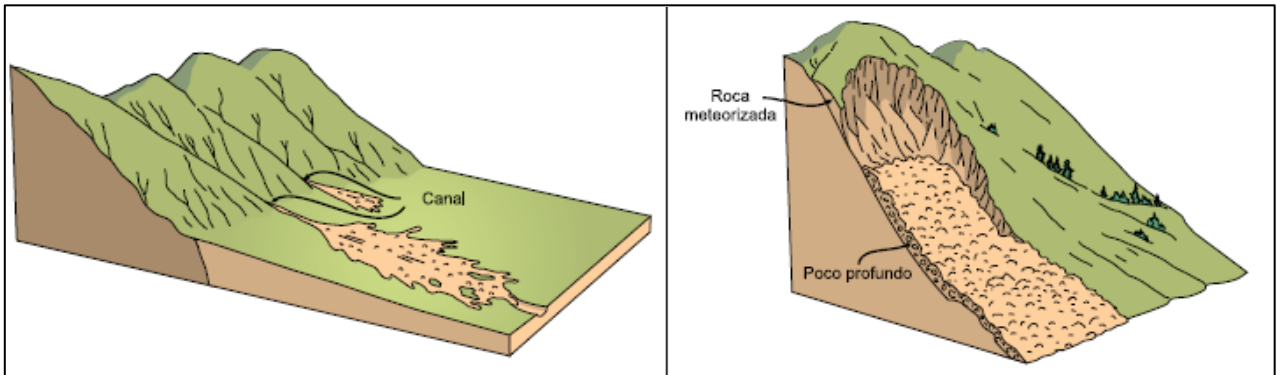
**Figura 2.2. Esquema de deslizamiento traslacional.**



**Figura 2.3. Esquema de deslizamiento rotacional.**

## ***Flujos***

Corresponden a movimientos continuos en el espacio, de masas de suelo (flujos de barro o tierra), derrubios (coladas de derrubios) o bloques rocosos (coladas de fragmentos rocosos) con abundante presencia de agua, el material está disgregado y se comporta como un fluido, donde las masas desplazadas son fuertemente deformadas internamente, sin presentar superficies de rotura definidas. El agua es el principal agente desencadenante, por la pérdida de resistencia a que da lugar en materiales poco cohesivos (Varnes, 1978; González de Vallejo et al., 2002).



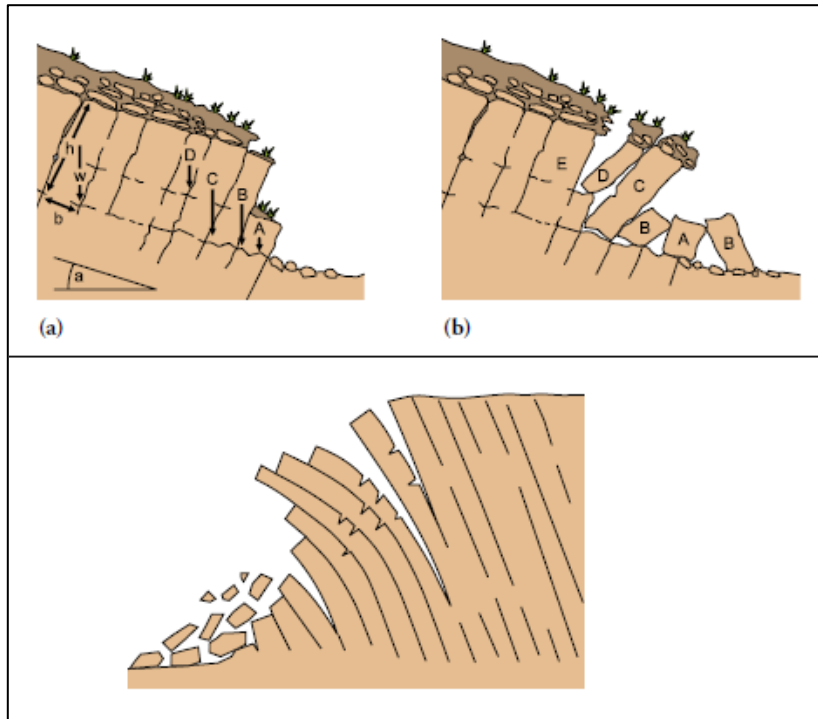
**Figura 2.4. Esquema de flujo canalizado (izq.) y no canalizado (der.).**

## ***Volcamiento (Toppling)***

Tipo de movimiento en masa dado por acción de la gravedad, empujes de las unidades adyacentes o por la presión de fluidos en grietas, en el cual hay una rotación generalmente hacia adelante de uno o varios bloques de roca o suelo, alrededor de un punto o pivote de giro en su parte inferior (Varnes, 1978). Goodman y Gray (1976) diferencian dos tipos de volcamientos:

-Volcamiento de bloques: involucra roca relativamente competente, donde el fallamiento ocurre por pérdida de la estabilidad y rotación de uno o varios bloques a partir de un punto en su base. Es controlado por una orientación específica de discontinuidades y generalmente está asociado a velocidades altas.

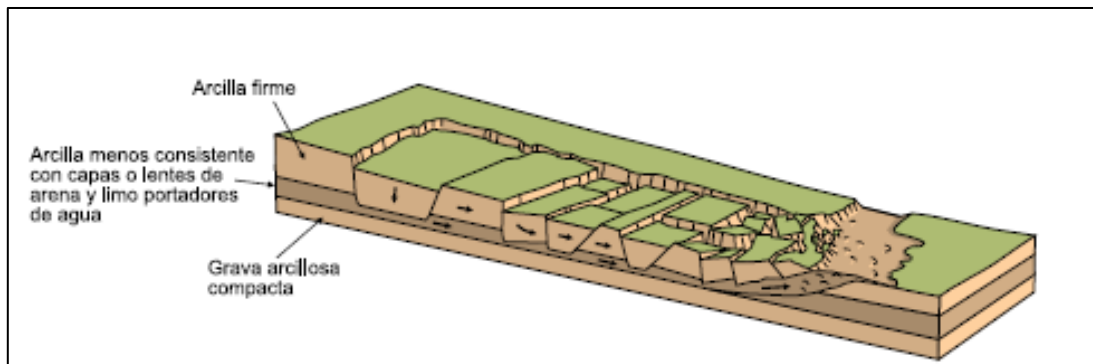
-Volcamiento flexural: involucra roca más frágil y densamente diaclasada; el fallamiento ocurre por el doblamiento de columnas de rocas delgadas.



**Figura 2.5. (a) y (b) Esquema de volcamiento en bloque (Freitas y Waters, 1973 en Varnes, 1978). Abajo esquema de volcamiento flexural (Corominas y Yagué, 1997 en Proyecto Multinacional Andino: Geociencias para las comunidades Andinas, 2007).**

### ***Extensiones laterales***

Es un movimiento de bloques rocosos o masas de suelo muy coherente y cementado sobre un material blando y deformable. Los bloques se desplazan muy lentamente a favor de pendientes muy bajas. Los movimientos son debidos a la pérdida de resistencia del material subyacente, que fluye o se deforma bajo el peso de los bloques rígidos. Las extensiones laterales se dan en laderas suaves, pueden ser muy extensos y provocados por licuefacción del material infrayacente, o por procesos de extrusión lateral de arcillas blandas y húmedas, bajo el peso de masas superiores (Gonzalez de Vallejo et al., 2002).



**Figura 2.6. Dibujo esquemático de un desplazamiento lateral.**

### 2.3.3 Factores condicionantes

Se denomina así a todo factor que pueda generar una situación potencialmente peligrosa, y que por lo tanto controlan la susceptibilidad de generar un fenómeno de remoción en masa.

Cada uno de los fenómenos de remociones en masa presenta génesis y dinámicas distintas, así habrá factores con mayor influencia que otros dependiendo del mecanismo a estudiar (Tabla 2.2).

**Tabla 2.2. Factores condicionantes relevantes para cada tipo de remoción en masa, Lara (2007).**

Tipo de remoción en masa Factores Condicionantes	Caídas	Deslizamientos	Toppling	Flujos	Extensiones Laterales
Geología y Geotecnia	X	X	X	X	X
Geomorfología	X	X	X	X	X
Hidrología e Hidrogeología	X	X	X	X	X
Vegetación y Clima		X		X	X
Actividad Antrópica	X	X	X	X	

A continuación se presentan los principales factores condicionantes de fenómenos de remoción en masa:

#### **Geomorfología**

Los principales rasgos geomorfológicos condicionantes de remociones en masa son la topografía, la altura de las laderas, su extensión y pendiente, incluyendo cambios fuertes en ella. Cualquier variación en estas características puede volver una ladera estable en inestable y generar remociones en masa (Popescu, 2002). También puede considerarse un factor condicionante importante la orientación de la ladera con respecto al norte, aspecto geográfico que puede influir por ejemplo en el tiempo de exposición al sol y por lo tanto, en el grado de humedad, presencia de vegetación y meteorización en la ladera.

Una topografía escarpada y ángulos altos de pendiente pueden influir en la generación de flujos, deslizamientos y derrumbes. Cuanto mayor sea la pendiente tanto de laderas como de cauces, entregan una alta capacidad de transporte y energía a los flujos.

### ***Geología y geotecnia***

Entre los factores a estudiar para la determinación de susceptibilidad de remociones en masa, se encuentra el tipo de depósito y el material que lo compone (suelo o roca), la densidad, plasticidad, humedad y permeabilidad de los suelos presentes, además de la litología del área y su disposición, la alteración y meteorización que definen la resistencia de la roca intacta y del macizo, y por último las estructuras presentes. Esto para definir cómo se espera que se comporte en términos mecánicos la masa a ser movilizada.

### ***Intervención antrópica***

La intervención del hombre, genera modificaciones en el medio que muchas veces toman un papel fundamental en el desarrollo de un proceso de remociones en masa. Dentro de este factor condicionante se consideran la generación de obras de construcción, cortes, terraplenes, plataformas, obras mineras, excavaciones, rellenos, acumulación de escombros, entre otras actividades, que pueden generar una disminución artificial gradual de la resistencia de los depósitos o macizos rocosos involucrados, debido a la modificación de la pendiente de la ladera o por no considerar el control estructural que esta tendría de manera natural. Así, la intervención antrópica puede llevar a la desestabilización de laderas, dando condiciones propicias para la generación de un fenómeno de remociones en masa. Además estas actividades pueden llevar a la contribución de material suelto, favoreciendo que pueda ser movilizadopor posibles eventos posteriores. Sin perjuicio de lo anterior, muchas veces la intervención antrópica resulta en la disminución de la susceptibilidad de generación de fenómenos de remoción mediante la estabilización de laderas, lo que también será considerado en este estudio. Por último, se debe indicar que este factor condicionante, en algunos casos resulta ser también un agente desencadenante de eventos de este tipo.

## ***Clima y vegetación***

Las condiciones climáticas del área a evaluar están directamente relacionadas con la meteorización y erosión de la misma. Dentro de los factores climáticos considerados están las precipitaciones, viento, cambio de temperatura y radiación solar.

Una de las características del clima es su carácter fluctuante y variable en el tiempo, lo que le otorga una extraordinaria variabilidad a todos los procesos geodinámicos. En consecuencia, las situaciones más críticas se vinculan a la frecuencia y severidad de los fenómenos extremos (sequías e inundaciones), pues son precisamente estos eventos los que provocan las mayores pérdidas económicas y sociales (Hauser, 2002).

La lluvia, al igual que la intervención antrópica, puede ser considerada factor condicionante y también factor desencadenante de fenómenos de remoción en masa principalmente cuando se trata de material de tipo suelo.

La vegetación está vinculada a la humedad del área, un clima húmedo propiciará la presencia de cobertura vegetal, que además de reducir la erosión, puede en algunos casos ser una barrera natural de contención de material movilizado por remociones en masa (Muñoz, 2013). Esta variable también es considerada un factor condicionante debido a que en ocasiones puede contribuir a la estabilización de laderas, principalmente frente a fenómenos de remoción en masa superficiales.

## ***Hidrología e hidrogeología***

El agua es un elemento condicionante de remociones en masa tanto directa como indirectamente. La característica de los caudales, escorrentías, infiltración y posición del nivel freático, además de la permeabilidad y porosidad, influyen en la incorporación de agua en suelos y macizos rocosos (Lara, 2007). El agua juega un papel negativo en la resistencia de los materiales, ya que por un lado, genera presiones intersticiales que reducen la resistencia, aumentan los esfuerzos de corte por el incremento de peso del terreno y generan fuerzas desestabilizadoras en grietas y discontinuidades, y por otro lado reduce la resistencia al corte de discontinuidades al lavar los rellenos de estas (González de Vallejo et al. en Muñoz, 2013).



### **2.3.4 Factores gatillantes de remociones en masa**

Existen factores que modifican la estabilidad preexistente del terreno y gatillan la ocurrencia de un evento de remoción en masa, conocidos como factores desencadenantes (González de Vallejo et al., 2002). Entre los más comunes se cuentan las lluvias de gran intensidad y los sismos; también pueden considerarse, aunque con menor relevancia, las erupciones volcánicas, la intervención antrópica, la fusión de nieve, entre otros.

#### *Lluvia*

Las lluvias como factor gatillante están relacionadas con su intensidad, duración y distribución (González et al., 2002), siendo precipitaciones de poca o alta intensidad en periodos largos de tiempo, factores gatillantes de remociones en masa profundas, y otras de gran intensidad pero en periodos cortos, un potencial factor desencadenante de eventos superficiales en zonas donde la susceptibilidad a remociones en masa sea alta (Aleotti, 2004).

Las precipitaciones actúan aumentando el grado de saturación de los materiales y con ello, disminuyen su resistencia durante un tiempo. Además las precipitaciones intensas aumentan la escorrentía superficial, lo que se traduce en un mayor grado de erosión de laderas, pudiendo generar fenómenos de remociones en masa.

En Chile Central, estudios que recopilan los eventos de remociones en masa de aproximadamente los últimos 50 años, establecen que existe una clara correlación entre la presencia del fenómeno El Niño, en el cual existe una tendencia al exceso de precipitaciones (inviernos con mayor días con lluvia y con precipitaciones de intensidades mayores), y el desarrollo de tormentas gatillantes de eventos de remociones en masa (García (2000) en Padilla 2006).

Por último, las lluvias generadas en periodos estivales en la zona precordillerana de la región metropolitana, son importantes para la generación de eventos de remociones en masa, pues por ejemplo, las rocas experimentan un resecamiento por ausencia de lluvias, favoreciendo su fracturamiento superficial, condición que puede conllevar a un evento de tipo flujo o caída de roca (Hauser, 2000).

## *Sismos*

Los sismos son otros grandes factores desencadenantes de remociones en masa en diversos escenarios geológicos y topográficos. Las aceleraciones sísmicas generan un cambio temporal en el régimen de esfuerzos al que está sometido la ladera, tanto normales como de corte, pudiendo producir su inestabilidad.

Chile es uno de los países más sísmicos del mundo, siendo testigo de terremotos que han ocasionado tanto pérdidas humanas como materiales. En ingeniería, el peligro sísmico es una de las herramientas más utilizadas en la prevención de dichas pérdidas (Leyton et al., 2010). La aceleración sísmica generalmente utilizada en este tipo de análisis, es la aceleración sísmica horizontal máxima (“peak ground acceleration” o PGA). Este valor de PGA es usado comúnmente debido a su relación con fuerzas inerciales sobre los cuerpos afectados, donde las más altas fuerzas dinámicas inducidas son cercanas a él (Lara, 2007).

Para el estudio del peligro sísmico, se debe considerar por un lado aspectos relacionados con el fenómeno propiamente tal, así como sus efectos secundarios. Se considera su magnitud, el largo de la zona de ruptura, el período de retorno, aceleraciones máximas alcanzadas y su intensidad.

## *Otros factores*

En ambientes volcánicos, las erupciones pueden gatillar deslizamientos producto de la fusión de la nieve acumulada en las laderas de los volcanes, las cuales actuando por sí solas o en conjunto con precipitaciones intensas podrían generar flujos de gran magnitud al arrastrar el material depositado en las laderas durante la erupción volcánica (Lara, 2007). Este tipo de flujo es denominado “lahar”. Los flujos de detritos volcánicos o lahares, también se pueden producir por lluvias intensas sobre depósitos de tefra (Pierson, 1989; Coussot & Meunier, 1996).

Otro agente gatillante importante a considerar es la intervención antrópica, como son las sobre excavaciones, la realización de obras de arte en zonas susceptibles de ser removidas, represamiento de cauces, etc.

## **3 Metodologías para evaluación de susceptibilidad de generación de fenómenos de remociones en masa**

### **3.1 Introducción**

La susceptibilidad de remociones en masa se refiere a la posibilidad que tiene una zona de verse afectada por un determinado fenómeno de estas características, y puede ser expresada en términos cuantitativos.

Su valor numérico depende de los factores que controlan o condicionan la ocurrencia de los procesos geológicos, que pueden ser intrínsecos a los propios materiales geológicos, por ejemplo la resistencia de la roca o presencia de estructuras, o externos como el clima al que está sometido el material o la intervención antrópica existente (González de Vallejo et al, 2002).

Las metodologías empleadas para evaluar susceptibilidad y/o peligro de remociones en masa en Chile corresponden principalmente a metodologías cualitativas o semi-cuantitativas, que incorporan criterios geológicos, geomorfológicos y geotécnicos, como análisis geomorfológico y mapas mediante ponderación de índices que se otorga a cada uno de los factores condicionantes de remociones en masa (Sepúlveda et al., 2006). En este estudio se presentan metodologías para Chile Central.

Lara (2007) y Muñoz (2013) postulan metodologías de evaluación de susceptibilidad de remociones en masa que permiten determinar un índice de susceptibilidad basado en la suma de puntajes ponderados para distintos factores condicionantes de algunos tipos de fenómenos de remociones en masa.

Ambos métodos difieren básicamente en la escala de su aplicación, diferencia por la que se da un ajuste en la ponderación utilizada para cada factor condicionante. En el presente capítulo se muestra de manera general estas metodologías.

## 3.2 Esquema general

Las etapas principales que consideran las metodologías de Lara (2007) y Muñoz (2013) son:

-Estudios preliminares de gabinete: investigación y recopilación de información y antecedentes para la zona de estudio, revisión de material bibliográfico, fotografías aéreas, mapas, cartas geológicas, etc. En la Tabla 3.1 se detalla la información que requiere ser recopilada en esta etapa y las principales herramientas a utilizar para lograrlo.

**Tabla 3.1. Estudios preliminares para la evaluación de peligros de remociones en masa, Lara (2007).**

Factor de estudio		Tópicos a considerar	Herramientas
Delimitación área y escala de estudio		<ul style="list-style-type: none"> <li>. Delimitación geográfica</li> <li>. Definición escala<sup>2</sup></li> <li>. Descarte de zonas de baja pendiente</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>. Cartografía</li> <li>. Cartas Geológicas</li> <li>. Fotos aéreas</li> </ul>
Factores Condicionantes	Antecedentes Históricos	<ul style="list-style-type: none"> <li>. Tipos de eventos ocurridos</li> <li>. Distribución espacial</li> <li>. Volumen de material involucrado</li> <li>. Agente gatillante del evento</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>. Bibliografía</li> <li>. Prensa</li> </ul>
	Geología	<ul style="list-style-type: none"> <li>. Roca: litología y delimitación de unidades, alteración, meteorización y estructuras</li> <li>. Suelo: tipo y delimitación de unidades</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>. Cartas geológicas</li> <li>. Fotos aéreas</li> <li>. Bibliografía</li> </ul>
	Geotecnia	<ul style="list-style-type: none"> <li>. Roca: tipos de estructuras, datos de resistencia del macizo y roca intacta</li> <li>. Suelo: datos de granulometría, resistencia, permeabilidad</li> </ul>	
	Geomorfología	<ul style="list-style-type: none"> <li>. Tipos de unidades</li> <li>. Topografía, mapa de pendientes</li> <li>. Identificación de escarpes de remoción en masa antiguas</li> <li>. Red de drenaje</li> <li>. Orientación de laderas</li> <li>. Delimitación y superficie de hoya hidrográfica</li> </ul>	
	Hidrología e Hidrogeología	<ul style="list-style-type: none"> <li>. Identificación de cauces principales y secundarios</li> <li>. Datos de caudales, escorrenría, infiltración, posiciones y variaciones del nivel freático</li> </ul>	
	Vegetación	<ul style="list-style-type: none"> <li>. Tipo, distribución y densidad</li> <li>. Variación estacional</li> </ul>	
	Actividad Antrópica	<ul style="list-style-type: none"> <li>. Uso de suelo</li> <li>. Urbanización</li> <li>. Identificación de obras: rellenos, excavaciones, taludes. Estado de la obra</li> <li>. Actividad minera</li> </ul>	
Factores Gatillantes	Precipitaciones	<ul style="list-style-type: none"> <li>. Registro de precipitaciones: tipos, distribución, datos de precipitación acumulada, precipitaciones máximas</li> <li>. Ubicación isoterma 0°, variaciones estacionales</li> <li>. Temperaturas: distribución y datos de máximas y mínimas, variaciones en torno al punto de fusión de nieve</li> <li>. Curvas de frecuencia (T° v/s precipitación)</li> <li>. Eventos generadores de cada tipo de remoción, intensidades asociadas, época del año</li> </ul>	
	Sismos	<ul style="list-style-type: none"> <li>. Tipos de sismos</li> <li>. Catastro de sismos, registros de magnitud, intensidad, aceleración</li> <li>. Recopilación de estudios de peligro sísmico</li> <li>. Eventos generadores de cada tipo de remoción, magnitudes, intensidades asociadas, aceleraciones asociadas</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>. Prensa</li> </ul>
	Otros	<ul style="list-style-type: none"> <li>. Distribución</li> <li>. Catastro</li> <li>. Tipo de evento generador de remociones</li> </ul>	

-Trabajo de terreno: observación y caracterización de los factores condicionantes de la zona de estudio, tales como geología y estructuras, geomorfología, condiciones hidrológicas e hidrogeológicas, características de la vegetación y clasificación geotécnica de las unidades de roca y suelo presentes en el área, con el objetivo de confeccionar un mapa geológico básico que reúna las unidades reconocidas en la zona de estudio. Se delimita las unidades de suelo y roca que se han identificado, indicando su caracterización, distribución espacial y la geología estructural presente.

-Trabajo de gabinete: división de la zona de estudio en unidades geomorfológicas mediante definición de rasgos geomorfológicos y geológicos similares, y evaluación de susceptibilidad a generación de remociones en masa mediante el cálculo de un índice de susceptibilidad.

### **3.3 Métodos particulares de evaluación de susceptibilidad de ocurrencia de remociones en masa**

#### **3.3.1 Evaluación de susceptibilidad a escala de hoya hidrográfica (Lara, 2007)**

Lara (2007) y Lara & Sepúlveda (2010), proponen el cálculo de un índice de susceptibilidad mediante la ponderación de factores condicionantes, basado en Sepúlveda (1998) para cuatro tipos de remociones en masa: deslizamientos en suelo, deslizamientos en rocas, flujos y caídas de roca. Para cada tipo de fenómeno se definen los factores condicionantes importantes en función de su influencia en la ocurrencia de la remoción en masa y se ponderan a partir de rangos propuestos en la metodología. El producto es un índice de susceptibilidad (IS) entre 0% y 100% para cada unidad de análisis, considerándose aquellas con IS mayor al 50% como las zonas susceptibles de generación de remociones en masa.

Esta metodología define los factores condicionantes a partir de observaciones en terreno, pero asigna un valor como ponderador para cada condicionante basado en casos anteriores, literatura y experiencia del profesional.

#### *Escala de trabajo*

Lara sugiere que en términos de escala de trabajo y dimensiones del área de análisis, la metodología sea aplicada en áreas no mayores a la de una hoya hidrográfica de decenas de km<sup>2</sup>, utilizando escalas entre 1:20.000 y 1:50.000.

### *Definición de unidades geomorfológicas*

Para la división del área de estudio en diferentes unidades, se utilizan criterios geomorfológicos y geológicos similares, considerando la orientación de la ladera (aspecto) y su pendiente, litología y tipos de depósitos. La cantidad de unidades depende de la extensión del área de estudio, y no se recomienda definir más de 150 unidades para un posterior trabajo de evaluación eficiente.

### *Evaluación de la susceptibilidad*

Una vez determinado un óptimo número de unidades, se procede a evaluar la susceptibilidad a generación de remociones en masa mediante el cálculo de un Índice de Susceptibilidad (IS). Se calcula el índice para cada unidad definida previamente, basado en la suma de los puntajes ponderados para cada uno de los factores condicionantes de remociones en masa. Debido a que el efecto que produce cada factor condicionante varía según el tipo de remoción en masa a considerar, el cálculo del IS se hará para deslizamientos, flujos, y caídas de roca, de manera independiente, y para cada una de las unidades.

Para cada factor condicionante de remociones en masa se establece un peso en porcentaje, que define su grado de importancia en la generación del evento. Este porcentaje se definió bajo criterio del autor basado en la metodología de Sepúlveda (1998), revisión bibliográfica y la calibración gradual de la metodología mediante aplicación en la zona de estudio. Sepúlveda (1998), a su vez se basa en las opiniones de diversos profesionales del área geológica y geotécnica para establecer las ponderaciones.

Basado en la metodología elaborada por Sepúlveda (1998), y en la calibración con las observaciones en la zona piloto de la zona central de Chile, hechas paralelamente al desarrollo de la metodología, se utilizan los valores propuestos para el cálculo del IS. Se determina un valor crítico de  $IS=50$  para considerar una unidad susceptible, definido arbitrariamente mediante la calibración con las remociones en masa observadas en la quebrada San Ramón.

### Evaluación de susceptibilidad a Deslizamientos en suelo

Se presentan las ponderaciones máximas consideradas por Lara (2007) para cada factor, es decir, el caso más crítico para generar una remoción. La suma de todos los porcentajes corresponde a un 100%. La Tabla 3.2 Presenta los factores desglosados en diversos rangos dependiendo de las condiciones que presenta la unidad estudiada (ver Anexo 1.1).

**Tabla 3.2. Ponderación máxima de factores condicionantes de deslizamientos en suelo, modificado de Lara (2007).**

<b>Factor</b>	<b>Descripción</b>	<b>%</b>
Geomorfología	Pendientes de laderas (f1) Exposición al sol (f2)	35%
Geología- Geotecnia	Características geológicas-geotécnicas del material (f3) Condiciones de humedad y saturación (f4)	30%
Clima- Vegetación	Acumulación de nieve (f5) Cobertura vegetal (f6)	10%
Antrópico	Desestabilización artificial de laderas (f7)	10%
Antecedentes	Deslizamientos declarados en la ladera (f8) Deslizamientos declarados en la unidad de suelo (f9)	15%

Así, se calcula el IS para cada una de las unidades geomorfológicas definidas mediante la siguiente ecuación:

$$IS_{DS} = \left( \sum_{i=1}^9 f_i \right) \cdot f_{10}$$

Para esta ecuación el subíndice DS se refiere al tipo de remoción en masa estudiado (Deslizamientos de Suelo),  $f_i$  es cada uno de los 9 factores considerados, y  $f_{10}$  está asociado a la compatibilidad del material de la unidad con el mecanismo analizado. De esta manera, toma valores 0 y 1, siendo nula la susceptibilidad cuando el material de la unidad es roca.

### Evaluación de susceptibilidad a Deslizamiento en roca

Al igual que en el caso anterior, la Tabla 3.3 muestra la ponderación máxima de factores condicionantes de deslizamiento en roca propuesto por Lara (2007), para un mayor detalle ver Anexo 1.2.

**Tabla 3.3. Ponderadores máximos de factores condicionantes de deslizamientos en roca, modificado de Lara (2007).**

<b>Factor</b>	<b>Descripción</b>	<b>%</b>
Geomorfología	Pendientes de laderas (f1)	35%
Geología-Geotecnia	Características geológicas-geotécnicas del material (f2)	35%
Clima	Acumulación de nieve (f3)	5%
Antrópico	Desestabilización artificial de laderas (f4)	10%
Antecedentes	Deslizamientos declarados en la ladera (f5)	15%

Luego, el IS para cada unidad se calcula según la siguiente ecuación:

$$IS_{DR} = \left( \sum_{i=1}^5 f_i \right) \cdot f_6$$

Así, las unidades sólo asociadas a suelo, entregarán un IS=0 por la incompatibilidad del material de la unidad con el mecanismo estudiado indicado por  $f_6$ .

#### Evaluación de susceptibilidad a flujos

La Tabla 3.4 muestra la ponderación máxima de factores condicionantes de flujos de Lara (2007), el Anexo 1.3 describe en detalle cada uno de los valores ponderados para cada rango de estos factores.

**Tabla 3.4. Ponderación máxima de factores condicionantes de flujos, modificada de Lara (2007).**

<b>Factor</b>	<b>Descripción</b>	<b>%</b>
Geomorfología	Pendientes de laderas (f1)	35%
	Pendiente canal de drenaje (f2)	
	Encajamiento canal de drenaje (f3)	
	Exposición al sol (f4)	
Geología-Geotecnia	Características geológicas-geotécnicas del material (f5)	35%
	Condiciones de humedad y saturación (f6)	
Clima-Vegetación	Acumulación de nieve (f7)	10%
	Cobertura vegetal (f8)	
Antrópico	Obstrucción de canal de drenaje (f9)	10%
	Desestabilización artificial de laderas (f10)	
Antecedentes	Aluviones declarados en la hoya (f11)	10%



Luego, el IS para Flujos se calcula de la siguiente manera:

$$IS_F = \left( \sum_{i=1}^{11} f_i \right) \cdot f_{12}$$

Si  $f_{12}$  indica roca como material de la unidad, entonces la susceptibilidad resultará nula.

### Evaluación de susceptibilidad a Caídas de roca

La Tabla 3.5 muestra los valores ponderadores para cada factor condicionante a considerar, más detalle se presenta en la tabla de desglose de los factores condicionantes de caídas de roca (ver Anexo 1.4).

**Tabla 3.5. Ponderación máxima de factores condicionantes de caída de roca, modificada de Lara (2007).**

<b>Factor</b>	<b>Descripción</b>	<b>%</b>
Geomorfología	Pendientes de laderas (f1)	35%
Geología-Geotecnia	Características geológicas-geotécnicas del material (f2)	35%
Clima	Acumulación de nieve (f3)	10%
Antrópico	Desestabilización artificial de laderas (f4)	5%
Antecedentes	Caída de roca declaradas en la ladera (f5)	15%

Así, el valor para IS será el resultado de la siguiente ecuación:

$$IS_C = \left( \sum_{i=1}^5 f_i \right) \cdot f_6$$

Toda unidad asociada sólo a suelo, entregara un IS=0 dado que  $f_6$  será nulo.

### **3.3.2 Evaluación de susceptibilidad a escala de talud o ladera urbana (Muñoz, 2013)**

Propuesta por Muñoz (2013), introduce modificaciones a la metodología planteada por Lara (2007) para determinar índices de susceptibilidad de remociones en masa en áreas urbanas. El ajuste metodológico se realiza en paralelo a la aplicación en un caso piloto, lo que permite la calibración y análisis de los ajustes realizados. Así, se

llega a nuevos ponderadores para los factores condicionantes mencionados por Lara (2007), incluyendo nuevos factores o excluyendo algunos según el tipo de mecanismo.

Muñoz (2013) sugiere que dentro de los factores condicionantes considerados para la aplicación de la metodología en áreas urbanas, es necesario aumentar el desglose y la ponderación del factor intervención antrópica así como introducir ajustes en la escala de trabajo.

Los tipos de remociones en masa considerados por Muñoz (2013), a diferencia de la metodología de Lara (2007) incluye diferenciación entre deslizamientos rotacionales y traslacionales, además de analizar flujos, caída de roca y deslizamientos de suelo y roca.

### *Escala de trabajo*

Muñoz (2013) sugiere que por tratarse de zonas urbanas, para poder identificar aquellas áreas sensibles a la ocurrencia de remociones en masa que no están del todo identificadas en estudios comunales (Estudios Fundados de Riesgos para Planes Reguladores Comunales) y cuya ocurrencia puede abarcar menor superficie, pero con alto impacto en la dinámica de las ciudades, la escala de trabajo utilizada puede fluctuar entre 1:5.000 y 1:10.000 o ser incluso de mayor detalle.

### *Definición de unidades geomorfológicas*

Como la metodología está orientada a evaluar la generación de remociones en masa en laderas urbanas, se considera la división de los sectores de estudio en unidades de análisis basándose por un lado en rasgos geomorfológicos y geológicos-geotécnicos, y por otro lado, en criterios urbanos como límites entre sectores, ejes viales y calles, además de zonas intervenidas antrópicamente. El área de trabajo no debe superar las 150 unidades de análisis.

### *Evaluación de la susceptibilidad*

Siguiendo el mismo procedimiento que Lara (2007), luego de definir un número óptimo de unidades, se comienza a evaluar cada uno de los factores condicionantes para cada tipo de remoción en masa y unidad definida, entregándole un peso en porcentaje en función de la importancia de cada uno en la generación del mecanismo.

### Evaluación de susceptibilidad a Deslizamientos traslacionales de roca

Muñoz (2013) analiza la susceptibilidad de las laderas a sufrir deslizamientos traslacionales de rocas (tipo fallas planas, cuñas o una combinación de ambos), la Tabla 3.6 entrega los valores máximos de ponderación considerados, mayor detalle se entrega en el Anexo 1.5.

**Tabla 3.6. Factores máximos considerados en deslizamientos traslacionales de roca, modificado de Muñoz (2013).**

<b>Factor</b>	<b>Descripción</b>	<b>%</b>
Geomorfología	Pendientes promedio de la unidad (f1) Altura máxima de la unidad (f2) Forma (f3)	35%
Geología-Geotecnia	Características geológicas-geotécnicas de la unidad (f4) Fracturamiento y/o presencia de bloques preformados (f5) cercanía a falla mayor y/o zona de cizalle (f6)	35%
Clima-Vegetación	Condición de humedad en la ladera (f7) Presencia de vegetación (f8)	5%
Antrópico	Presencia desestabilización/estabilización artificial (f9)	15%
Antecedentes	Deslizamientos de bloques declarados en la ladera (f10)	10%

Luego, el IS para deslizamientos traslacionales se calcula con la siguiente fórmula:

$$IS_{DTr} = \left( \sum_{i=1}^{10} f_i \right) \cdot f_{11}$$

Donde  $f_{11}$  igual que en la metodología anterior, indica la compatibilidad del material de la unidad con el mecanismo estudiado, en este caso, si el material es suelo el valor de IS resultará nulo.

#### Evaluación de susceptibilidad a Deslizamientos rotacionales de roca y suelo

Se analiza la susceptibilidad de las laderas a sufrir deslizamientos de tipo rotacionales tanto de suelos, sedimentos poco consolidados o macizos rocosos de baja calidad geotécnica, considerando para ello valores de RMR menores a 20, o rocas con baja resistencia a la compresión uniaxial (menor a 27,5 MPa) equivalente a una dureza menor o igual a R2 estimada a partir de golpes de martillo geológico según la clasificación de la International Society for Rock Mechanics (ISRM, 1981).

La Tabla 3.7 muestra los ponderadores máximos utilizados para la evaluación de susceptibilidad a deslizamientos rotacionales.

**Tabla 3.7. Factores máximos considerados en deslizamientos rotacionales, modificado de Muñoz (2013).**

<b>Factor</b>	<b>Descripción</b>	<b>%</b>
Geomorfología	Pendiente promedio de la ladera (f1) Altura máxima de la unidad (f2) Exposición al sol (f3) Forma (f4)	35%
Geología-Geotecnia	Características geológicas-geotécnicas de la unidad (f5) Cercanía a falla mayor y/o zona de cizalle (f6)	35%
Clima-Vegetación	Condición de humedad en la ladera (f7) Presencia vegetación (f8)	10%
Antrópico	Estabilización/Desestabilización artificial de laderas(f9)	10%
Antecedentes	Deslizamientos rotacionales declarados (f10)	10%

Del detalle de ponderaciones entregado en el Anexo 1.6, se puede calcular el índice de susceptibilidad a deslizamientos rotacionales mediante la siguiente fórmula:

$$IS_{DRot} = \left( \sum_{i=1}^{10} f_i \right) \cdot f_{11}$$

En este caso si el material es un macizo de regular a buena calidad geotécnica o rocas con dureza R3 o mayor, entonces será incompatible con el mecanismo estudiado y el valor de  $f_{11}$  será 0, anulando el índice de susceptibilidad.

### Evaluación de susceptibilidad a Deslizamientos Superficiales de suelo

Se definen ponderadores para cada factor condicionante de Deslizamientos superficiales en suelo, valores entregados en la Tabla 3.8. Para mayor detalle ver Anexo 1.7.

**Tabla 3.8. Factores máximos considerados en deslizamientos superficiales de suelo, modificado de Muñoz (2013).**

<b>Factor</b>	<b>Descripción</b>	<b>%</b>
Geomorfología	Pendiente promedio de la ladera (f1) Altura máxima de la unidad (f2) Exposición al sol (f3) Forma (f4)	35%
Geología- Geotecnia	Características geológicas-geotécnicas de la unidad (f5) Cercanía a falla mayor y/o zona de cizalle (f6)	25%
Clima- Vegetación	Condición de humedad en la ladera (f7) Presencia vegetación (f8)	20%
Antrópico	Estabilización/Desestabilización artificial de laderas(f9)	10%
Antecedentes	Deslizamientos de suelo declarados (f10)	10%

Así el Índice de susceptibilidad para deslizamientos superficiales en suelo queda definido por la siguiente ecuación:

$$IS_{DSS} = \left( \sum_{i=1}^{10} f_i \right) \cdot f_{11}$$

Si la unidad está solo relacionada a material rocoso, entonces IS será nulo vinculado al valor 0 del factor  $f_{11}$ .

### Evaluación de susceptibilidad para flujos

La evaluación de este mecanismo está orientada a la generación de flujos en unidades de tipo canal de drenaje, considerando que la generación de un posible flujo será a partir de arrastre de material contenido en la unidad, o bien, en caso que la susceptibilidad a deslizamientos de suelos de las unidades inmediatamente superiores sea mayor a 50. Así se pretende cubrir en todos los casos la generación del flujo, sin considerar el alcance que pueda tener. Para este caso, se requiere seguir un orden en el análisis, partiendo por los deslizamientos de suelo y siguiendo posteriormente por los flujos.

En la Tabla 3.9 se muestra las ponderaciones máximas utilizadas para cada uno de los factores condicionantes de flujos. El detalle de los rangos utilizados se especifica en el Anexo 1.8.

**Tabla 3.9. Ponderación máxima utilizada para factores condicionantes de flujos, modificado de Muñoz (2013).**

<b>Factor</b>	<b>Descripción</b>	<b>%</b>
Geomorfología	Pendiente del canal de drenaje (f1) Encajamiento del canal de drenaje (f2)	35%
Geología-Geotecnia	Características geológicas-geotécnicas de la unidad (f3) Condición de humedad y saturación en la ladera (f4) Cercanía a falla mayor y/o zona de cizalle (f5)	30%
Vegetación	Características y rol de la vegetación (f6)	10%
Antrópico	Presencia de escombros u obstrucción del canal en forma artificial(f7)	10%
Antecedentes	Aluviones declarados en la cuenca hidrográfica (f8)	15%

Luego, la ecuación que define el valor del índice de susceptibilidad  $d$  para deslizamientos en suelo, será:

$$IS_F = \left( \sum_{i=1}^8 f_i \right) \cdot f_9$$

Siendo 1 el valor de  $f_9$  cuando el material de la unidad es compatible con mecanismos tipo flujo, o bien, cuando el material no es compatible pero las unidades inmediatamente aledañas pudiesen aportar material mediante deslizamientos de suelo.

### Evaluación de susceptibilidad a Caídas de roca

La Tabla 3.10 muestra los valores ponderadores para cada factor condicionante a considerar, más detalle se presenta en la tabla de desglose de los factores condicionantes de caídas de roca (ver Anexo 1.9).

**Tabla 3.10. Ponderación máxima de factores condicionantes de caída de roca, modificada de Muñoz (2013).**

<b>Factor</b>	<b>Descripción</b>	<b>%</b>
Geomorfología	Pendiente promedio de laderas (f1)	35%
	Altura máxima de la ladera (f2)	
	Forma (f3)	
Geología-Geotecnia	Características geológicas-geotécnicas de la unidad (f4)	20%
	Cercanía a falla mayor y/o zona de cizalle (f5)	
Antrópico	Desestabilización artificial de laderas(f6)	25%
Antecedentes	Caídas de roca declaradas en la unidad (f7)	10%
Clima y Vegetación	Condición de humedad en la ladera (f8)	10%
	Características y rol de la vegetación (f9)	

Así, el valor para IS será el resultado de la siguiente ecuación:

$$IS_C = \left( \sum_{i=1}^9 f_i \right) \cdot f_{10}$$

Toda unidad asociada sólo a suelo, entregara un IS=0 dado que  $f_{10}$  será nulo.

## **4 Evaluación de la susceptibilidad de remociones en masa en la quebrada de Los Chanchos, Región Metropolitana**

### **4.1 Introducción y alcances**

En este capítulo se realiza la evaluación de susceptibilidad de remociones en masa para la quebrada de Los Chanchos. En primer lugar se presenta la metodología utilizada en este estudio; luego la zona de estudio con una descripción de la geología y geomorfología regional y local; siguiendo con una descripción en detalle de la vegetación presente en el área de estudio, además del clima y sismicidad que constituyen potenciales factores gatillantes de fenómenos de remociones en masa; y por último la intervención antrópica a la que ha sido sometida la zona.

Para finalizar este capítulo, se lleva a cabo la evaluación de susceptibilidad de remociones en masa en la quebrada de Los Chanchos según las metodologías previamente presentadas para distintas escalas, para finalmente presentar los resultados mediante mapas de susceptibilidad para cada uno de los fenómenos de remociones en masa estudiados.

La metodología utilizada consta de trabajo en terreno para caracterizar el área de estudio, y trabajo de gabinete para la evaluación de susceptibilidad de remociones en masa a escalas 1:20.000 (Lara, 2007) y 1:5.000 (Muñoz, 2013).

A continuación se detalla cada etapa de trabajo:

#### Trabajo de gabinete pre-terreno

Esta etapa consiste en la recopilación y revisión de material bibliográfico de la zona de estudio, con información de la geología, geomorfología, características geotécnicas, actividad antrópica y antecedentes históricos de la zona de estudio. Se definen los límites del área de estudio, se preparan las vías de acceso e imágenes del área para la campaña de terreno y se organiza de los trabajos a realizar a futuro.

En esta etapa se lleva a cabo la selección de las zonas urbanas a estudiar, y se unificó con los límites de la hoya hidrográfica antes determinada. Mediante la utilización del software ArcGis 10 se generan modelos de elevación digital (DEM) para la zona, mapas de aspecto y mapas de pendientes, utilizados en la caracterización del relieve.



## Trabajo en terreno

En esta etapa se busca hacer un reconocimiento de la zona de estudio, en el área urbana y natural. También se preparan los permisos con las personas responsables de las obras en construcción en el área de estudio para el acceso a las zonas restringidas.

La campaña de terrenos incluye 5 visitas a la zona de estudio, en las que se realizó una caracterización geológico-geotécnica de los afloramientos de roca y de los suelos en la hoya hidrográfica y en la zona urbana. La caracterización de la roca consistió en identificación de litología, resistencia y grado de meteorización, entre otros parámetros. En el caso de los suelos se realizó una inspección visual, caracterización de la plasticidad, color, granulometría e identificación del grado de vegetación. Además se añadieron observaciones de la hidrología del lugar y condiciones antrópicas existentes.

Para la caracterización de los taludes urbanos existentes en la zona a estudiar se hace un recorrido de detalle caracterizando geológica y geotécnicamente todos los cortes de ladera observados, con énfasis en aquellos rasgos que puedan indicar generación de evento de remoción en masa en el pasado, sin importar la superficie que estos puedan abarcar. Se describe las alturas de taludes, pendientes, presencia de estructuras de contención, presencia de vegetación y las condiciones de humedad presentes, entre otros.

## Trabajo de gabinete post-terreno

En esta etapa, se realizó la evaluación de susceptibilidad de remociones en masa mediante las metodologías de Lara (2007) y Muñoz (2013). Dadas las características del área, los tipos de remociones en masa a evaluar corresponden a flujos de detritos, deslizamientos de suelo y caídas de rocas. Para esto se divide el área de estudio en unidades geomorfológicas, definidas por características geológicas y geomorfológicas similares, utilizando el software ArGis 10. La escala de trabajo corresponde a las utilizadas en ambas metodologías: 1:5000 (Muñoz, 2013) y 1:20.000 (Lara, 2007).

Una vez definidas las unidades para el área estudio, se aplican las tablas de cálculo de índice de susceptibilidad de Lara (2007) y Muñoz (2013) para los fenómenos de remociones en masa de tipo deslizamientos de suelo, flujos y caídas de roca (Tablas 4.2 a 4.7).

## **4.2 Marco geológico y geomorfológico regional**

A continuación se exponen las unidades geológicas del área de estudio en un contexto regional y la geomorfología general del área central de Chile.

### **4.2.1 Marco geológico**

El área de estudio se enmarca dentro del cuadrante sur-oriental de la Hoja Geológica de Til-Til-Santiago (Wall et al., 1999), bibliografía desde la cual ha sido extraída la información presentada a continuación. Como muestra la Figura 4.1, el marco geológico regional incluye rocas de la Formación Abanico, unidades de Intrusivos Hipabisales, depósitos de remociones en masa, depósitos coluviales y fluviales antiguos, además de depósitos aluviales y aluviales de piedemonte.

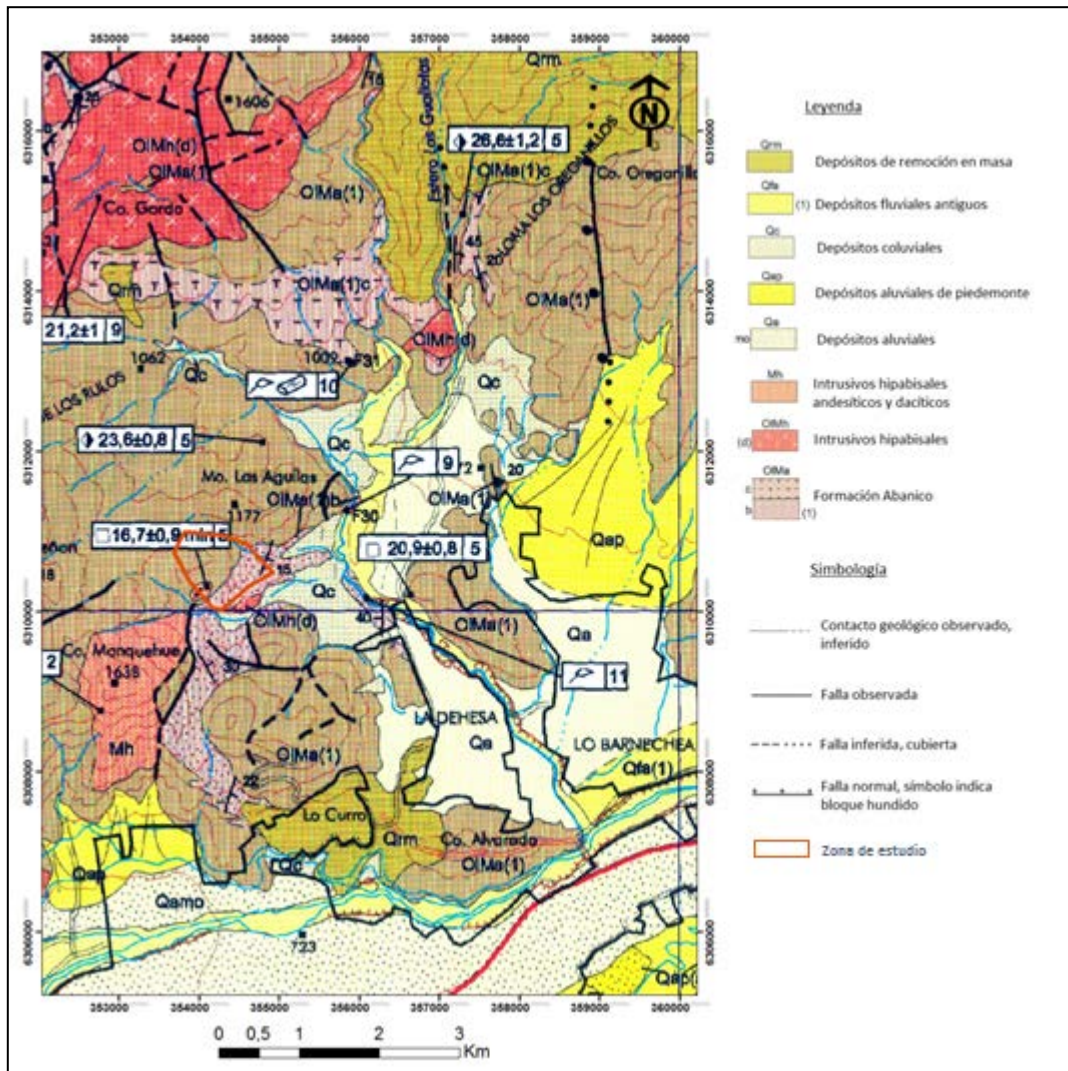
En Wall et al. (1999) se describen las siguientes unidades:

#### **Qrm depósitos de remoción en masa (Pleistoceno-Holoceno)**

Depósitos originados por flujos de detritos, flujos de barro, deslizamientos, desprendimiento de bloques, reptación y hundimiento. En la zona, afloran en la loma Los Rulos. Dentro de este conjunto se incluyen los depósitos del portezuelo Lo Curro, sedimentos que incorporan bloques de hasta 10 m de diámetro y que, probablemente, representen depósitos de colapso gravitacional originados por deslizamiento de la ladera oriental del cerro Manquehue.

#### **Qfa Depósitos fluviales antiguos (Pleistoceno-Holoceno)**

Sedimentos no consolidados, asociados a cursos fluviales abandonados, constituidos por ripios, gravas, gravas arenosas clasto-soportadas, arenas y limos. En la zona se incluye depósitos fluviales aterrizados, ubicados entre 3 y 20 metros sobre el curso fluvial actual y que presentan una cobertura de suelo bien desarrollada.



**Figura 4.1. Marco geológico regional, zona de estudio en contorno rojo, extracto de Wall et al. 1999.**

### **Qc Depósitos coluviales (Pleistoceno Superior-Holoceno)**

Sedimentos no consolidados, ubicados en las faldas y al pie de los cerros, a la salida de quebradas y en pequeños valles intermontanos. Formados, principalmente, por clastos y bloques, mal seleccionados (escombros de falda). Constituyen mantos adosados a los cerros con pendientes de 4° a más de 10°, y presentan estratificación grosera paralela a las laderas.

### **Qap Depósitos aluviales de piedemonte (Pleistoceno Superior-Holoceno)**

Sedimentos no consolidados, ubicados en la desembocadura de quebradas mayores. Se encuentran, principalmente, en el borde precordillerano al oriente de Santiago, y forman abanicos aluviales, con pendientes de 3° a 6°. Están constituidos por una alternancia de depósitos de remoción en masa (flujos de detritos), con depósitos fluviales y mantos de crecida, que se interdigitan, y en parte, progradan sobre los depósitos aluviales (Qa) de los ríos Maipo y Mapocho.

### **Qa Depósitos aluviales (Pleistoceno Medio-Pleistoceno Superior)**

Sedimentos o consolidados, que rellenan gran parte de las cuencas de Santiago. Forman parte de extensos abanicos aluviales coalescentes con suave pendiente hacia el oeste, provenientes de las hoyas hidrográficas principales. Hacia sus cabeceras, estos depósitos de interdigitan con depósitos coluviales (Qc) y aluviales de piedemonte (Qap). Están formados por gravas y arenas, con sedimentos finos en menor proporción. Antecedentes gravimétricos señalan espesores medios de 400-480 m en el sector norte del valle de Santiago (Kausel, 1959; Dragisevic, 1982 en Wall et al., 1999). Se reconocen cinco sistemas aluviales, asociados al drenaje mayor, el río Maipo. Entre estos se encuentran los depósitos aluviales del río Mapocho (Qamo) donde se han identificado restos óseos de mamíferos pleistocenos.

### **Mh Intrusivos hipabisales andesíticos y dacíticos (20-19 Ma)**

'Stocks' y diques andesíticos y dacíticos de anfíbola (57-72% SiO<sub>2</sub>) de hasta 4 km<sup>2</sup> de superficie, que intruyen en varias localidades, a la Formación Abanico, específicamente al Cerro Manquehue en la zona. Los 'stocks' del Cerro Manquehue presentan enclaves máficos microgranulares de anfíbola y plagioclasa. La química de estos intrusivos describe un patrón de diferenciación calcoalcalino de bajo a medio potasio, y son muy características sus elevadas razones La/Yb (8-27), anomalías de Eu positivas, altos contenidos de Sr (600 ppm) y bajos contenidos de Y (<10 ppm) y Sc (<12 ppm). Tales características son compatibles con su derivación de una fuente con granate como mineral residual estable. Según Sellés (1999) ésta correspondería a corteza oceánica en facies de anfibolita a eclogita.

### **OlMh Intrusivos hipabisales (39-19 Ma)**

'Stocks', filones manto, cuellos volcánicos y diques, cuya composición varía desde gabros a andesitas de piroxeno, forman cuerpos de tamaño inferior a 8 km<sup>2</sup> y afloran, preferentemente, en el sector centro-oriental de Santiago. Dentro de este grupo se incluyen, ente otros, andesitas de edad miocena-inferior (d), intruyendo a la Formación Abanico.

### **OlMa Formación Abanico (Eoceno superior?-Mioceno Inferior)**

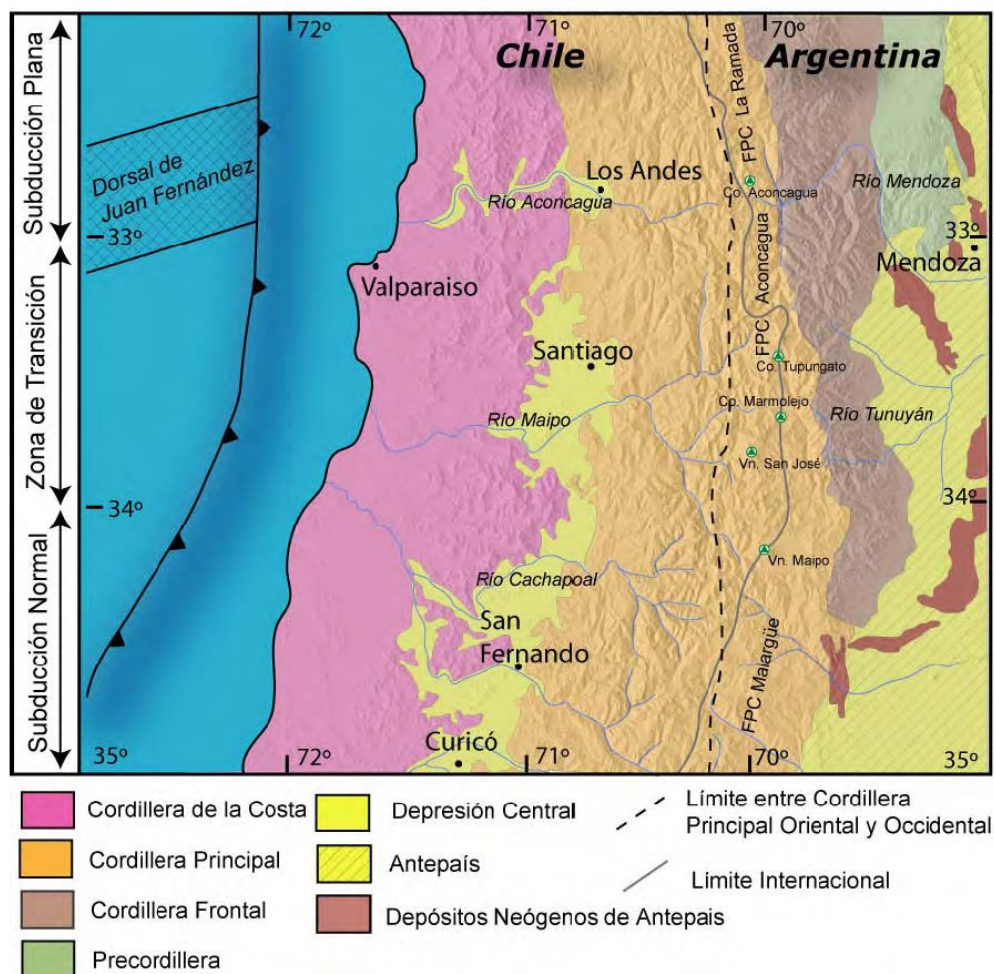
Secuencia, principalmente, volcánica andesítica a basáltica, con intercalaciones piroclásticas sedimentarias continentales, con espesor expuesto de ca. 2000 m. Aflora en el sector oriental de Santiago, dispuesto concordantemente sobre la Formación Lo Valle, al norte de Colina. Su techo no está expuesto y está intruida por 'stocks' y diques datados entre 34 y 19 Ma.

En la zona se distingue su nivel inferior (1), correspondiente a lavas de composición andesítica a basáltica, con intercalaciones de tobas brechosas, tobas soldadas y rocas sedimentarias continentales, de hasta 1800 m de espesor.

Según Wall et al. (1999), los afloramientos de la Formación Abanico en el sector de La Dehesa corresponden a rocas asignadas a una intercalación sedimentaria de 200 m de espesor de esta formación, formada por limolitas y areniscas tobáceas, conglomerados fluviales y tobas de depositación subacuática, que corresponden al nivel inferior de la formación.

## 4.2.2 Marco geomorfológico

La zona central de Chile presenta tres unidades geomorfológicas emplazadas de oeste a este y con dirección norte-sur: Cordillera de la Costa, Depresión Intermedia y Cordillera Principal o de Los Andes (Figura 4.2).



**Figura 4.2. Principales morfoestructuras de la segmentación andina entre los 33° y 35° Sur, extraída de Fock (2005).**

La Cordillera de la Costa alcanza alturas del orden de los 2000 *m s.n.m* y tiene una topografía suave en comparación con la Cordillera Principal debido a que es más antigua. Su zona más occidental está compuesta por granitoides del Paleozoico Superior y Jurásicos en su zona central, mientras que el sector más oriental se forma de intrusivos Cretácicos y Formaciones volcano-sedimentarias Jurásicas y Cretácicas. Además su relleno Cuaternario es principalmente de origen fluvial y coluvial, y su sector costero presenta terrazas de abrasión y depósitos de remoción en masa (Fock, 2005).

La Depresión Intermedia, en la zona central de Chile limitada al norte por el Cordón de Chacabuco y al sur por los cerros de Paine, aunque interrumpida por la

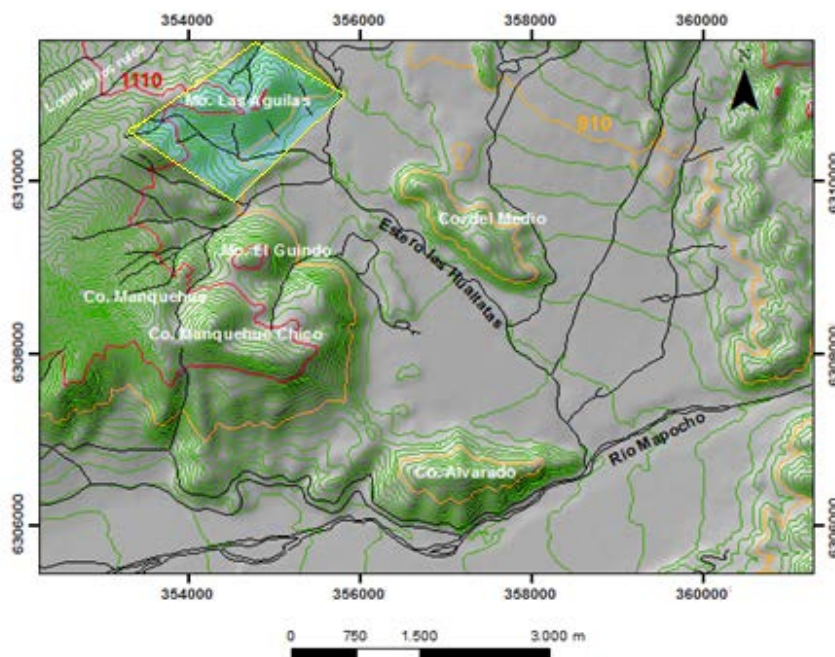
presencia de cerros isla presenta una suave topografía debido a que la cuenca se encuentra rellena por depósitos Cuaternarios de origen coluvial, aluvial y fluvial que según Araneda et al (2000), pueden alcanzar hasta 500 m. de espesor, principalmente en el borde del sector oriental de Santiago, límite con el frente cordillerano.

La Cordillera principal o Cordillera de los Andes, alcanza alturas por sobre los 6000 *m s.n.m.*, se caracteriza por un relieve joven con cotas que decrecen al oeste y es la unidad de origen de la mayoría del material que rellena la depresión intermedia y que ha sido transportado por los ríos Mapocho y Maipo. Los depósitos cuaternarios presentes en la Cordillera principal son de origen fluvial, coluvial o de remociones en masa (Fock, 2005).

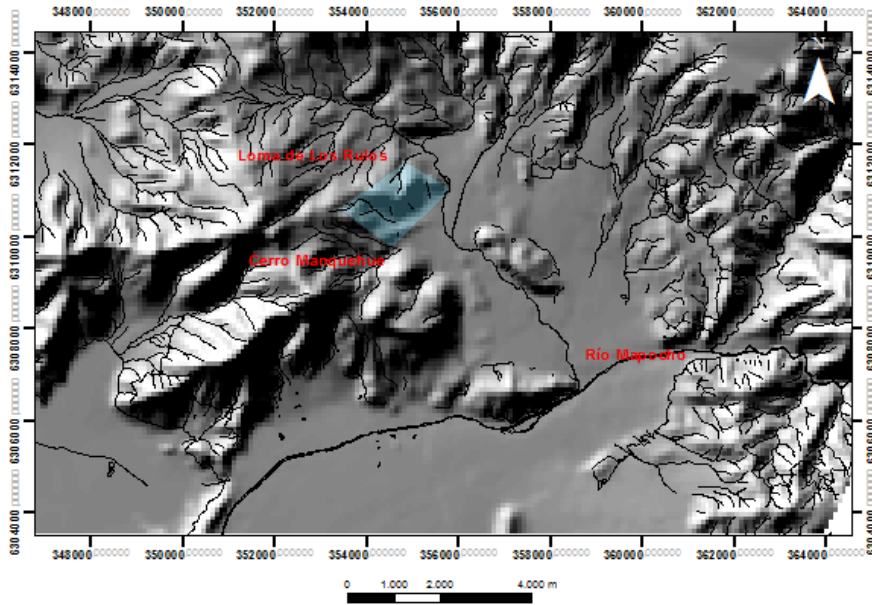
### 4.3 Descripción del área de estudio

#### 4.3.1 Geomorfología

El área de estudio está ubicada en el sector nororiente de la ciudad de Santiago, precisamente en los faldeos de la Precordillera, al este del Cerro Manquehue, al norte del Río Mapocho y al sur de la Loma Los Rulos. Corresponde a la hoya hidrográfica de la quebrada Los Chanchos, tal como se muestra en las Figuras 4.3 y 4.4.

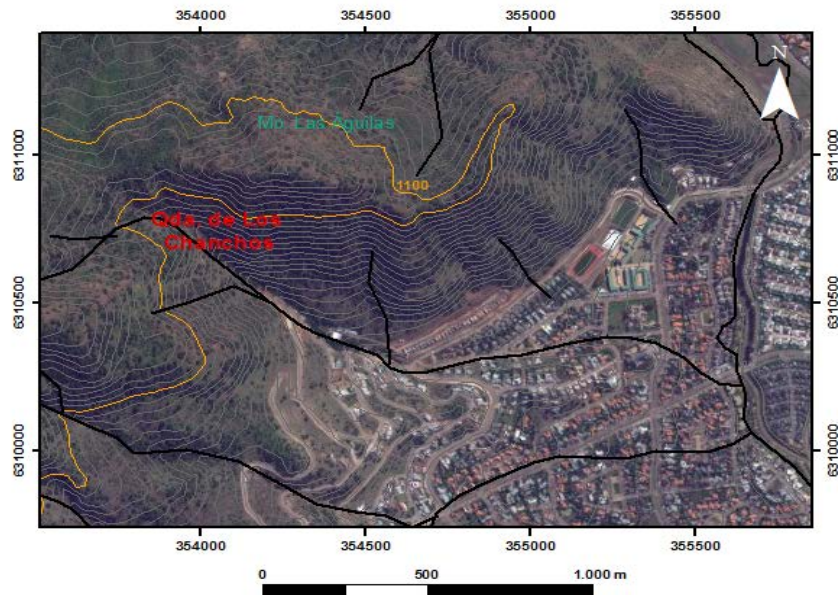


**Figura 4.3. Zona de estudio demarcada en celeste y sus alrededores, se muestran los principales elementos topográficos. Curvas de nivel cada 20 m. Fuente: base topográfica GORE. Imagen modificada en ArcGIS 10.**



**Figura 4.4. Modelo digital de terreno, en recuadro celeste se indica el área de estudio. Sistema de coordenadas UTM WGS-84 (zona 19S).**

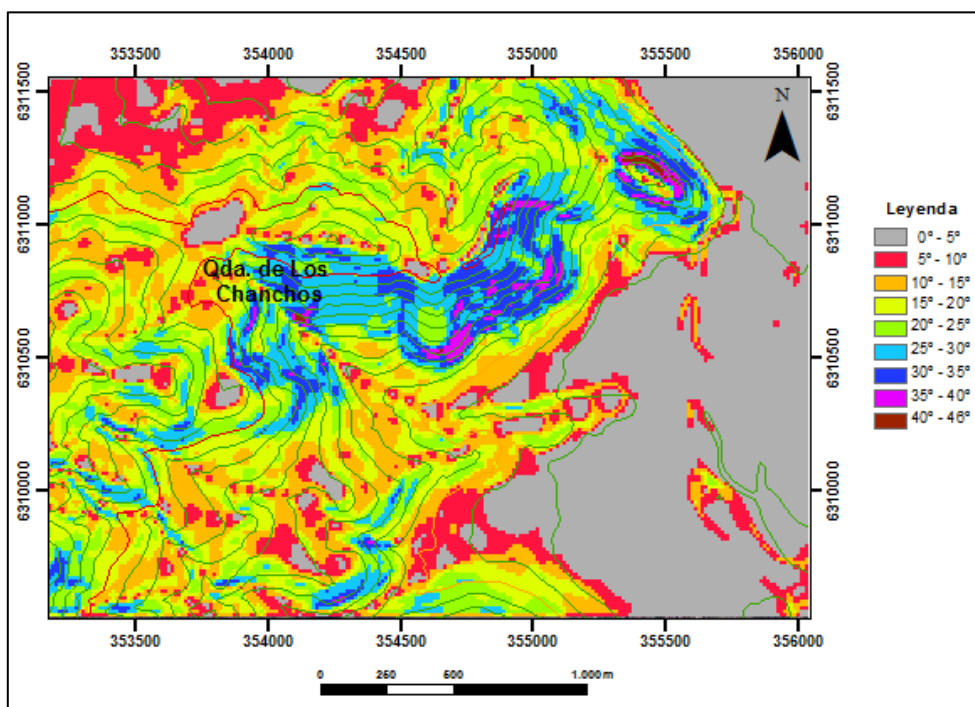
La hoya hidrográfica que comprende a la quebrada Los Chanchos, tiene una extensión de aproximadamente 2 km<sup>2</sup>, limitada al norte por la Loma de los Rulos (1260 *m s.n.m*) y el Monte Las Águilas (1170 *m s.n.m*), al oeste por el Cerro El Peñon (1550 *m s.n.m*) y por el Cerro Manquehue (1630 *m s.n.m*), y el Monte El Guindo (1150 *m s.n.m*) por el sur (Figura 4.3).



**Figura 4.5. Mapa topográfico de la hoya hidrográfica de la quebrada de Los Chanchos, curvas de nivel cada 10 m. Se indican los principales afluentes. Fuente: base topográfica GORE.**

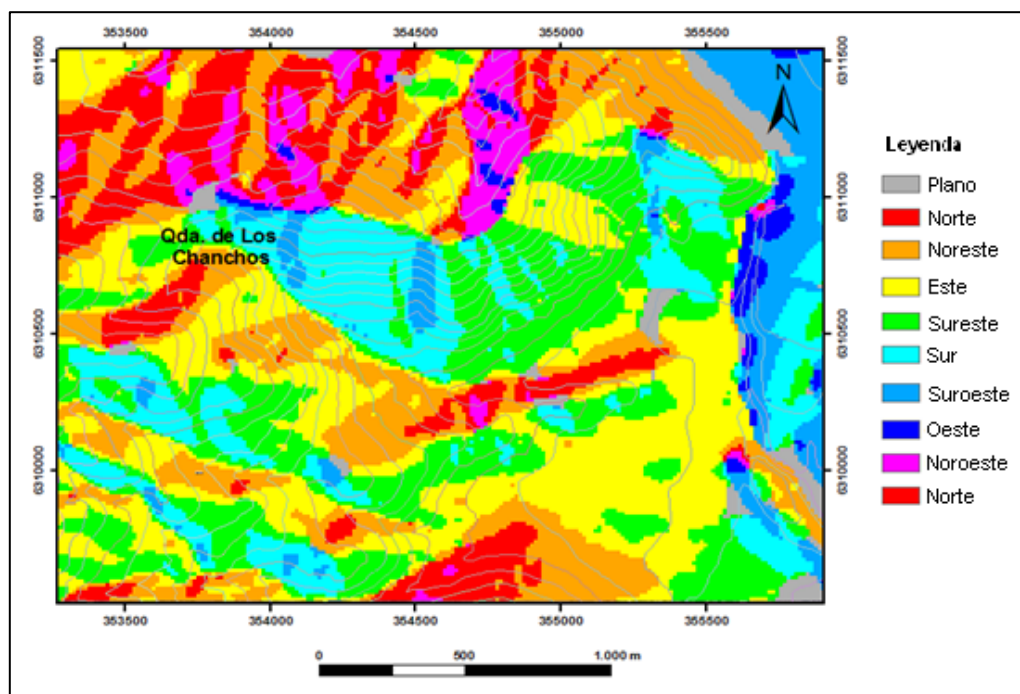


La quebrada de Los Chanchos desciende en sentido noroeste-sureste. Dentro de la zona de estudio la topografía es más bien suave, las alturas varían entre los 860 y los 1210 *m s.n.m* (Figura 4.5) y las pendientes oscilan entre los 10° y 46°, existiendo zonas planas en los sectores más altos (cota aproximada de 1100 m) y en el área urbana en la salida de la quebrada, tal como se muestra en la Figura 4.6. Sin embargo este mapa de pendientes no refleja las reales pendientes de los cortes artificiales de ladera observados en terreno, que incluso pueden llegar a los 85° y que han sido consideradas al aplicar la metodología de evaluación de susceptibilidad a escala 1:5.000.



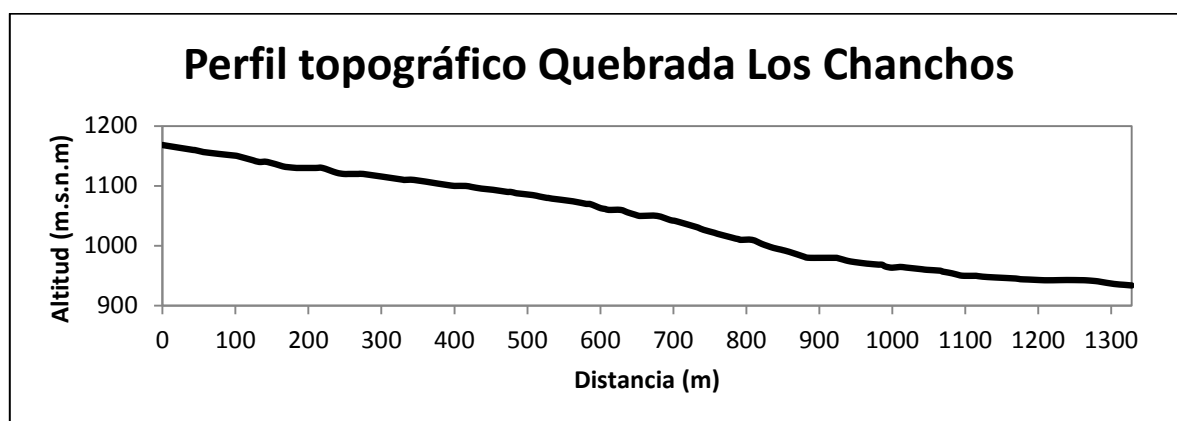
**Figura 4.6. Distribución de pendientes de ladera en zona de estudio. Elaboración propia, software ArcGis 10.**

La orientación mayoritaria de las laderas es de noreste a este y de sur a suroeste, mientras que otras caen hacia el norte y noroeste, y una minoría hacia el oeste (Figura 4.7). Este es un factor que influye en la cantidad de vegetación que puede encontrarse en ella, observándose que las laderas que miran hacia el norte y al oeste tienen menor cantidad de vegetación que el resto. Este efecto es generado porque el sol pasa por el norte y de este a oeste, impidiendo de cierta manera que la tierra conserve una cantidad importante de humedad, condición fundamental para el crecimiento de vegetación.



**Figura 4.7. Distribución de aspecto (orientación de ladera) en la zona de estudio.**

El escurrimiento de la quebrada Los Chanchos y sus afluentes es de tipo esporádico, siendo éste afectado por las lluvias que generalmente aumentan su frecuencia en época de invierno. Tal como se muestra en su perfil topográfico de la Figura 4.8, la longitud del cauce de la quebrada principal es de aproximadamente 1,3 km, y su pendiente promedio es de  $12^\circ$ . Los afluentes de la quebrada confluyen entre las cotas  $1085 \text{ m s.n.m}$  y  $930 \text{ m s.n.m}$  en la quebrada Los Chanchos, que a su vez desemboca en el estero Las Hualtatas, llegando finalmente al Río Mapocho.



**Figura 4.8. Perfil topográfico de la quebrada de Los Chanchos. La figura muestra los cambios de pendiente a lo largo de ella, datos obtenidos de la base de datos topográficos GORE.**

### 4.3.2 Geología del área de estudio

En el área de estudio se reconocen rocas estratificadas volcánicas y sedimentarias asignadas a la Formación Abanico descrita por Wall et al. (1999), una unidad de depósitos de remociones en masa antiguas y unidades de depósitos recientes entre los que se cuentan los depósitos coluviales y aluviales; una unidad de suelo superficial; además de depósitos de deslizamientos superficiales de suelo y una unidades de relleno antrópico (Figura 4.14).

A continuación se describen las unidades geológicas definidas para la zona de estudio.

#### Unidades de roca

##### -Unidad de rocas volcánicas y sedimentarias estratificadas

En la zona de estudio se reconoce, hacia el este de la quebrada de Los Chanchos una secuencia estratificada de brechas volcánicas de disposición subhorizontal y areniscas rojizas con manteos  $10^{\circ}W$  y rumbo  $N40^{\circ}E$  (Figura 4.9), estas rocas han sido asignadas a la Formación Abanico descrita por Wall et al. (1999). Corresponden a rocas de alta resistencia en estado fresco, pero muy fracturadas, con estructuras abiertas (Figura 4.10) generando bloques de variados tamaños. Hacia el oeste de la zona de estudio las unidades de roca son mayoritariamente andesíticas (Figura 4.11) y se encuentran, en general, muy meteorizadas. Se reconocen pocos afloramientos y es posible observarlas en cortes artificiales de ladera (Figura 4.12). Hay presencia de pliegues menores y la orientación de sus estructuras no es posible de inferir debido al alto grado de meteorización presente. Estas rocas son blandas a moderadamente duras, con baja resistencia y valores de RMR que caen en la clase III y IV, de calidad mala y regular respectivamente, con valores mínimos de 20 y 45 máximo, y GSI entre 20 y 30.



**Figura 4.9. Areniscas estratificadas de disposición subhorizontal. asignadas a la Formación Abanico hacia el este de la quebrada de Los Chanchos.**



**Figura 4.10. Estructuras abiertas en brechas de la secuencia estratificada en la Formación Abanico.**



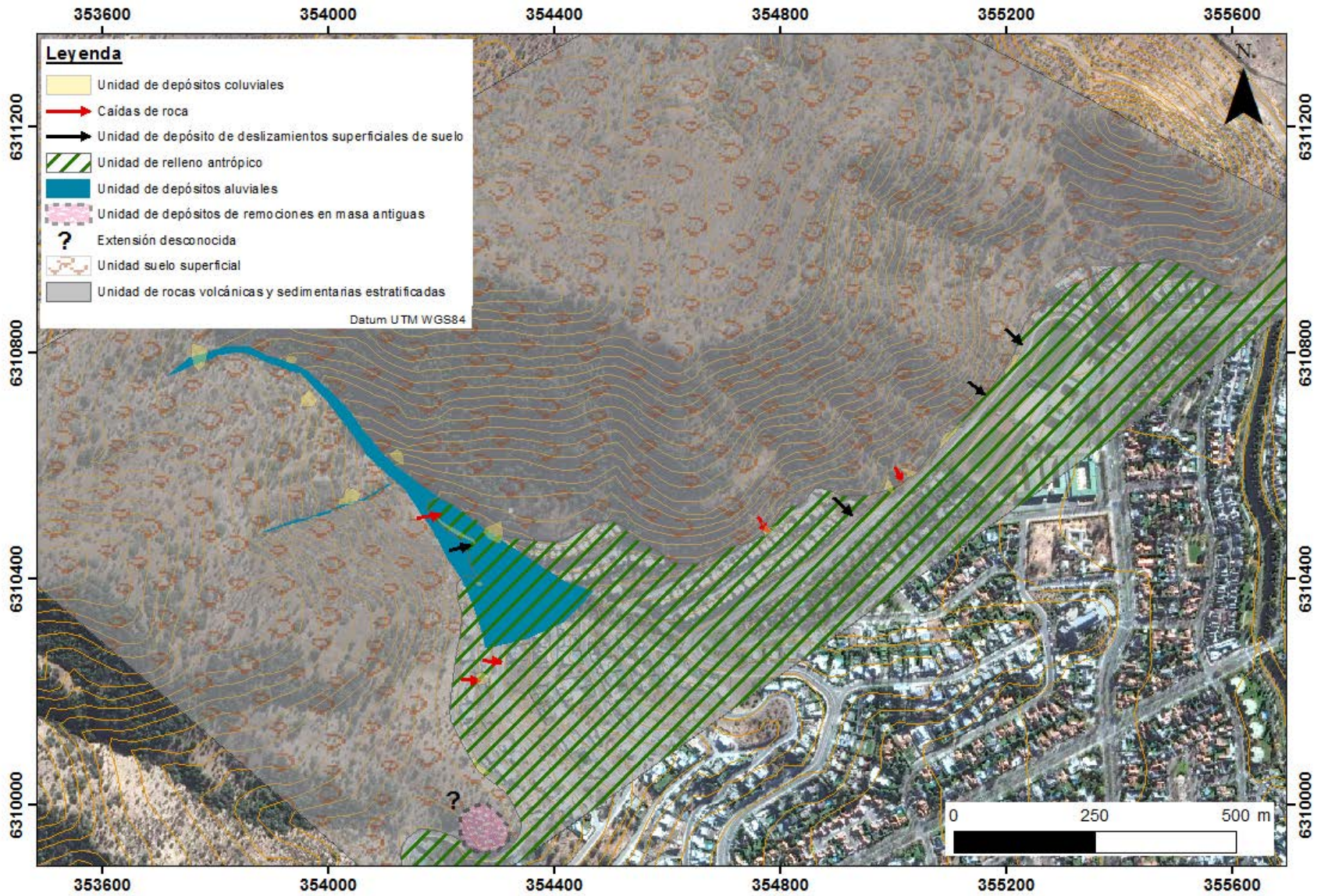
**Figura 4.11. Afloramiento hacia el oeste de la quebrada de Los Chanchos.**



**Figura 4.12. Talud a los pies de la quebrada de los Chanchos, se observa roca muy meteorizada y pliegues locales.**



**Figura 4.13. Roca con meteorización esferoidal observada en el corte de un talud artificial a los pies de la ladera contigua a la quebrada.**



## Unidades de suelo

### -Unidad de suelo superficial

Esta unidad ha sido reconocida en toda el área de estudio y presenta espesores de en 0,5 m y 1 m.

A medida que se asciende por la ladera oeste de la quebrada de Los Chanchos, existe una transición de arcillas de plasticidad media a alta, color café oscuro, gradación media y compacidad media a alta, a arcillas de menor plasticidad y compacidad, de color más claro y mejor gradación. Luego se evidencia una disminución del tamaño de grano y se presentan limos de plasticidad y compacidad alta de color café medio a oscuro, para luego pasar a limos de muy baja plasticidad de color café claro y compacidad muy alta. Más hacia la cumbre se presentan arcillas limosas de plasticidad media a baja, de color muy claro y compacidad muy alta, en la Figura 4.15 se indica los puntos de observación de unidades de suelo en terreno, en Figura 4.16, las muestras utilizadas para ensayos de plasticidad por parada, y en Anexo 2.1 se presenta un resumen de sus principales características.

Hacia el este de la quebrada de Los Chanchos el acceso se ve limitado por pertenecer a un área privada, pero a grandes rasgos se reconoce una cubierta de suelo correspondiente a una unidad matriz-soportada de escombros de falda depositada en las laderas de los cerros. Está formada por bloques angulosos de rocas pertenecientes a la secuencia estratificada antes descrita, de tamaños variables, en general 5-30 cm hasta 1-2 metros, inmersos en una matriz arcillosa, de color pardo, muy plástica. Esta unidad de suelo presenta evidencias de reptación a lo largo de toda su extensión. En esta unidad es donde se reconocen los mayores eventos de remociones en masa en la zona de estudio.



**Figura 4.15. Puntos de observación unidad de suelo superficial hacia el este de la quebrada**



**Figura 4.16. Depósitos de suelo superficial observados en terreno.**

Dado el carácter plástico que presentan los suelos antes descritos, podrían tener gran capacidad de almacenaje de agua, y con ello las condiciones de humedad y saturación del área de estudio serían favorables a la generación de remociones en masa.

### **-Depósitos aluviales**

Depósitos de gravas y arenas con matriz limo-arcillosa, con clastos sub-redondeados de tamaños variados de hasta 4 metros como se observa en la Figura 4.17. Se encuentran principalmente a lo largo de la quebrada principal y presentan compacidad media a alta.



**Figura 4.17. Depósitos aluviales en la quebrada de Los Chanchos.**



## **-Depósitos coluviales**

Se encuentran a lo largo de toda la zona de estudio en los faldeos de las laderas que la componen. Generalmente corresponde a material fino proveniente de la cubierta de suelo de las laderas, tamaño arena media a gruesa, color pardo, compacidad media a baja y los finos con plasticidad media a alta. En ocasiones presentan algunos bloques de tamaños mayores con diámetros comunes de 10 a 15 cm, y otros en menor cantidad que incluso sobrepasan los 30 cm, que generan mecanismos de caídas de roca, estos depósitos se observan en las Figuras 4.18, 4.19 y 4.20.



**Figura 4.18. Depósitos coluviales y de caída de roca en talud artificial a lo largo de la quebrada.**



**Figura 4.19. Bloques de mayor diámetro en depósitos coluviales.**



**Figura 4.20. Depósitos de caída en talud artificial limitando con la zona urbana del área de estudio.**

#### **-Depósitos de deslizamientos superficiales de suelo**

Depósitos de grano fino, con baja compacidad, producto del deslizamiento superficial de suelos en la ladera, con presencia o no de vegetación. Presentan, en general, extensión horizontal de 7 metros y altura promedio de aproximadamente 5 metros. Se ubican puntualmente a lo largo de la zona de estudio. En las Figuras 4.21, 4.22 y 4.23 se observan dos zonas donde se reconocen algunos de sus rasgos característicos, entre los que se encuentra una superficie de falla plana u ondulada y de carácter superficial para un deslizamiento de carácter traslacional, y una superficie de falla cóncava, escarpe principal pronunciado y una contrapendiente de la superficie de la cabecera del deslizamiento hacia el escarpe principal, en el caso de un deslizamiento rotacional (Proyecto Multinacional Andino: Geociencias para las Comunidades Andinas, 2007).



**Figura 4.21. Rasgos de deslizamiento superficial de suelo (roca muy meteorizada) en talud artificial hacia el este de la quebrada de Los Chanchos.**



**Figura 4.22. Rasgos de deslizamiento superficial de suelo en talud artificial hacia el este de la quebrada de Los Chanchos. Se observa una componente rotacional y de reptación.**



**Figura 4.23. Deslizamiento superficial de suelo en el área de estudio.**

#### **-Depósitos de remociones en masa antiguas**

Esta unidad está conformada por clastos de litología variada, de forma subredondeada hasta angulosa, de tamaño variado desde 20 cm y hasta 2 metros de diámetro, con matriz de grano fino (Figura 4.24). Su ubicación se limita a la zona sur del área de estudio, hacia el oeste de la quebrada de Los Chanchos, y se reconoce a lo largo de 300 m de talud pero su extensión a lo largo de la ladera no ha logrado ser definida. Sobreyace a las unidades de roca; en la Figura 4.26 se observa el contacto entre ambas.



**Figura 4.24. Depósito de remoción en masa antigua al oeste de la quebrada de Los Chanchos.**



**Figura 4.25. Bloques pertenecientes al depósito de remociones en masa antiguas.**



**Figura 4.26. Depósito heterogéneo de bloques angulosos, se observa el contacto con la unidad de roca.**

## **-Unidad de relleno antrópico**

Esta unidad corresponde a rellenos artificiales que conforman el material de fundación de las casas y caminos en la zona de estudio y cubre la mayor parte del abanico que corresponde a la quebrada de Los Chanchos. En general se constituyen de arena fina color pardo claro, de gradación y humedad bajas y compacidad media, arena media de color pardo oscuro y gradación buena, humedad alta y baja compacidad, con presencia de gravas de cantos angulares a sub-angulares de tamaños entre 2 y 10", y arena media color pardo oscuro, bien gradada, humedad alta y compacidad baja, con presencia de finos sin plasticidad y gravas aisladas de cantos angulares a sub-angulares, de tamaño máximo 15 cm.

Más en profundidad hay limos y arcillas de alta plasticidad, color café claro, de humedad y compacidad altas, con presencia de gravas aisladas de cantos angulares a sub-angulares, tamaño máximo de 30 cm.

Es importante recalcar que en esta unidad se registran antecedentes de deslizamientos de suelo afectando a zonas habitadas como se muestra en la Figura 4.27.



**Figura 4.27. Fotografía muestra la unidad de suelo de relleno en la fundación de una de las casas construidas en la zona de estudio, se observa rasgos de deslizamiento de suelo.**

### 4.3.3 Vegetación

La zona de estudio se encuentra dentro de la región del matorral y bosque esclerófilo descrita por Gajardo en 1994. Esta región vegetal se desarrolla en un clima mediterráneo con inviernos fríos y lluviosos, y veranos cálidos y secos. En la hoya hidrográfica de la quebrada de Los Chanchos se reconoce la sub-región del Bosque esclerófilo, caracterizada por la dominancia de arbustos altos y árboles, que son producto de la regeneración de especies esclerófilas existentes previo a la intervención antrópica.

Dentro de esta sub-región se encuentran 5 formaciones vegetales, correspondiendo la zona de estudio a la formación bosque esclerófilo de la Precordillera andina, cuya distribución se ve limitada por las altas pendientes de las laderas bajas y medias de la Cordillera de los Andes, con alta influencia de ambientes áridos en verano y fríos en invierno, ya que carecen de la influencia reguladora del océano. Dentro de las especies vegetales hay predominio de la asociación Espino-Colliguay (Figura 4.28), y en menor cobertura la asociación Litre-Quillay (Figura 4.29) (Gajardo, 1994).



**Figura 4.28. Espino en la zona de estudio.**



**Figura 4.29. Litres en la zona de estudio.**

#### **4.3.4 Clima**

El clima de la zona central de Chile es del tipo mediterráneo, caracterizado por una estación cálida y seca en verano, con tormentas estivales aisladas, y una estación fría y lluviosa durante el invierno (Millar, 1976; Fuenzalida, 1982). Dentro de esta clasificación y particularmente para la Región Metropolitana, se distinguen dos subtipos climáticos, uno el clima templado cálido con estación seca prolongada, y el segundo clima templado cálido con estación seca de 4 a 5 meses. El clima de la zona de estudio clasifica dentro del subtipo climático "*Clima templado cálido con estación seca prolongada*" definido por la Dirección Meteorológica de Chile (2005). Este tipo de clima presenta un periodo seco de 7 a 8 meses con precipitaciones que no alcanzan los 40 mm. Las precipitaciones se concentran entre los meses de Mayo y Septiembre, siendo de nieve por sobre los 1500 *m s.n.m.* La humedad alcanza un 70% como promedio anual, mientras que las amplitudes térmicas presentan una diferencia de 13°C entre el mes más cálido, enero con temperatura media de 22° C, y el mes más frío, julio con 7° C promedio, y la diferencia media entre las máximas y mínimas diarias es de 14°C a 16°C.

En Santiago las precipitaciones alcanzan un promedio anual de 330 mm, concentradas entre Mayo y Septiembre (Garreaud y Ruttlant, 1996; Montecinos, 1998). En la zona oriente de Santiago las precipitaciones medias son ligeramente mayores al promedio de la ciudad, y se dan preferentemente entre los meses de Abril y Septiembre,



presentando la estación meteorológica del cerro Calán, al sur de la zona de estudio, un promedio de precipitaciones de 400 mm anual promedio en los últimos 10 años (DGA, 2014).

Los eventos más frecuentes de precipitación en la zona central de Chile tienen una duración entre 1 y 2 días (Garreaud, 1993), lo que equivale en Santiago a más del 80% de todos los eventos de precipitación, acumulando el 50% de la precipitación anual (Montecinos, 1998).

Para la zona precordillerana las precipitaciones aumentan con la altitud, con un gradiente que se ha calculado de 30mm/100m en valor medio anual (Aceituno *et al.*, 1988). La altitud de la línea de nieve en las tormentas de invierno varía típicamente entre los 1500 y 2900 *m s.n.m.*, con un valor medio de 2100 *m s.n.m.* (Garreaud y Ruttlant, 1996) siendo prácticamente nula la caída de nieve en la zona de estudio por alcanzar máximos de 1200 *m s.n.m.*

Por otro lado, la presencia del Fenómeno de El Niño genera una mayor cantidad de precipitaciones, y con esto la zona central de Chile se caracteriza por presentar una gran variación interanual en las precipitaciones invernales y primaverales, con sequías intensas y frecuentes inundaciones durante los años lluviosos (Ruttlant, 2003).

El aumento del número de días con precipitaciones durante los años húmedos, se manifiesta en el incremento del número de tormentas con una intensidad moderada (10 a 20 mm/día) y extremas (sobre los 50 mm/día). En tanto, la frecuencia de las tormentas con una duración superior a 2 días aumenta durante años húmedos (Garreaud, 1993). La ocurrencia de precipitaciones con intensidades mayores a 5 mm/hora es aproximadamente 7 veces superior durante la presencia del Fenómeno del Niño (Garreaud *et al.*, 1995).

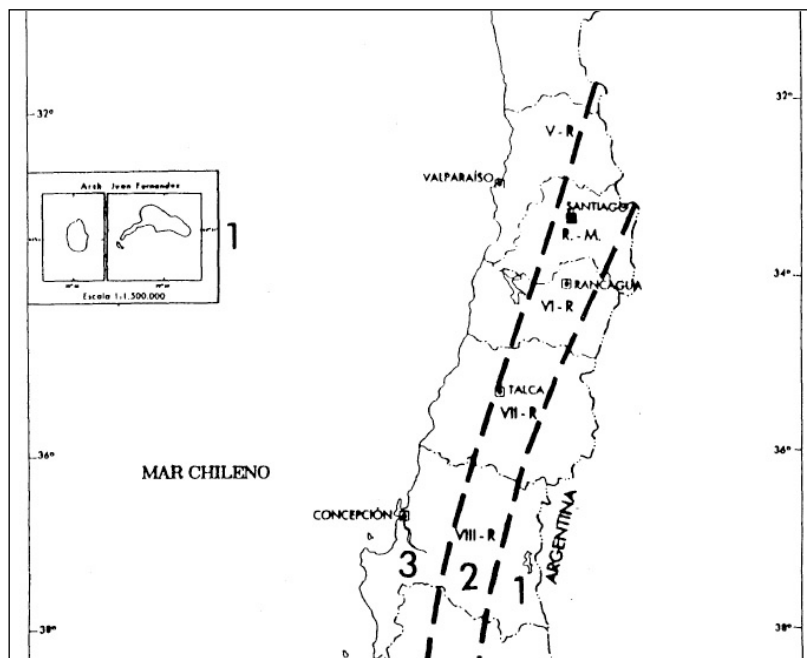
La ocurrencia de eventos de remoción en masa en la zona oriente de Santiago, muestran un claro aumento durante los años que presentan el Fenómeno de El Niño (García, 2000; Sepúlveda *et al.*, 2006).

#### **4.3.5 Sismicidad**

El régimen tectónico en el que se encuentra Chile lo convierte en un país naturalmente sísmico. Es así como en la zona central de Chile se pueden distinguir los siguientes tipos de sismos: interplaca, intraplaca de profundidad intermedia, intraplaca continental o corticales e intraplaca oceánica o outer-rise.

En un contexto global, según la norma NCh 433, Of. 96, la zona de estudio se enmarca dentro de la zona sísmica de subducción definida como zona 2, asociada a aceleraciones sísmicas máximas de 0,2g (Figura 4.30), existiendo un desarrollo de

sismicidad superficial (0 - 20 km de profundidad) en el flanco occidental de la Cordillera de Los Andes de Chile Central entre los 70° S y 71° S de latitud (Barrientos *et al.*, 2004).



**Figura 4.30. Zonas sísmicas para Chile Central (NCh 433, Of.96.).**

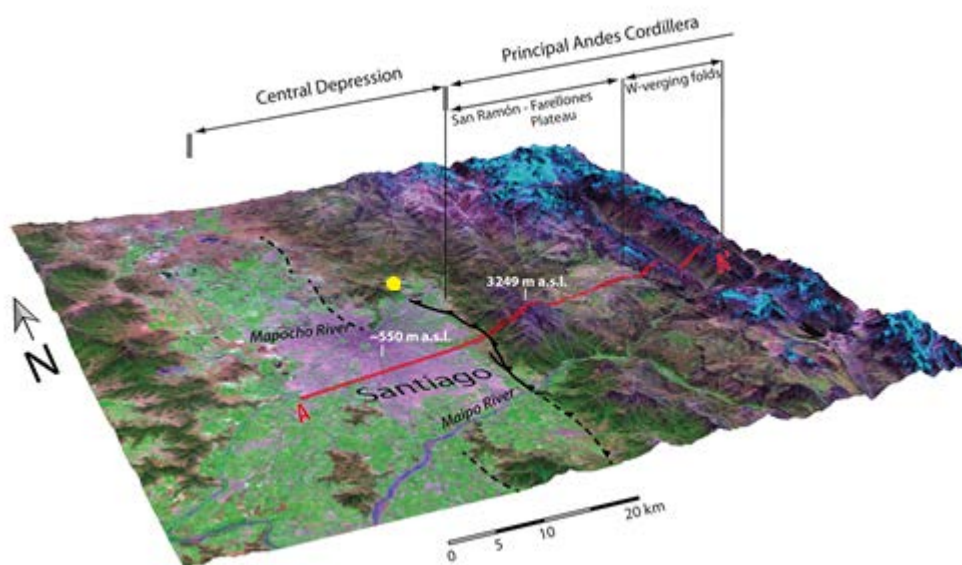
El último gran sismo, con epicentro en la zona central, registrado en la ciudad de Santiago, corresponde al terremoto de marzo de 1985, de magnitud  $M_s = 7.8$ , de tipo interplaca de bajo ángulo, con epicentro a unos 20 km costa afuera entre Valparaíso y Algarrobo, a unos 15 km de profundidad (Comte *et al.*, 1986). Según NEIS (Nacional Earthquake Information Service, USA), las coordenadas del sismo principal fueron  $33.13^\circ$  S,  $71.87^\circ$  W.

A partir de un escenario similar al terremoto de 1985, Fernández (2001) establece las intensidades sísmicas esperadas debido a las condiciones del suelo en el área Til Til – Santiago, específicamente en el relleno sedimentario. De acuerdo a este trabajo la zona de estudio se encuentra en un área de peligrosidad sísmica media asociada a intensidades sísmicas estimadas de 7.0 a 7.5 grados.

El 27 de Febrero del año 2010 se registró en Santiago un terremoto con epicentro en la zona centro-sur del país, que alcanzó una magnitud de 8,8 ( $M_w$ ). Este sismo se originó por la ruptura de la zona de contacto entre la placa de Nazca y la placa Sudamericana en un área que se extiende aproximadamente desde la Península de Arauco por el sur hasta el norte de Pichilemu, cubriendo más de 450 km de longitud en dirección prácticamente norte-sur por un ancho de unos 150 km (Barrientos, 2010). El hipocentro, o lugar donde se inicia la ruptura, se ubicó en las coordenadas geográficas  $36^\circ 17' 23''$  S y  $73^\circ 14' 20''$  W (hipocentro revisado) a una profundidad estimada de 30 km. (Barrientos, 2010).

En la Región Metropolitana, destaca el sismo de Las Melosas, que puede ser considerado como uno de los terremotos superficiales de gran magnitud que ha reportado daños importantes en Chile, con intensidades de hasta IX grados en la escala de Mercalli en la zona cercana al epicentro y una relativamente rápida atenuación al alejarse de éste, con aceleraciones máximas del orden de la aceleración de gravedad (1.0 g) en la misma zona (Sepúlveda *et al.*, 2008). Su magnitud  $M_w$ , originalmente estimada en 6.7-6.9, fue recalculada en 6.3. (Alvarado *et al.*, 2009).

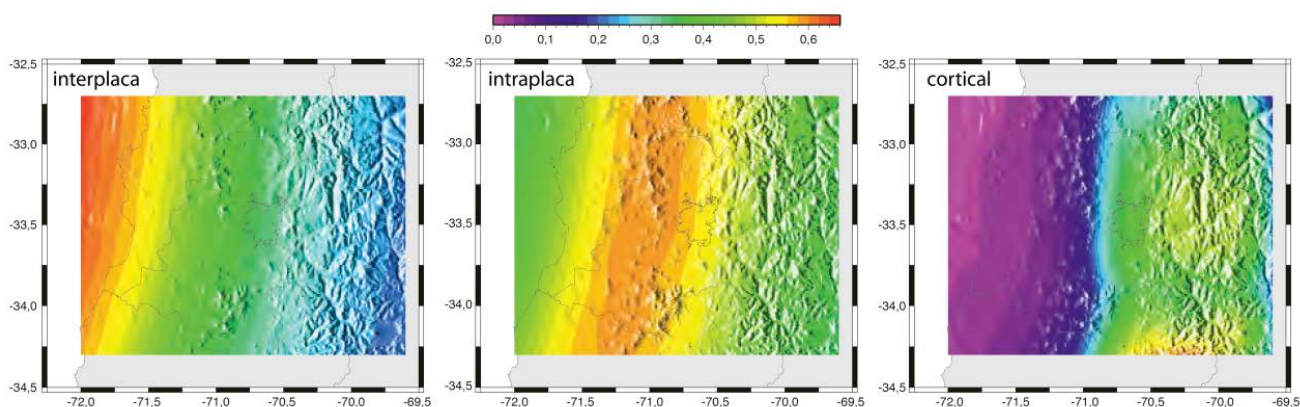
Los terremotos superficiales generan altas intensidades sísmicas que podrían ascender a los 9 grados en escala MSK en la zona epicentral, cuando la magnitud del sismo bordea los 7 grados. La Falla San Ramón al oriente de Santiago, es una falla activa de carácter inverso con rumbo NS variando en ocasiones a NNE-SSW (Rauld, 2002), y podría generar eventos de magnitud  $M_w$  entre los 6,9 y 7,4, dada su geometría en superficie y estructura en profundidad (Leyton *et al.*, 2010 y Armijo *et al.*, 2010 en Muñoz, 2013). En la Figura 4.31 se muestra la ubicación de la zona de estudio con respecto a la Falla San Ramón definida por Armijo *et al.* (2010), según esta la zona de estudio se encontraría aproximadamente a 3 km de la falla, y dada su cercanía, las aceleraciones asociadas a la sismicidad de la Falla San Ramón podrían tener un efecto importante en el área.



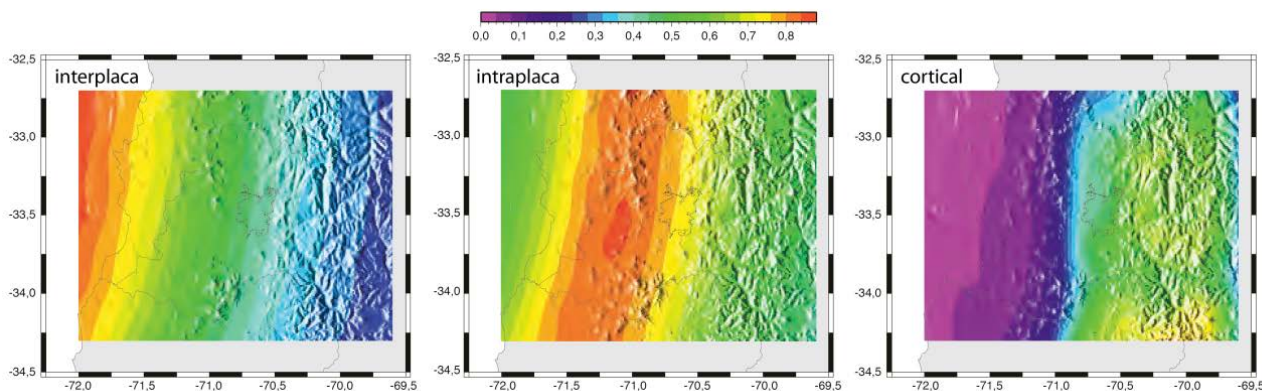
**Figura 4.31. Área metropolitana de Santiago, la imagen muestra las principales componentes de la cordillera de Los Andes y la Falla San Ramón. La línea sólida indica la traza mapeada de la Falla San Ramón, y la línea discontinua indica su traza inferida (Armijo *et al.* (2010) en Pérez *et al.*, 2014), en amarillo la ubicación aproximada de la zona de estudio.**

Métodos probabilísticos utilizados por Leyton et al. (2010), obtienen como resultado valores de aceleración horizontal máxima de 0,55 g para un período de retorno de 475 años, y de 0,72 g para 1950 años, en la zona urbana de Santiago, y ensayos realizados por Pérez et al. (2014), arrojan valores promedio de aceleración horizontal máximos de 0.7-0.8 g para un sismo de magnitud 6.9 (Mw) en la Falla San Ramón.

En Leyton et al. (2010) se señala que “de las Figuras 4.32 y 4.33 es posible verificar que la fuente interplaca es la que modula el peligro sísmico en Chile central, produciendo los mayores valores de la aceleración horizontal máxima en la costa. Pero, tanto la fuente intraplaca de profundidad intermedia como la cortical tienen una gran influencia en la zona de Santiago, lo que redundaría en un aumento de los valores esperados en la zona del valle central y precordillerana de la Región Metropolitana”.

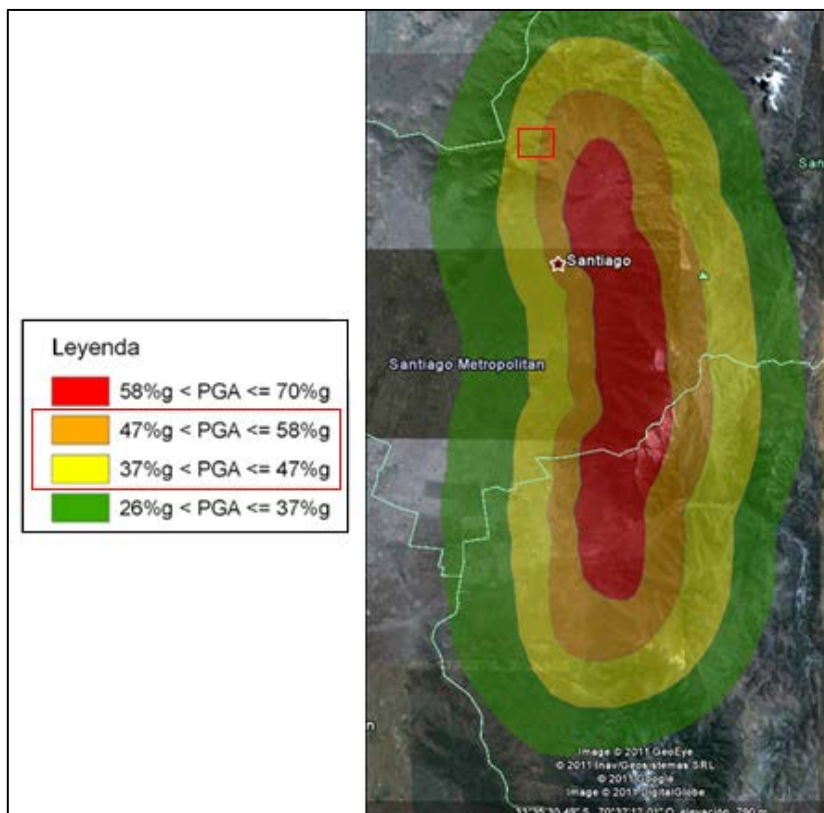


**Figura 4.32 Aceleración horizontal máxima esperada para un sismo de fuente interplaca, intraplaca y cortical, con periodo de retorno de 475 años. La escala de colores de encuentra sobre las imágenes. Modificada de Leyton et al., 2010.**



**Figura 4.33. Aceleración horizontal máxima esperada para un sismo de fuente interplaca, intraplaca y cortical, con periodo de retorno de 1.950 años. La escala de colores de encuentra sobre las imágenes. Modificada de Leyton et al., 2010.**

Mediante una aproximación determinística, y considerando un sismo de magnitud máxima esperada de 7.4 Mw, se ha estimado el peligro asociado a la Falla San Ramón en el área metropolitana. En la Figura 4.34 es posible observar que las aceleraciones horizontales máximas alcanzan valores de entre 37%g y 58%g en el área de estudio, es decir un grado medio-alto de peligro.



**Figura 4.34. Peligro asociado a la Falla San Ramón para un sismo de intensidad máxima esperada de 7.4 Mw según técnicas determinísticas, zona de estudio enmarcada en rojo.**

#### 4.3.6 Intervención antrópica

El área de estudio presenta una gran intervención antrópica en la zona de la base del abanico que forma la quebrada de los chanchos y a lo largo de las laderas. Existen construcciones mayores de casas y edificios, muchos de ellos cuyas bases o cimientos están constituidos de material de relleno.

Se presenta una gran cantidad de cortes artificiales de ladera y pavimentación de las calles aledañas. Algunos taludes incluyen obras de estabilización como sistemas de bancos o muros de hormigón (Figura 4.35), y otros presentan alto grado de desestabilización (Figura 4.36).

A los pies de la quebrada de los chanchos se dispuso una obra contenedora de drenaje proveniente de la misma, y hacia arriba por la quebrada, se ha llevado a cabo la construcción de un camino aún no pavimentado, presentando muchas veces cortes de ladera de alta pendiente, y por lo tanto alta desestabilización artificial.



**Figura 4.35. Muro de hormigón como obra de estabilización en la zona de estudio.**



**Figura 4.36. Corte artificial de ladera con malla de refuerzo, se observa deformación por infiltración de agua proveniente de la construcción por sobre el corte.**

## **4.4 Aplicación de metodologías de susceptibilidad de remociones en masa en el área de estudio**

En el presente capítulo se presentan las unidades geomorfológicas definidas para la evaluación de susceptibilidad de remociones en masa en la quebrada de Los Chanchos y los mapas de índice de susceptibilidad de remociones en masa producto de este estudio.

### **4.4.1 Definición de unidades geomorfológicas**

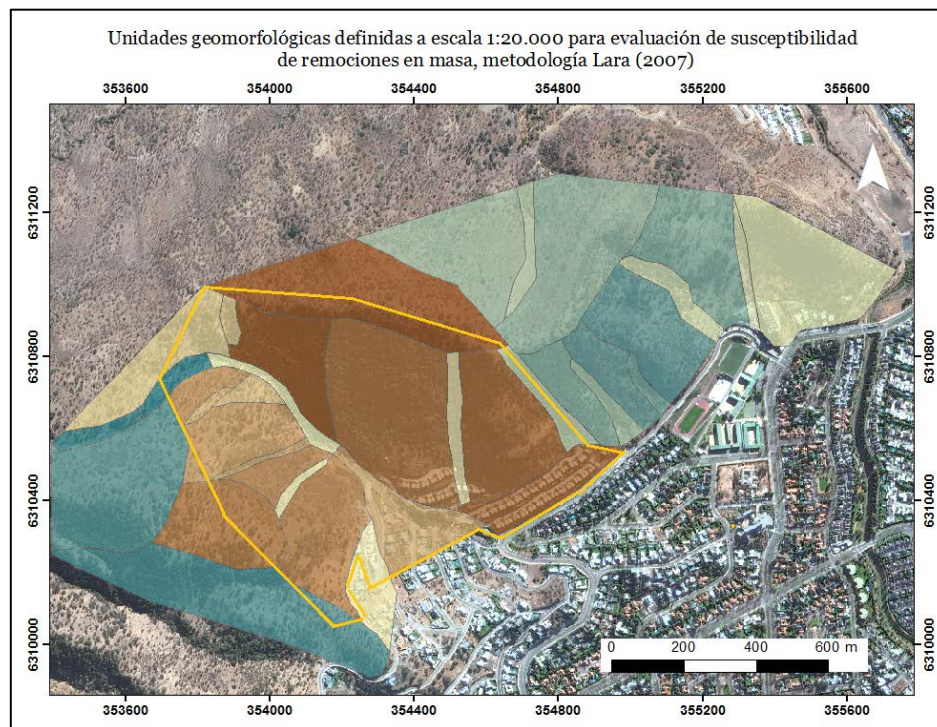
Para aplicar las metodologías de evaluación de susceptibilidad de remociones en masa de Lara (2007) y Muñoz (2013), se busca definir unidades que reúnan características geomorfológicas similares. Estas son creadas utilizando el software ArcGIS 10, basadas en el mapa de pendientes y de aspecto (orientación de laderas), además de las características observadas y mapeadas en terreno.

Así se obtienen 37 unidades a escala 1:20.000, a utilizar en la aplicación de la metodología de Lara (2007), 17 unidades urbanas a escala 1:5.000 para la evaluación a través de la metodología de Muñoz (2013), y 112 unidades a nivel de hoya hidrográfica a la misma escala para las aplicaciones alternativas que se realizan en este trabajo. Estas últimas no representan necesariamente una subdivisión exacta de las unidades definidas a escala 1:20.000.

La superficie total a utilizar a escala 1:5.000 corresponde a la hoya hidrográfica de la quebrada de Los Chanchos, en cambio para la escala 1:20.000 se utiliza un área un tanto mayor con el objetivo de validar la metodología de Lara (2007).

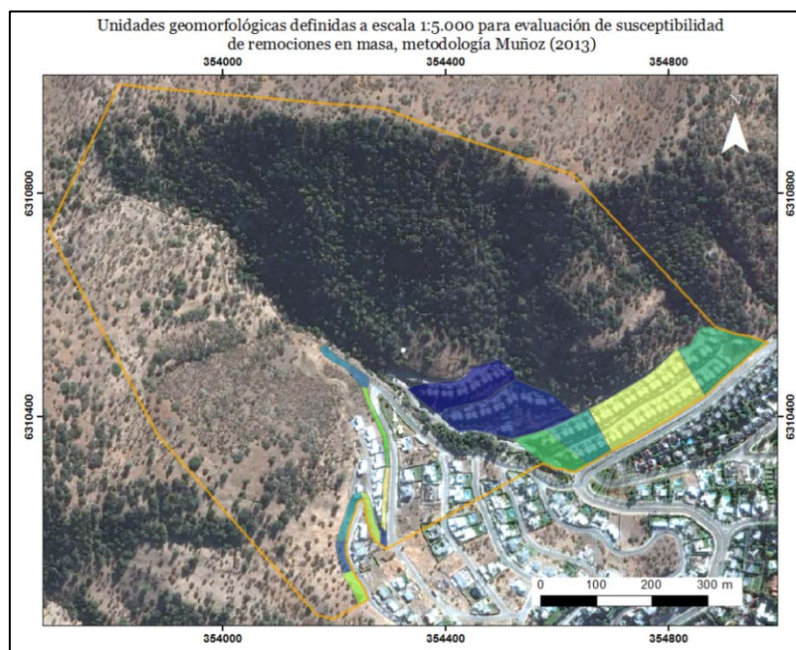
A continuación, en las Figuras 4.37, 4.38 y 4.39, se presentan las unidades definidas a ambas escalas.

**-Unidades definidas a escala 1:20.000**



**Figura 4.37. Unidades geomorfológicas definidas a escala 1:20.000 para aplicación de metodología Lara (2007). La superficie abarcada por las unidades a escala 1:5.000 se demarca en amarillo y corresponde a la hoya hidrográfica de la quebrada de Los Chanchos.**

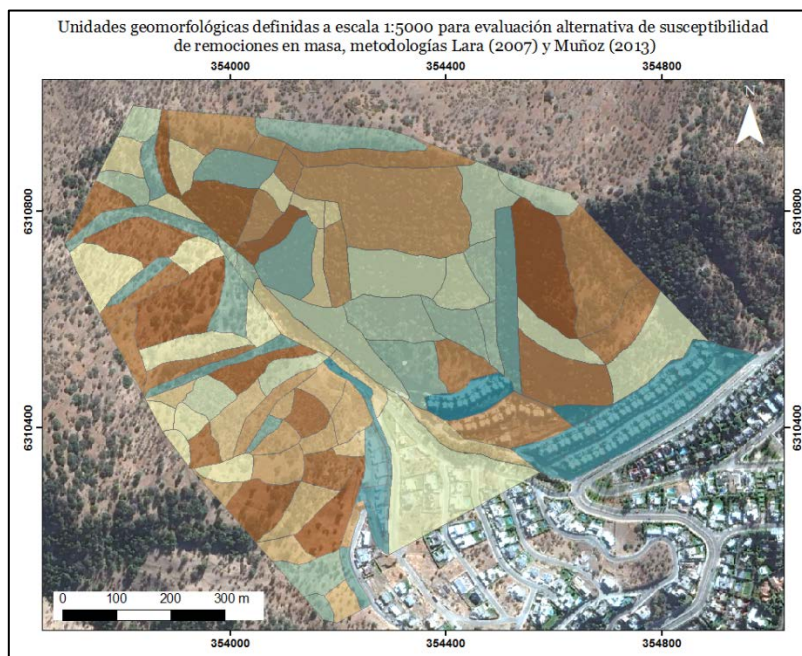
**-Unidades definidas a escala 1:5.000**



**Figura 4.38 Unidades urbanas definidas a escala 1:5.000 para la aplicación de la metodología de evaluación de susceptibilidad de remociones en masa de Muñoz (2013). La**



**superficie abarcada por las unidades a escala 1:5.000 a nivel de hoya hidrográfica, se demarca en amarillo.**



**Figura 4.39. Unidades definidas a escala 1:5.000 a nivel de hoya hidrográfica para la aplicación alternativa de las metodologías de evaluación de susceptibilidad de remociones en masa de Lara (2007) y Muñoz (2013).**

#### **4.4.2 Cálculo de índices de susceptibilidad de remociones en masa**

En base a las unidades definidas para el área estudio, se aplican las tablas de cálculo de índice de susceptibilidad de Lara (2007) y Muñoz (2013) para los fenómenos de remociones en masa de tipo deslizamientos de suelo, flujos y caídas de roca (Tablas 4.1 a 4.6).

En este trabajo se han agregado valores de ponderación intermedios para el factor de remociones en masa reconocidas en la unidad a evaluar, para cuando no se logra tener antecedentes debido a problemas de acceso o vegetación que imposibilite su observación, entre otras causas. Este cambio se realiza en el caso de la evaluación de susceptibilidad de deslizamientos de suelo para la metodología de Muñoz (2013), y para la evaluación de susceptibilidad de caídas de roca en las metodologías de Lara (2007) y Muñoz (2013), y busca ser conservadores al momento de la evaluación. Para todas las demás evaluaciones el valor intermedio ya había sido previamente definido por las metodologías. Las tablas de cálculo de índice de susceptibilidad se presentan a continuación.

## Deslizamientos de suelo

**Tabla 4.1. Ponderadores para factores condicionantes de Deslizamientos de suelo, metodología Lara (2007).**

Factor	Especificaciones	Rangos	%
1.-Pendientes de laderas	Promedio de ladera	15°-20°	9
		20°-25°	15
		25°-30°	21
		30°-40°	26
		>40°	30
2.- Exposición al sol	Para el caso de Chile central, alta exposición: laderas mirando al N, al estar expuestas al soldurante todo el año. Parcial: laderas mirando E_W. Baja: laderas mirando al S.	Alta	5
		Parcial	3
		baja	1
3.-Características geológicas-geotécnicas del material	Condiciones muy favorables para generación de deslizamiento son, entre otros, baja densidad (<~1,6- 1,8 kN/m3), baja resistencia, alta cantidad de material fino en su composición (>~50%); además de la estructura y estratificación del suelo. La generación de material removible a partir de roca se ve favorecido por alta meteorización y alteración.	muy favorable	20
		favorable	14
		medianamente favorable	10
		poco favorable	6
		muy poco favorable	2
4.-Condiciones de humedad y saturación	Considerar: (1)Capacidad de saturación por abajo (profundidad 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 suelo) cercana a 0 indica condiciones muy favorables de generación, ~0,5 es favorable.	muy favorable	10
		favorable	7
		poco favorable	3
		muy poco favorable	2
5.- Acumulación de nieve	Según estacionalidad	siempre	5
		estacional	2
		esporádica	1
		nula	0
6.- Cobertura vegetal	Densidad en la ladera	nula a baja	5
		moderada	2
		alta	0
7.-Desestabilización artificial de laderas	Por ejemplo cortes artificiales en laderas, construcción de terraplenes, etc.	importante	10
		poco importante	5
		no observado	0
8.-Deslizamientos declaradas en la unidad geomorfológica	Información escrita y/u observación de escarpes y superficies de deslizamiento.	presente	10
		sin antecedentes	3
		no observado	0
9.-Deslizamientos declaradas en la unidad geológica de suelo	Información escrita y/u observación de escarpes y superficies de deslizamiento.	presente	5
		sin antecedentes	2
		no observado	0
10.-Tipo de material	En este caso, el material roca no está en estudio, por lo tanto pondera por 0 al resto de los factores	suelo	1
		roca (cobertura <1 m de suelo)	0

**Tabla 4.2. Ponderadores para factores condicionantes de Deslizamientos de suelo, metodología Muñoz (2013), se destaca el valor intermedio para el factor de deslizamientos de suelo reconocidos en la ladera, agregado en este trabajo.**

Factor	Especificaciones	Rangos	%
1.-Pendientes de laderas	Promedio de ladera	15°-20°	1
		20°-25°	2
		25°-30°	3
		30°-35°	8
		35°-40°	10
		>40°	15
2.-Altura máxima de la unidad	Considerar la altura máxima de la unidad	0-10 m	1
		10-20 m	2
		20-30 m	3
		30-40 m	4
		>40 m	5
3.- Exposición al sol	Para el caso de Chile central, alta exposición: laderas mirando al N, al estar expuestas al sol durante todo el año. Parcial: laderas mirando E_W. Baja: laderas mirando al S.	Alta	10
		Parcial	5
		baja	3
4.-Características geológicas-geotécnicas del material	Considerar la calidad del macizo rocoso, mediante estimación o determinación de Rock Mass Rating (RMR). Rangos utilizan valores de RMR	muy favorable	15
		favorable	12
		medianamente favorable	9
		poco favorable	6
		muy poco favorable	3
5.-Condiciones de humedad y saturación	Considerar: (1) Capacidad de saturación por abajo (profundidad 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 suelo) cercana a 0 indica condiciones muy favorables de generación, ~0,5 es favorable.	muy favorable	10
		favorable	7
		poco favorable	3
		muy poco favorable	2
6.-Cercanía a una falla y /o zona de cizalle mayor	Definir si la zona analizada está cerca de la falla mayor	Unidad a más de 100 m de distancia	0
		Unidad a más de 100 m de distancia	5
		Unidad es atravesada por una falla mayor	10
7.-desestabilización artificial de laderas	Obra de estabilización mayor (por ejemplo, muros de hormigón)	condición muy favorable	-4
	Sistema de bancos y/o Soporte robusto	condición favorable	-2
	Unidad no intervenida (ladera natural)	nulo	0
	soporte insuficiente o intervención menor	condición medianamente importante	2
	Regular desestabilización o intervención	condición importante	4
	Desestabilización evidente	condición muy importante	10
8.-Deslizamientos de suelo reconocidos en la ladera	Ver si existen registros o evidencias de deslizamientos de suelo en la ladera	presente	10
		sin antecedentes	4
		no observado	0
9.-Condición de humedad en la ladera	Considerar humedad de la ladera, profundidad del nivel freático, niveles impermeables, saturación	Evidente	10
		Presente	7
		Posible	3
		sin antecedentes	0
10.- Presencia de vegetación	Ver si existe vegetación y si es favorable o no a la ocurrencia del mecanismo	No favorable	4
		favorable	10
11.- Tipo de material	En este caso, el material roca no está en estudio, por lo tanto pondera por 0 al resto de los factores.	suelo	1
		roca (cobertura <1 m de suelo)	0

## Flujos

**Tabla 4.3. Ponderadores para factores condicionantes de flujos, metodología Lara (2007).**

Factor	Especificaciones	Rangos	%
1.-Pendientes de laderas	Promedio de ladera	10°-15°	3
		15°-20°	6
		20°-25°	9
		25°-30°	11
		30°-40°	13
		>40°	15
2.- Encajamiento canal de drenaje al pie de la ladera	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
		5°-10°	5
		>10°	10
3.-Encajamiento canal de drenaje	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
		medio	4
		bajo	1
4.- Exposición al sol	Para el caso de Chile central, alta exposición: laderas mirando al N, al estar expuestas al sol durante todo el año. Parcial: laderas mirando E_W. Baja: laderas mirando al S.	Alta	3
		Parcial	2
		baja	0
5.-Características geológicas-geotécnicas del material	La generación de flujos se ve favorecida, entre otros, por suelos de baja compacidad, permeabilidad, y espesores críticos de suelo, presencia de estructuras y presencia de finos. En roca: alta meteorización y frecuencia de fracturas (valores bajos de GSI a nivel de ladera), litología (rocas menos resistentes) y alteraciones	muy favorable	25
		favorable	18
		medianamente favorable	13
		poco favorable	8
		muy poco favorable	3
6.-Condiciones de humedad y saturación	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
		favorable	7
		poco favorable	3
		muy poco favorable	2
7.- Acumulación de nieve	Según estacionalidad	siempre	5
		estacional	2
		esporádica	1
		nula	0
8.- Cobertura vegetal	Densidad en la ladera	nula a baja	5
		moderada	3
		alta	0
9.-Obstrucción canal de drenaje	No considera estructuras destinadas a contener los flujos	importante	5
		moderada	4
		baja	2
		no observado	0
10.-Desestabilización artificial de laderas	Por ejemplo cortes artificiales en laderas, construcción de terraplenes, etc.	importante	5
		poco importante	3
		no observado	0
11.-Aluviones declaradas en la hoya hidrográfica	Información escrita y/u observación de depósitos de flujos en la zona de estudio. Considerar como eventos frecuentes aquellos con recurrencia < 10 años.	históricos frecuentes	10
		históricos poco frecuentes	7
		prehistóricos	4
		sin antecedentes	1
12.-Tipo de material	En este caso, el material roca no está en estudio, por lo tanto pondera por 0 al resto de los factores	suelo	1
		roca (cobertura <1 m de suelo)	0

**Tabla 4.4. Ponderadores para factores condicionantes de fenómenos tipo flujo, metodología Muñoz (2013)**

<b>Factor</b>	<b>Especificaciones</b>	<b>Rangos</b>	<b>%</b>
1.-Pendientes del canal de drenaje	Se usa pendiente promedio de canal de drenaje	<5°	5
		5°-10°	15
		>10°	20
2.-Encajamiento canal de drenaje	Geomorfología y relación profundidad / ancho del canal. Alto encajonamiento, alta razón (>0.7)	bajo	4
		medio	8
		alto	15
3.-Condiciones de humedad y saturación	Asociado a: (1) Capacidad de saturación Nivel Freático < 2m poco favorable; >2m poco favorable; 2m favorable (2) capacidad de almacenaje de agua en el suelo (3) variaciones estacionales de humedad.	sin antecedentes	0
		poco favorable	3
		medianamente favorable	5
		favorable	7
		muy favorable	10
4.-Características geológicas-geotécnicas del material	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 poco favorable	2
		poco favorable	6
		medianamente favorable	10
		favorable	12
		muy favorable	15
5.-Cercanía a una falla y /o zona de cizalle mayor	Definir si la zona analizada está cerca de la falla mayor	Unidad a más de 100 m de distancia	1
		Unidad a menos de 100 m de distancia	3
		Unidad es atravesada por una falla mayor	5
6.-Obstrucción canal de drenaje	Considera si existen obras de contención de flujo (como piscinas decantadoras) u obstrucción del cauce por escombros, basura, troncos u otros.	sistema de contención de flujos	-5
		no observado	1
		baja obstrucción	5
		moderada obstrucción	7
		importante obstrucción	10
7.-Aluviones declarados en la cuenca hidrográfica	Información escrita y/u observación de depósitos de flujos en la unidad	sin antecedentes	5
		prehistóricos	10
		históricos frecuentes	15
		favorable	5
8.- Presencia de vegetación	Evaluar si la vegetación en la unidad es favorable o no para detener el mecanismo. Considerar favorable, árboles y arbustos con raíces robustas (que actúen como decantadores naturales). Considerar desfavorable vegetación fácilmente desgarrable.	desfavorable	10
		compatible	1
9.-Tipo de material	Se evalúa si el material de la unidad es compatible con el mecanismo. Si compatible (cauces activos o secos, trazas de quebradas) se multiplica suma de factores ponderados por 1. Si no es compatible, se evalúa si las unidades inmediatamente por sobre la unidad tienen IS de Deslizamientos superficiales de suelo > 50 (multiplicar por 1) o menor que 50 (multiplicar por 0).	No compatible y Unidades inmediatamente encima tienen IS deslizamiento superficial suelo > 50	1
		No compatible y unidades aledañas sobre la unidad tienen IS deslizamiento superficial suelo < 50 o existen unidades aledañas que aporten material	0

## Caídas de roca

**Tabla 4.5. Ponderadores de factores condicionantes para Caídas de roca, metodología Lara (2007), se destaca el valor intermedio para el factor de caídas de roca declaradas en la ladera, agregado en este trabajo.**

Factor	Especificaciones	Rangos	%
1.-Pendientes de laderas	Promedio de ladera	15°-20°	4
		20°-25°	10
		25°-30°	18
		30°-40°	25
		40°-60°	32
		>60°	35
2.-Características geológicas-geotécnicas del material	Será más favorable a medida que presente estructuras subverticales en el macizo, alta frecuencia de fracturas y orientación de fracturas en el sentido de la ladera. Se consideran además los factores generadores de deslizamientos de roca	muy favorable	35
		favorable	24
		medianamente favorable	15
		poco favorable	9
		muy poco favorable	3
3.-Acumulación de nieve	Asociado a procesos de hielo/deshielo, que contribuyen en la caídas de roca debido a la generación de esfuerzos en tracción en la roca	estacional	10
		siempre	4
		esporádica	2
		nula	0
4.-desestabilización artificial de laderas	Por ejemplo cortes artificiales en laderas, construcción de terraplenes, etc.	importante	5
		poco importante	3
		no observado	0
5.-Caídas de roca declaradas en la ladera	Presencia de bloques caídos	presente	15
		sin antecedentes	5
		no observado	0
6.-Tipo de material	En este caso, el material suelo no está en estudio, por lo tanto pondera por 0 al resto de los factores	suelo	0
		roca (cobertura <1 m de suelo)	1

**Tabla 4.6. Ponderadores de factores condicionantes para Caídas de roca, metodología Muñoz (2013), se destaca el valor intermedio para el factor de caídas de roca declaradas en la ladera, agrgado en este trabajo.**

Factor	Especificaciones	Rangos	%
1.-Pendientes promedio de laderas	Considerar la pendiente promedio de la ladera (obtenida del rastreo de pendientes) o su valor en caso de tener el dato de terreno	10°-20°	1
		20°-25°	2
		25°-30°	3
		30°-40°	8
		40°-60°	10
		>60°	15
2.-Altura máxima de la unidad	Considerar la altura máxima de la unidad	0-5 m	0
		5-10 m	1
		10-15 m	3
		15-20 m	4
		20-30 m	5
		30-50 m	7
		50-100 m	8
		>100 m	10
3.-Forma	Considerar si la ladera presenta una geometría regular, irregular, recta, cóncava o convexa y ver la influencia que tiene en el tipo de mecanismo analizado. Se evalúa la condición: si es una condición favorable, reduce la susceptibilidad; si es una geometría muy poco favorable, aumenta la susceptibilidad	muy favorable	0
		favorable	1
		medianamente favorable	4
		poco favorable	7
		muy poco favorable	10
4.-Características geológicas-geotécnicas del material	Considerar la calidad del macizo rocoso, mediante estimación o determinación de Rock Mass Rating (RMR). Rangos utilizan valores de RMR	muy favorable	3
		favorable	6
		medianamente favorable	9
		poco favorable	12
		muy poco favorable	15
5.-Cercanía a una falla y /o zona de cizalle mayor	Definir si la zona analizada está cerca de la falla mayor	Unidad a más de 100 m de distancia	0
		Unidad a más de 100 m de distancia	3
		Unidad es atravesada por una falla mayor	5
6.-desestabilización artificial de laderas	Obra de estabilización mayor (por ejemplo, muros de hormigón)	condición muy favorable	-10
	Sistema de bancos y/o Soporte robusto	condición favorable	-2
	Unidad no intervenida (ladera natural)	no intervenido	0
	soporte insuficiente o intervención menor	condición medianamente favorable	15
	Regular desestabilización o intervención	condición desfavorable	19
Desestabilización evidente	condición muy desfavorable	25	
7.-Caídas de roca reconocidas en la ladera	Ver si existen registros o evidencias de caídas en la ladera	presente	10
		sin antecedentes	4
		no observado	0
8.-Condición de humedad en la ladera	Ver si hay humedad en la ladera	Presente	5
		No observado	0
9.- Presencia de vegetación	Ver si existe vegetación y si es favorable o no a la ocurrencia del mecanismo	No favorable	0
		favorable	5
10.-Tipo de material	En este caso, el material suelo no está en estudio, por lo tanto pondera por 0 al resto de los factores	suelo	0
		roca (cobertura <1 m de suelo)	1

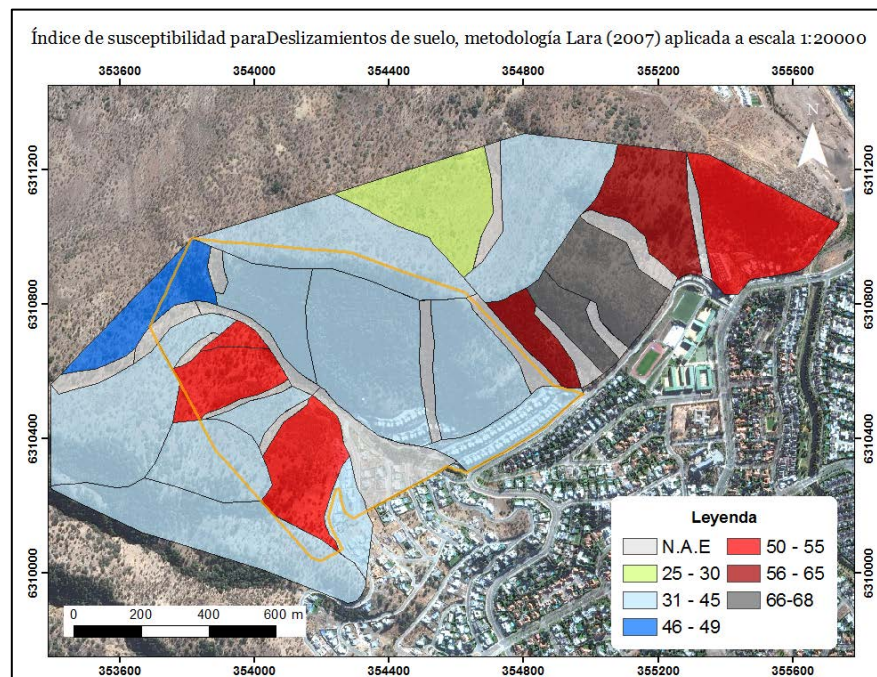
A continuación se presentan los mapas de susceptibilidad ordenados por tipo de mecanismo de remoción en masa estudiado. Primero se encuentran los mapas producto de la evaluación de susceptibilidad de deslizamientos de suelo, luego para flujos, y por último, para fenómenos de tipo caídas de roca.

Debido a que la extensión de la zona de estudio no supera los 2 km<sup>2</sup>, y al tratarse de un área que combina ambiente natural con ambiente urbano, se busca realizar un análisis de susceptibilidad en mayor detalle pero sin modificar las ponderaciones dadas para los factores condicionantes por las metodologías ya propuestas por Lara (2007) y Muñoz (2013). Así se utiliza la metodología de Lara (2007) cambiando su escala de aplicación de 1:2000 a 1:5000, y además se aplica la metodología de Muñoz (2013) a escala 1:5000 pero agregando a su ambiente originalmente urbano de aplicación, uno de tipo natural (ladera con condición no intervenida). Esto se realiza con el objeto de buscar obtener una metodología única en el caso de evaluar la susceptibilidad de remociones en masa en zonas donde el área urbana coexiste con zonas no intervenidas.

En las siguientes Figuras se muestran los resultados obtenidos a través de la aplicación de las metodologías de Lara (2007) y Muñoz (2013), según las escalas indicadas por estas, además de los mapas producto de la evaluación alternativa de ambas metodologías.

### ***Susceptibilidad de ocurrencia de fenómenos de remoción en masa de tipo deslizamiento de suelo***

#### **Metodología Lara (2007), aplicada a escala 1:20.000**

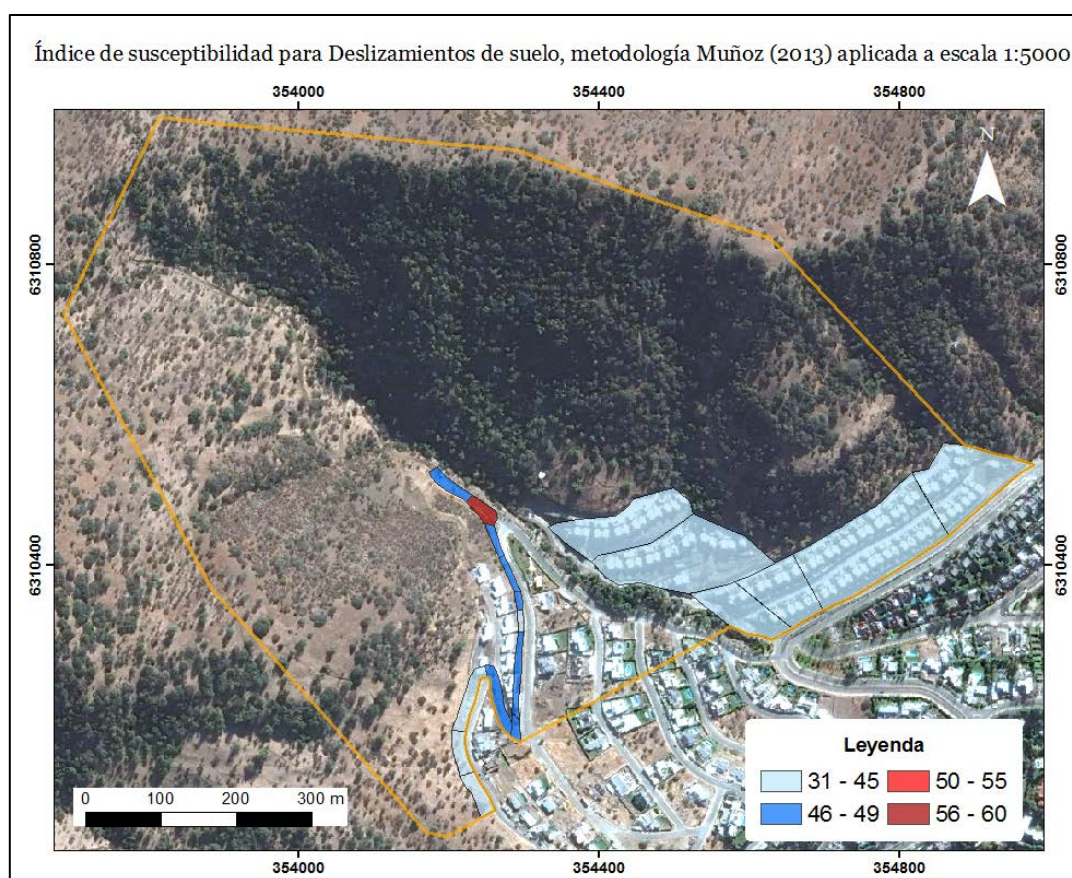


**Figura 4.40. Mapa de susceptibilidad de deslizamientos de suelo, metodología Lara (2007), aplicada a escala 1:20000, se demarca en amarillo la superficie utilizada a escala 1:5.000.**



Se observan 4 unidades con  $IS > 50$ , entre 50 y 55 para fenómenos de remociones en masa tipo deslizamientos de suelo, 3 de ellas en la ladera al Oeste de la quebrada de Los Chanchos. Además hay 2 unidades con  $IS$  entre 56 y 65, y 1 unidad con  $IS > 66$ . Todas las unidades restantes tienen  $IS < 45$ , exceptuando una en la zona alta de la quebrada, con  $IS$  48. Dadas las características geológicas de la zona, en que se reconoce roca con una cubierta de suelo de poco espesor, estos deslizamientos tendrían carácter superficial.

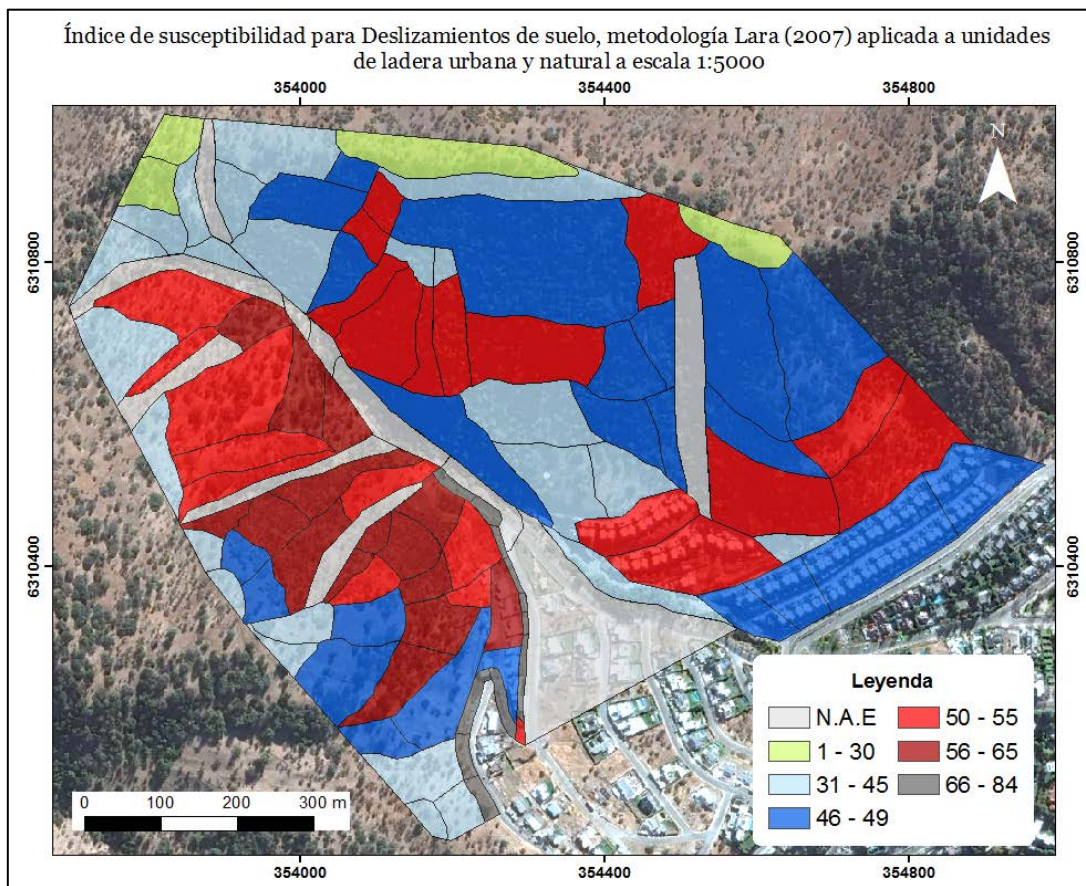
Metodología Muñoz (2013), aplicada a escala 1:5.000 en taludes urbanos



**Figura 4.41 . Mapa de susceptibilidad a Deslizamientos de suelo, metodología Muñoz (2013), aplicada escala 1:5.000.**

Se observa solo una unidad con valor de  $IS$  mayor a 55, se encuentra junto a otra unidad con valor de  $IS$  de 49. Todas las demás unidades tienen valores máximos de 47 para susceptibilidad de fenómenos de remociones en masa de tipo deslizamiento de suelo.

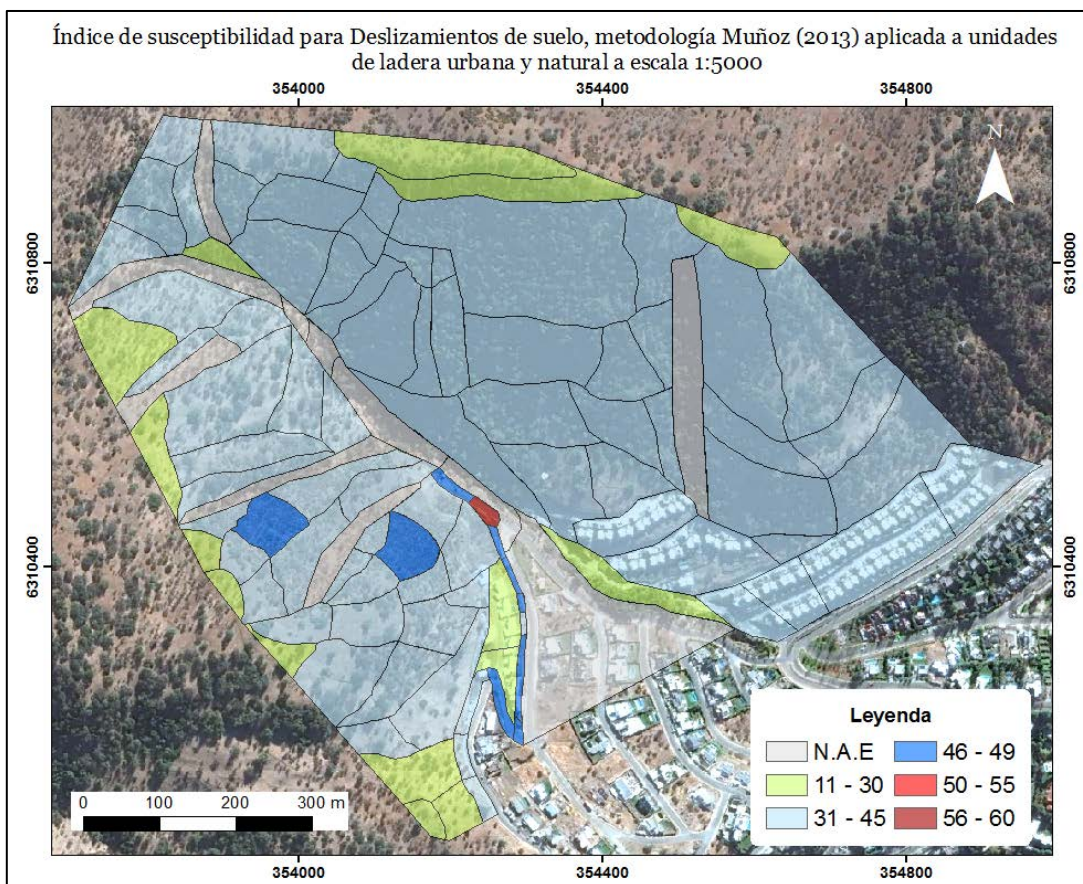
## Aplicación alternativa metodología Lara (2007) a escala 1:5.000



**Figura 4.42 Mapa de susceptibilidad de Deslizamientos de suelo, metodología Lara (2007) aplicada a unidades de ladera urbana y natural, escala 1:5.000.**

Esta evaluación alternativa arroja gran cantidad de las unidades de ladera natural con valores de IS mayores a 50, y llegando a 65 puntos. Estas unidades se encuentran a lo largo de toda la zona pero se concentran en la ladera oeste de la quebrada de Los Chanchos. Las unidades urbanas presentan susceptibilidad alta, llegando incluso a los 84 puntos (Anexo 3.6).

Aplicación alternativa metodología Muñoz (2013) en ladera urbana y natural a escala 1:5.000

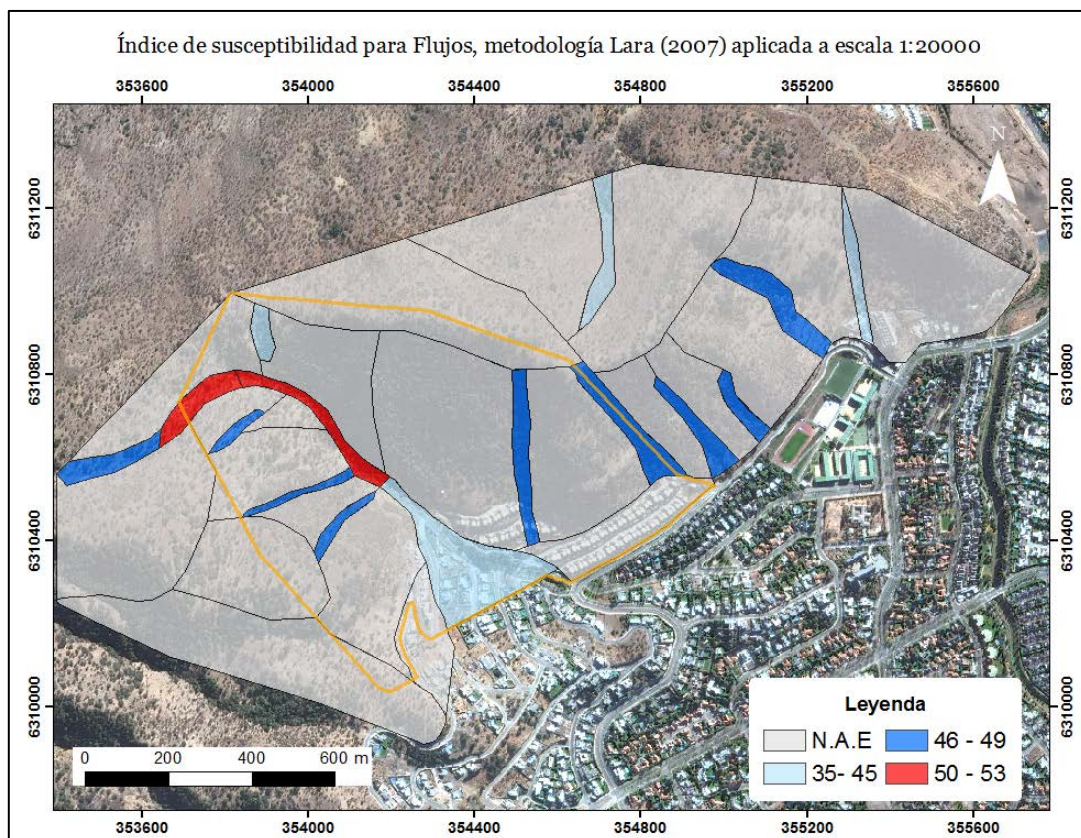


**Figura 4.43. Mapa de susceptibilidad de deslizamientos de suelo, metodología Muñoz (2013) aplicada a unidades urbanas y de ladera natural, escala 1:5.000.**

En este caso casi la totalidad de las unidades naturales evaluadas presentan susceptibilidad bajo 45 puntos e incluso bajo 40. Sólo una de las unidades urbanas presenta susceptibilidad, mientras que el resto no supera los 49 puntos.

## ***Susceptibilidad de ocurrencia de fenómenos de remoción en masa de tipo Flujo***

Metodología Lara (2007), aplicada a escala 1:20.000



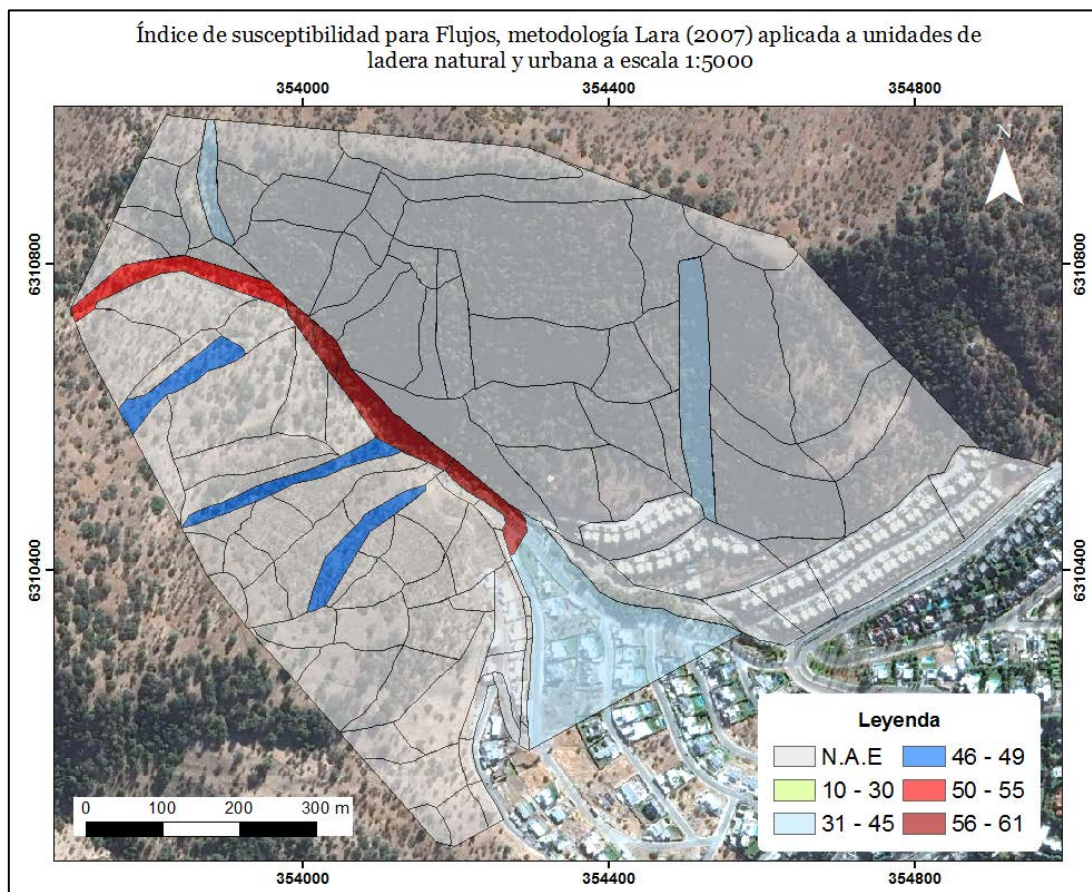
**Figura 4.44. Mapa de susceptibilidad a deslizamientos de suelo, metodología Lara (2007), aplicada a escala 1:20000, se demarca en amarillo la superficie utilizada a escala 1:5.000.**

De las 15 unidades evaluadas, 4 tienen IS entre 35 y 45, 9 están entre los valores 46 y 49 de Susceptibilidad, y solo 2 ubicadas a lo largo de la quebrada principal presentan susceptibilidad a generación de fenómenos de remociones en masa de tipo flujo con valores que no superan los 53 puntos.

Metodología Muñoz (2013), aplicada a escala 1:5.000

Para esta metodología no se evalúa la susceptibilidad de ocurrencia de flujos pues en las unidades urbanas definidas hay quebradas presentes

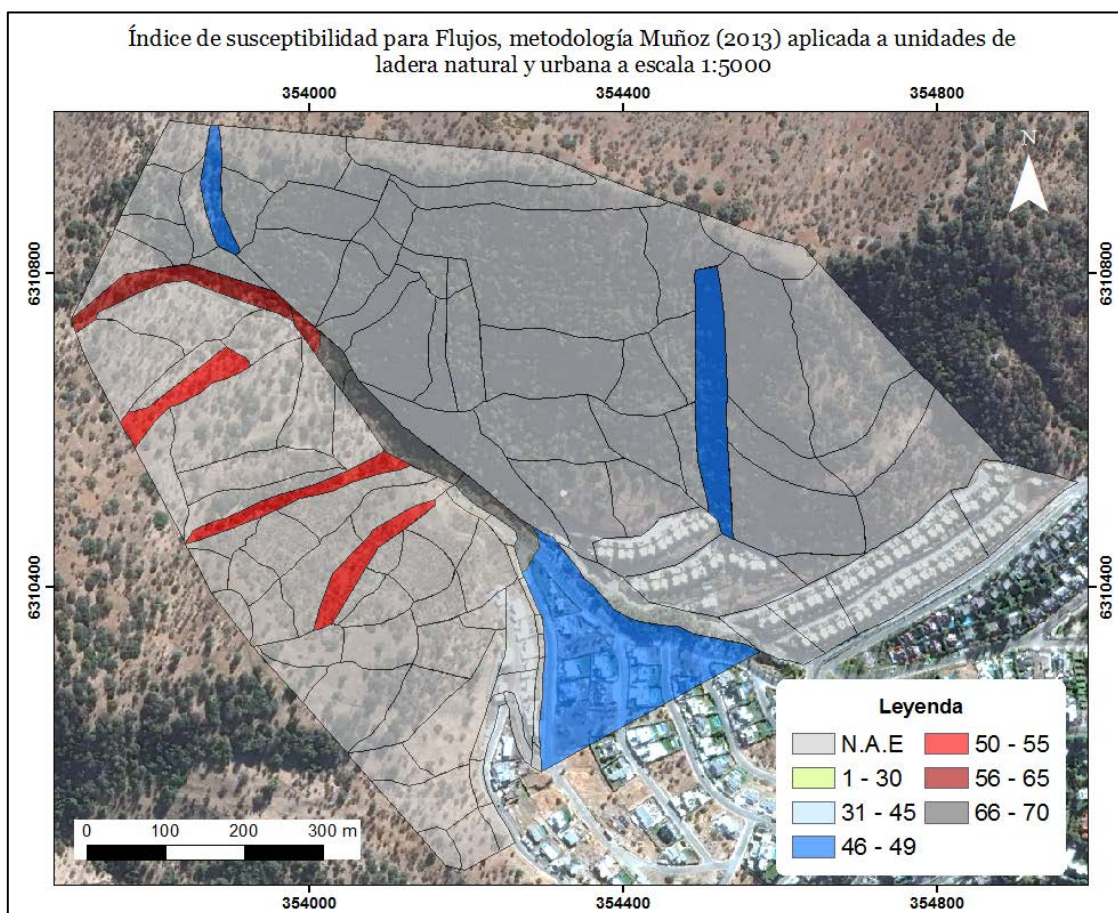
Aplicación alternativa metodología Lara (2007) a escala 1:5.000



**Figura 4.45. Mapa de susceptibilidad de flujos, metodología Lara (2007), escala 1:5000.**

En este caso se muestra 4 de las 11 unidades evaluadas con un IS sobre 50 y bajo 61 puntos de IS. El resto de las quebradas no alcanzan 50 puntos (Anexo 3.7).

Aplicación alternativa metodología Muñoz (2013) en ladera urbana y natural a escala 1:5.000

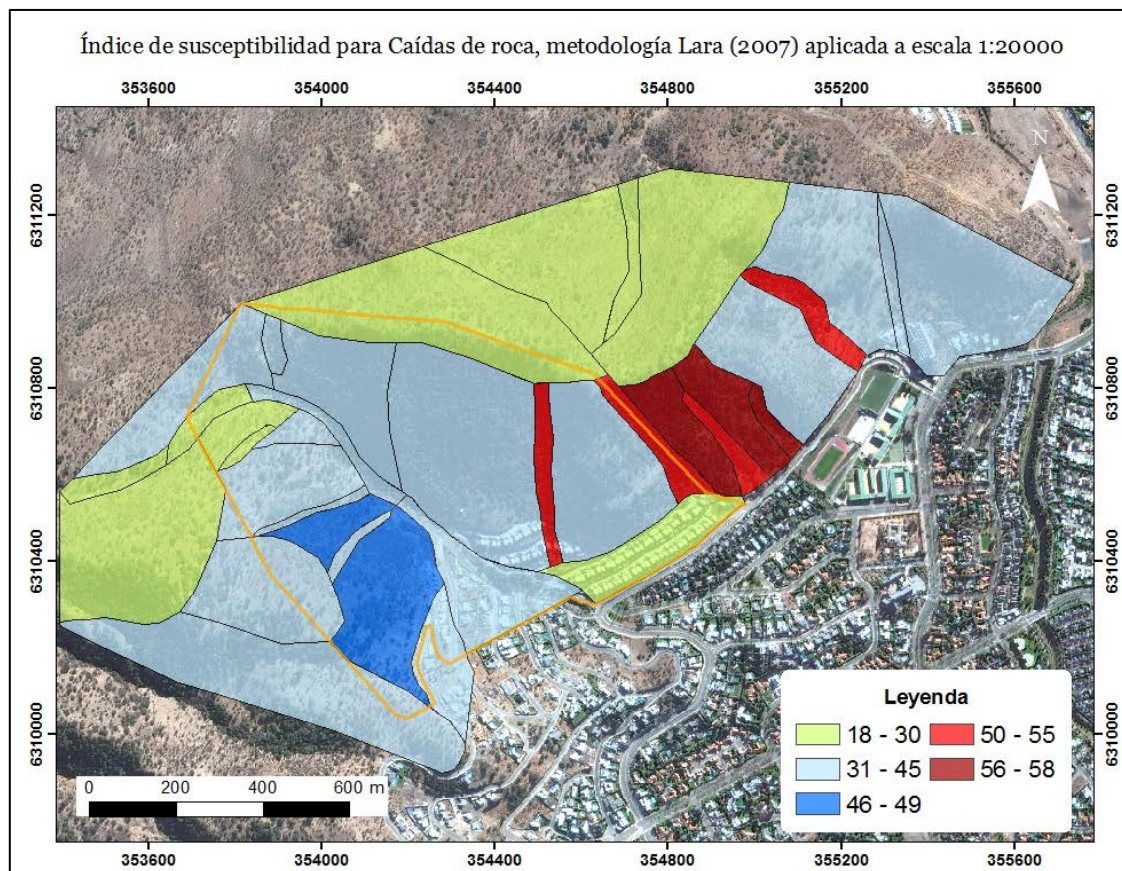


**Figura 4.46. Mapa de susceptibilidad a flujos, metodología Muñoz (2013)**

A lo largo de la quebrada principal, 5 unidades presentan IS mayor a 55, llegando incluso a 70. Hacia el oeste de esta, las 3 unidades de quebradas en la ladera, presentan IS entre 50 y 55. El resto de las unidades definidas no superan los 49 puntos.

## ***Susceptibilidad de ocurrencia de fenómenos de remoción en masa de tipo caídas de roca.***

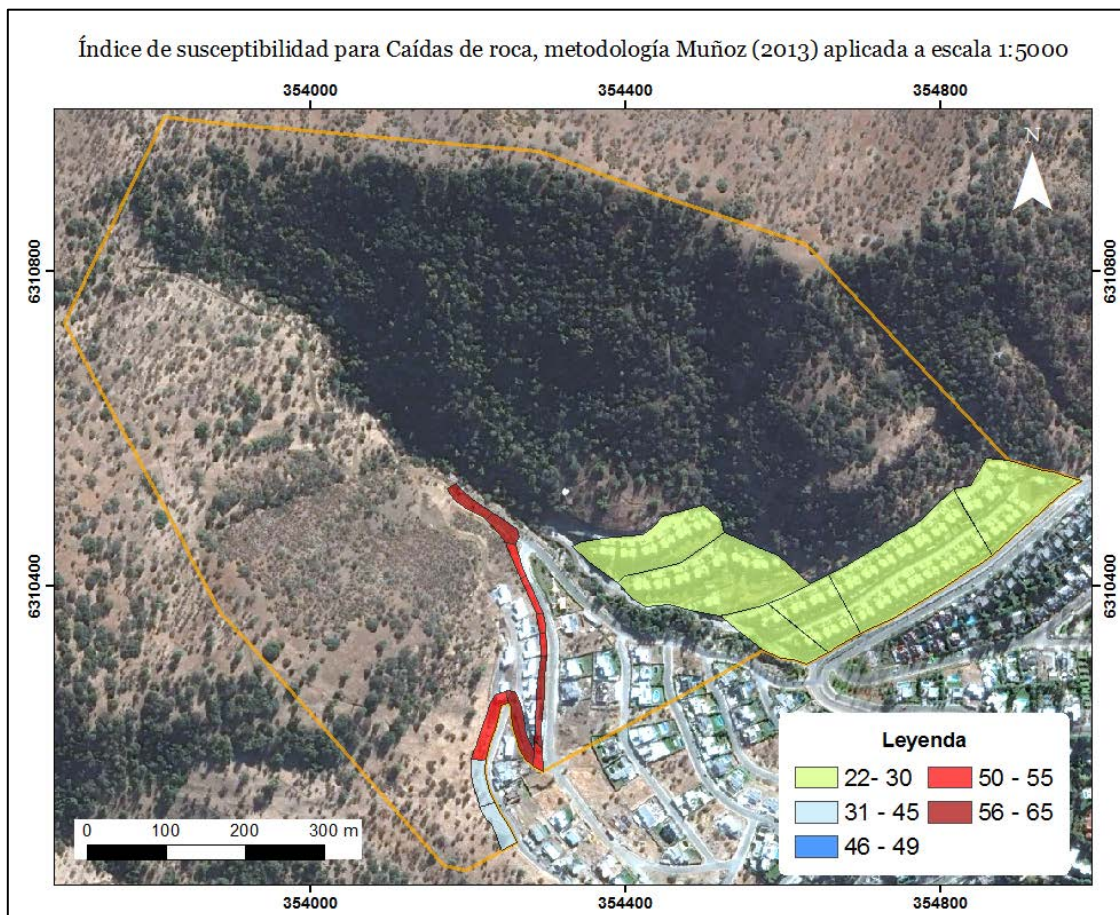
Metodología Lara (2007), aplicada a escala 1:20.000



**Figura 4.47. Mapa de susceptibilidad a caídas de roca, metodología Lara (2007) aplicada a escala 1:20.000. La superficie utilizada para evaluación a escala 1:5.000 se demarca en amarillo.**

De todas las unidades evaluadas, solo 7 presentan índice de susceptibilidad mayor a 50, llegando estos valores hasta los 58 puntos. 2 unidades presentan IS entre 46 y 49, y el resto solo alcanza un máximo de 45 en valor de susceptibilidad para caídas de roca.

Metodología Muñoz (2013), aplicada a escala 1:5.000

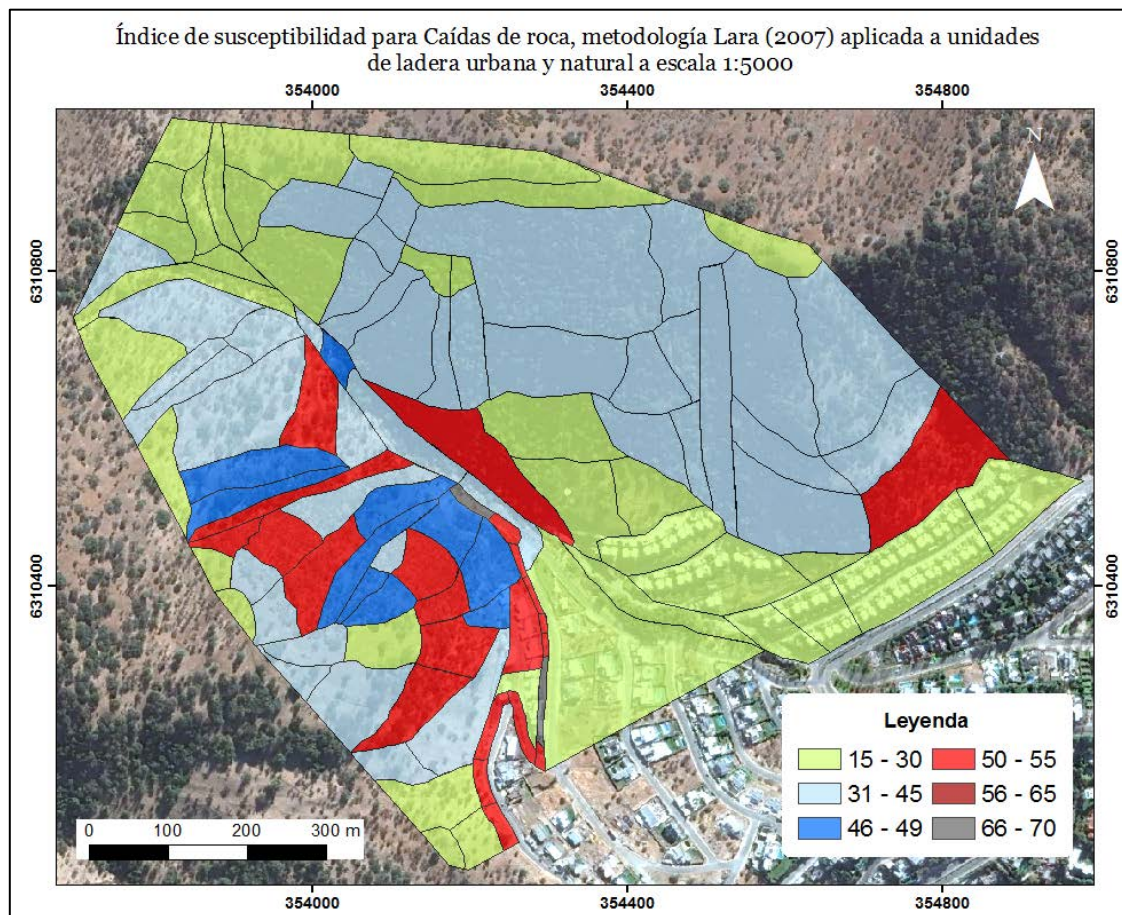


**Figura 4.48. Mapa de susceptibilidad a caídas de roca, metodología Muñoz (2013) aplicada a escala 1:5.000.**

En este caso, hacia el oeste de la quebrada de Los Chanchos se observa un alto grado de susceptibilidad con valores de IS entre 50 y 65 puntos. En las unidades urbanas hacia el este de la quebrada, los valores de susceptibilidad no superan 45 puntos.



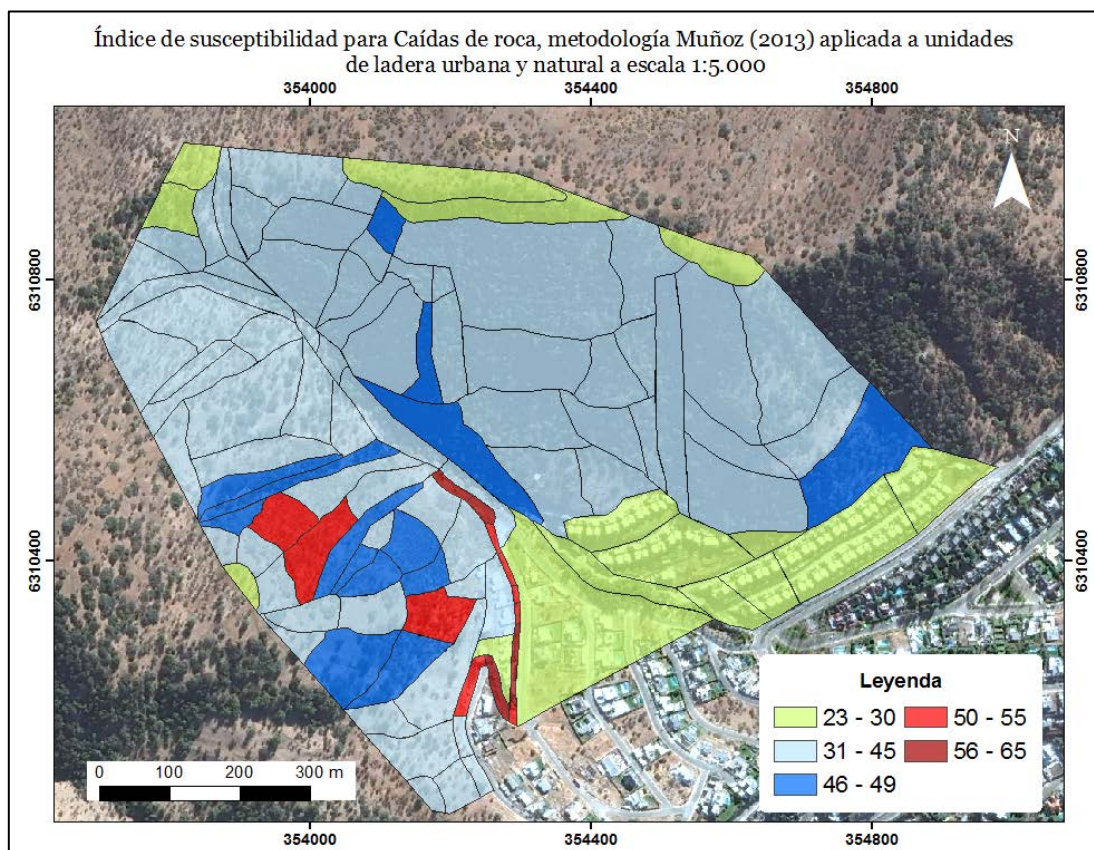
## Aplicación alternativa metodología Lara (2007) a escala 1:5.000



**Figura 4.49. Mapa de susceptibilidad a caídas de roca, metodología Lara (2007) aplicada a escala 1:5.000**

Hacia el oeste hay 10 unidades de ladera natural con IS mayor a 50, y menor a 55, pero solo dos unidades hacia el este de la quebrada de Los Chanchos presenta estas características. También hacia el este se concentran muchas unidades con IS entre 31 y 45. Las demás unidades presentan valores de susceptibilidad menores a 30 (Anexo 3.8).

Aplicación alternativa metodología Muñoz (2013) a unidades de ladera urbana y natural, escala 1:5.000



**Figura 4.50. Mapa de susceptibilidad a caídas de roca, metodología Muñoz (2013) aplicada a área natural, escala 1:5000.**

Para este caso alternativo de evaluación, existen 3 unidades de ladera natural hacia el oeste de la quebrada de Los Chanchos con IS mayores a 50, mientras que 8 de las unidades urbanas tienen esta característica, alcanzando 3 de ellas valores de hasta 65 puntos. Todas las demás unidades alcanzan valores mínimos de 20 y máximos de 49 puntos para el índice de susceptibilidad de caídas de roca.

Con respecto a los factores condicionantes que influyen en la susceptibilidad del área de estudio, en general se puede extraer las siguientes observaciones de los resultados obtenidos:

#### *Deslizamientos de suelo*

Al aplicar la metodología de Lara (2007) a escala 1:20.000 para evaluar este tipo de fenómenos de remoción en masa, los factores condicionantes que ayudan a tener un alto IS, son principalmente la pendiente promedio de las unidades evaluadas y las características geológicas y geotécnicas del material. Estos factores igualmente predominan al momento de realizar la evaluación alternativa de susceptibilidad a través de la metodología de Lara (2007) aplicada a escala 1:5.000 en unidades de ladera urbana y natural,

Al aplicar la metodología de Muñoz (2013) en unidades urbanas a escala 1:5.000, los factores condicionantes más influyentes en el valor del IS son los antecedentes de deslizamientos de suelo reconocidos en el área y las altas pendientes de los taludes evaluados, y para la aplicación alternativa de esta metodología aplicada a unidades de ladera urbana y natural, la susceptibilidad a nivel de ladera natural en general no sobrepasa los 45 puntos. Estos valores son bajos producto de la baja ponderación considerada por esta metodología para unidades con pendientes entre 10° y 40°.

#### *Flujos*

De acuerdo al mapa de susceptibilidad generado para la evaluación a través de la metodología de Lara (2007) a escala 1:20.000, sólo dos unidades sobrepasan los 50 puntos, y llegan solo a 53 como máximo, estas unidades se ven influenciadas directamente por el encajonamiento del canal de drenaje y por sus pendientes promedio. Al aplicar esta metodología de manera alternativa, a escala 1:5.000 los valores de susceptibilidad aumentan a lo largo de la quebrada de Los Chanchos, obteniendo cinco las unidades susceptibles a mecanismos de tipo flujo, y se ven influenciadas principalmente por las pendientes de los canales de drenaje, y en segundo lugar por las características geológicas y geotécnicas del material presente.

La metodología de Muñoz (2013) a escala 1:5.000 en unidades urbanas, no ha sido utilizada en esta ocasión debido a que ninguna de las unidades definidas corresponde a una quebrada o canal de drenaje, pero al aplicar esta metodología de manera alternativa, los valores de susceptibilidad son altos y se relacionan directamente con la pendiente de las unidades de quebrada y sus características geológicas geotécnicas. Las unidades que sobrepasan los 60 puntos son influenciadas además, por el factor encajonamiento del canal de drenaje.

### *Caídas de roca*

Para este tipo de mecanismo de remoción en masa, al realizar la evaluación mediante Lara (2007), las unidades que resultan susceptibles tienen valores de IS que se ven controlados por la pendiente promedio de la unidad, sus características geológicas y geotécnicas y los antecedentes de caídas de roca. En la aplicación alternativa de esta metodología a escala 1:5.000, las unidades correspondientes a taludes urbanos presentan los más altos valores de susceptibilidad llegando hasta 70, y se deben principalmente a las altas pendientes promedio de estas unidades, seguido de los antecedentes de caídas de roca, y las características geológicas y geotécnicas en tercer lugar.

La metodología de Muñoz (2013) a escala 1:5000, muestra susceptibilidad de hasta 65 puntos influenciada principalmente por el factor de desestabilización artificial y la pendiente de los taludes urbanos. Al aplicar la metodología de manera alternativa en unidades de ladera urbana y natural, en general se muestran bajos valores de susceptibilidad a nivel de ladera natural, debido principalmente, al igual que en el caso de los deslizamientos, a la baja ponderación que considera esta metodología para las pendientes de entre 10° y 40°, rango que predomina en el área de estudio.

## **5 Discusiones**

### ***Consideraciones para este estudio***

Para realizar la evaluación de susceptibilidad a remociones en masa en la quebrada de los Chanchos, se han tomado en cuenta las siguientes consideraciones:

-Las unidades de suelo se encuentran a lo largo de toda el área en estudio, y si bien su espesor es variable, siempre se mantiene en un rango no mayor a los 0,5 m. Aunque las metodologías propuestas por Lara (2007) y Muñoz (2013) consideran una capa de aproximadamente 1 m de espesor promedio, igualmente indican que se debe considerar las condiciones presentes para cada estudio de susceptibilidad, y este es el caso en que a pesar de tener una cubierta de suelo de poco espesor, se puede hacer un estudio de fenómenos de remociones en masa de naturaleza superficial. Así mismo, para análisis de susceptibilidad donde el tipo de material “roca” es compatible con el mecanismo, como los de caídas de roca, aunque no se observe directamente la unidad de roca en la unidad evaluada, sí se considera que existe este material debido al carácter superficial de la cubierta de suelo.

-Con respecto a los ponderadores para los factores condicionantes en la zona, se ha agregado algunos valores intermedios a los ya establecidos por las metodología de Muñoz (2013), así en el caso del factor “antecedentes”, para deslizamientos y caídas de roca declarados en la unidad, en que solo se consideraba una ponderación para cuando estuviera presente o cuando no se ha observado, se ha agregado un ponderador para cuando no se tiene antecedentes al respecto, pues si bien esta metodología requiere un trabajo de caracterización en detalle, en ciertas ocasiones no es posible observar alguna zona de los taludes que existen a lo largo del área de estudio, ya sea porque se encuentran recubiertas por obras de estabilización o porque está siendo construida alguna obra por sobre ellos. En la misma línea, se agrega un factor cuando no existen antecedentes de caídas de roca al aplicar la metodología de Lara (2007), ya que esta sí considera factores intermedios para los mecanismos de tipo flujo y deslizamientos de suelo.

-Al generar el mapa de pendientes del área de estudio, se contaba con información topográfica cuyas curvas de nivel estaban cada 5 metros alcanzando un nivel de detalle óptimo para las escalas utilizadas. Sin embargo, las unidades urbanas definidas para este trabajo y observadas en terreno, presentan pendientes incluso mayores a los 70°, y esto no se ve reflejado en los mapas de pendientes debido al corte abrupto que se ha producido de manera artificial en estas unidades. Es por esto que para ellas se ha preferido la pendiente observada en terreno para realizar la evaluación de susceptibilidad por sobre el dato que arroja el mapa de pendientes promedio.

-Al considerar la pendiente promedio de las unidades definidas para cada metodología, en algunas ocasiones existió una amplia diferencia entre los valores mínimos y máximos para este factor dentro de la misma unidad afectando al promedio, lo cual podría subestimar o sobreestimar el peso de este factor dentro del cálculo del índice de susceptibilidad. Cuando esto ocurre se estima conveniente observar este factor en detalle en aquellas unidades cuyo IS se acerque al límite de 50.

### ***Evaluación de susceptibilidad de remociones en masa en la quebrada de Los Chanchos con metodologías propuestas y sus factores condicionantes***

Como se muestra en el capítulo 4.5.1 y en el Anexo 3, para cada mecanismo de remoción en masa evaluado, existen factores condicionantes predominantes en el cálculo del índice de susceptibilidad, según la metodología y la escala aplicada.

Así, para la evaluación de susceptibilidad a partir de la metodología propuesta por Lara (2007), para mecanismos de tipo deslizamiento de suelo, el IS se ve afectado principalmente por los factores condicionantes de antecedentes y pendiente promedio. Para fenómenos de tipo flujo, predominan el factor de pendiente del canal de drenaje, y su alto encajonamiento. Y para caídas de roca, al factor de pendiente promedio de la unidad, se agrega las características geológicas y geotécnicas del material.

Con respecto a la aplicación de la metodología de Muñoz (2013), se observa que para deslizamientos de suelo predomina el factor de antecedentes y la intervención artificial de laderas. Este último factor domina en el IS de todas las unidades de taludes urbanos. Al evaluar Caídas de roca con esta metodología, además de la intervención artificial de laderas, predominan las altas pendientes promedios, y en ocasiones los antecedentes de remociones en masa de este tipo reconocidas en el área.

Al aplicar alternativamente la metodología de Lara (2007), ahora a escala 1:5.000, evaluando susceptibilidad de deslizamientos de suelo, se aprecia que el factor condicionante preponderante es las características geológicas y geotécnicas, y especialmente en las unidades que incluso alcanzan 80 puntos, la alta pendiente promedio de las unidades urbanas definidas debido. Este último factor también domina en la evaluación de caídas de roca, seguido del factor antecedentes y en tercer lugar, las condiciones geológicas y geotécnicas del material. Para la evaluación de mecanismos de tipo flujo, predomina el factor de pendiente de los canales de drenaje, seguido de las características geológicas y geotécnicas presentes en las unidades.

Al aplicar alternativamente la metodología de Muñoz (2013), ahora en unidades de talud urbano y de ladera no intervenida, se reconoce a los factores condicionantes de pendiente de la unidad y características geológicas del material dominando en el IS de Flujos, y aquellas unidades que presentan valores sobre 60 puntos, son además las que tienen mayor encajonamiento del canal de drenaje. Para caídas de roca, esta aplicación alternativa muestra valores de susceptibilidad influenciados principalmente por el factor

geología y geotecnia del material, seguido por los antecedentes de caídas de roca declaradas en el área. Es importante recalcar que hacia la ladera este de la quebrada principal, existe una unidad de ladera no intervenida que ha registrado caídas de roca observadas en terreno, y en esta oportunidad, su índice de susceptibilidad no alcanza los 50 puntos.

La Tabla 5.1 presenta un resumen de lo anterior, indicando los factores condicionantes predominantes para cada mecanismo de remoción en masa basado en el análisis de las tablas de susceptibilidad en el Anexo 3, y para las distintas metodologías aplicadas.

**Tabla 5.1. Principales factores condicionantes que influyen en el cálculo del índice de susceptibilidad para cada uno de los mecanismos de remociones en masa evaluados según metodologías originales de Lara (2007) y Muñoz (2013), y también para su aplicación con cambio de escala y ambiente respectivamente. Se destacan los factores preponderantes según el catastro.**

Metodología	Ambiente/ escala	Tipo de RM evaluada	Factores condicionantes que influyen mayoritariamente en cálculo de IS				
			Pendiente promedio de ladera y/o de canal de drenaje	Características geológicas y geotécnicas	Encajonamiento canal de drenaje	Desestabilización artificial de laderas	Antecedentes
Lara (2007)	Ladera natural / 1:20.000	Deslizamientos de suelo	X	X			
		Flujos	X	X	X		X
		Caídas de roca	X	X			X
	Ladera urbana y natural /1:5.000	Deslizamientos de suelo	X	X			
		Flujos	X	X	X		
		Caídas de roca	X	X			X
Muñoz (2013)	Ladera urbana /1:5.000	Deslizamientos de suelo	X				X
		Caídas de roca	X	X		X	
	Ladera urbana y natural /1:5.000	Deslizamientos de suelo					
		Flujos	X	X	X		
		Caídas de roca		X		X	X

Con todo lo antes expuesto, se infiere, como se destaca en la Tabla 5.1, que los factores condicionantes predominantes para la evaluación de susceptibilidad en esta zona de estudio, son la pendiente promedio de la unidad geológica y las características geológicas y geotécnicas del material.

## **Análisis y comparación**

Al realizar una comparación de los resultados obtenidos por la aplicación alternativa de ambas metodologías, se puede hacer un paralelo entre los mapas generados por la evaluación de susceptibilidad a nivel de hoya hidrográfica. La Tabla 5.2 muestra un resumen de los factores condicionantes predominantes reconocidos anteriormente, y los máximos de ponderación que considera cada una de las metodologías propuestas originalmente.

**Tabla 5.2. Factores condicionantes predominantes en la evaluación alternativa de susceptibilidad para cada una de las metodologías y sus valores máximos considerados.**

Mecanismo de remoción en masa evaluado	Factor condicionante predominante	Ponderación máxima considerada por metodología (%)	
		Lara (2007)	Muñoz (2013)
Deslizamientos de suelo	Pendiente promedio de la ladera	30	15
	Características geológicas y geotécnicas	20	15
Flujos	Pendiente canal de drenaje	25	20
	Encajonamientos del canal de drenaje	7	15
	Características geológicas y geotécnicas	25	15
Caídas de roca	Pendiente promedio ladera	35	15
	Características geológicas y geotécnicas	35	15
	Desestabilización artificial de laderas	5	25

En primer lugar, con respecto al análisis de susceptibilidad de deslizamientos de suelo, se puede observar que Muñoz (2013) considera una ponderación máxima de 15 para el factor condicionante de pendiente, que corresponde a la mitad de la que considera Lara (2007), con esto es de esperarse que ocurra una subestimación de la susceptibilidad a nivel de hoya hidrográfica para deslizamientos de suelo al aplicar Muñoz (2013) alternativamente, con respecto a la obtenida por la metodología original de Lara (2007). Lo mismo ocurre para el caso de las condiciones geológicas geotécnicas, que se consideran con un máximo de 15 y 20 respectivamente. Por otro lado, Muñoz considera también la forma de la unidad como un factor condicionante, sin embargo la ponderación que le entrega en caso de ser favorable a la ocurrencia del mecanismo, es de solo 5 puntos como máximo y no influye en la sumatoria final de manera considerable.

La evaluación de susceptibilidad para mecanismos de tipo flujo a través de la aplicación alternativa de ambas metodologías muestra valores similares, esto se debe principalmente a que Lara (2007) considera valores máximos de 25 para pendiente del



canal de drenaje, mientras que Muñoz (2013) ,20. Además el primer método considera máximos de solo 7 para encajonamiento de canal de drenaje versus 15 de Muñoz (2013). Pero, por el contrario Lara (2007) estima valores máximos de 25 para las condiciones geológicas y geotécnicas del material, mientras que Muñoz (2013), valores menores de solo 15 como máximo. De este modo, los ponderadores utilizados se equilibran para dar valores de susceptibilidad semejantes, y como se dijo antes, aquellas unidades que entregan valores mayores a 60 en la aplicación alternativa de Muñoz (2013), son influenciadas directamente por un mayor encajonamiento del canal de drenaje.

Para el caso de los mecanismos de tipo caídas de roca, Lara (2007) considera un máximo de ponderación de 35, mientras Muñoz (2013), un máximo de 15. Al igual que las condiciones geológicas y geotécnicas del material, la pendiente en Lara (2007) puede llevar a sobreestimar los valores de susceptibilidad con respecto a la metodología original. No ocurre lo mismo con el factor de desestabilización artificial de laderas, en que Muñoz (2013) considera un máximo de 25 puntos, versus 5 puntos ponderados por Lara (2007) como máximo, además Muñoz (2013) en esta oportunidad también considera la forma de la unidad como factor condicionante de importancia. Así el mapa producto del análisis a través de la aplicación alternativa de la metodología de Muñoz (2013), entrega valores un poco menores que los obtenidos con la metodología original de Lara (2007).

### ***Cambios de ponderación propuestos***

En general, se observa que al aplicar la metodología de Lara (2007) a escala 1:5000, los valores obtenidos muestran mayor exageración con respecto a los mapas obtenidos mediante la metodología original a 1:20000.

Por otro lado la metodología de Muñoz (2013) muestra valores que se aproximan de mejor manera a los obtenidos antes de aplicar la metodología alternativamente. Además esta metodología considera factores condicionantes que implican mayor detalle por lo que los resultados pueden significar un dato con alto grado de fidelidad. El principal problema para calibrar las metodologías, es que en la zona de estudio no existe gran cantidad de eventos de remociones en masa anteriores, es por esto que se proponen algunos cambios para las ponderaciones de los factores condicionantes más evidentes reconocidos en la zona.

Al analizar la susceptibilidad a mecanismos de tipo deslizamientos de suelo a través de esta metodología, según las características geológicas y geotécnicas del material presente en el área de estudio, y dados los antecedentes de este tipo de mecanismos observados en las visitas a terreno a lo largo de la unidad de suelo superficial, sería esperable que el mapa de susceptibilidad entregase al menos algunas unidades de ladera natural con susceptibilidad de deslizamientos de suelo de carácter

superficial. Además, como se mostró anteriormente, los factores condicionantes dominantes en la zona de estudio son la pendiente promedio de las unidades y las características geológicas y geotécnicas del material presente. Por lo tanto, se propone aumentar la ponderación del factor pendiente promedio de la unidad en 5 puntos, y disminuir en igual cantidad el máximo de ponderación para el factor de exposición al sol, además de aumentar de un máximo de 15 a 20 el factor de características geológicas y geotécnicas, y disminuir en 5 puntos el factor de cercanía a falla mayor.

Para el caso de mecanismos de tipo flujo los valores obtenidos de susceptibilidad para ambas metodologías alternativas son similares, y debido a que no se tiene registro de remociones en masa de este tipo en el área, se hace más difícil aún calibrar los valores de ponderación máxima y es preferible no recomendar un cambio.

Para el caso de susceptibilidad de caída de rocas, como se mencionó antes, se observa que el mapa generado por la aplicación de la metodología de Muñoz (2013) no entrega susceptibilidad a una unidad que sí presenta caídas de roca observadas en terreno, en cambio Lara (2007) a escala 1:5.000 si le otorga susceptibilidad, lo cual es esperable, debido a lo anterior se estima conveniente aumentar la ponderación máxima del factor pendiente promedio de la unidad en 10 puntos, y en igual cantidad disminuir el máximo para el factor de desestabilización de laderas.

En la Tabla 5.3 se muestra un resumen de los cambios de ponderación máxima propuestos en este trabajo.

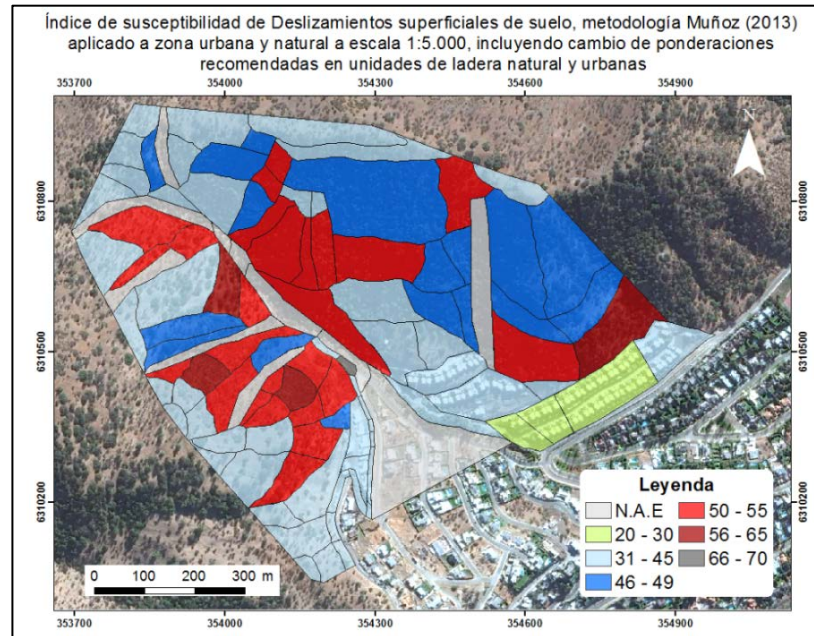
**Tabla 5.3. Factores condicionantes a los que se propone modificar su ponderación máxima.**

Mecanismo de remoción en masa a evaluar	Metodología Muñoz (2013)	Factor condicionante y su ponderación máxima				
		Pendiente promedio de ladera	Exposición al sol	Características geológicas y geotécnicas	Desestabilización artificial de laderas	Cercanía a falla mayor
Deslizamientos superficiales de suelo	Original	15	10	15		10
	Cambio propuesto	20	5	20		5
Caídas de roca	Original	10			25	
	Cambio propuesto	25			15	

Para esta zona de estudio en particular, se ha aplicado el cambio de ponderación en las tablas al momento de evaluar la susceptibilidad a remociones en masa de tipo deslizamientos superficiales de suelo y caídas de roca, con el fin de validar la propuesta planteada anteriormente. Las tablas en Anexo 4 incluyen el cambio de ponderación.

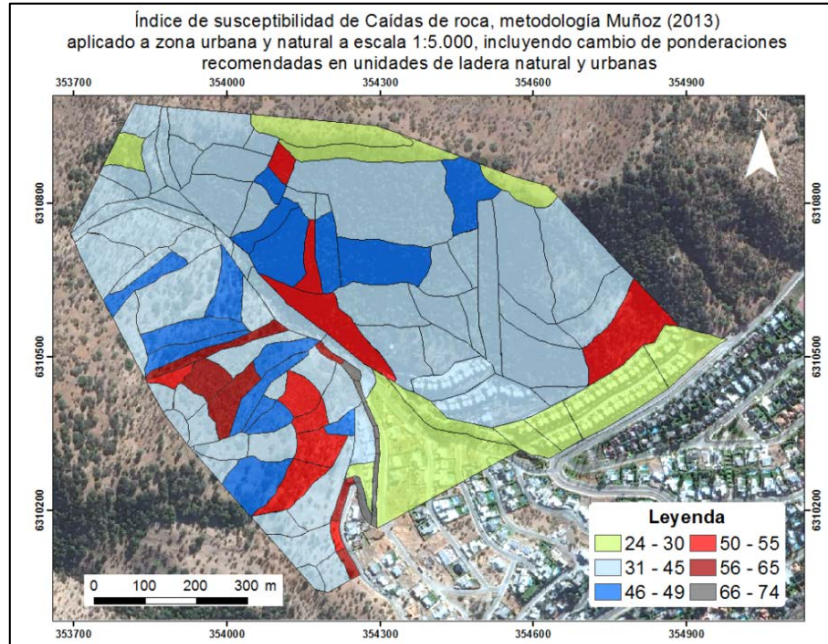
Así, siguiendo la metodología descrita en la sección 4.4.1, y considerando los cambios propuestos en unidades de ladera natural y urbana, se han generado los mapas de susceptibilidad mostrados en las Figuras 5.1, 5.2 a continuación.

## Deslizamientos superficiales de suelo



**Figura 5.1. Mapa de susceptibilidad de deslizamientos superficiales de suelo, metodología Muñoz (2013) con cambio de ponderaciones recomendadas en toda el área de estudio.**

## Caídas de roca



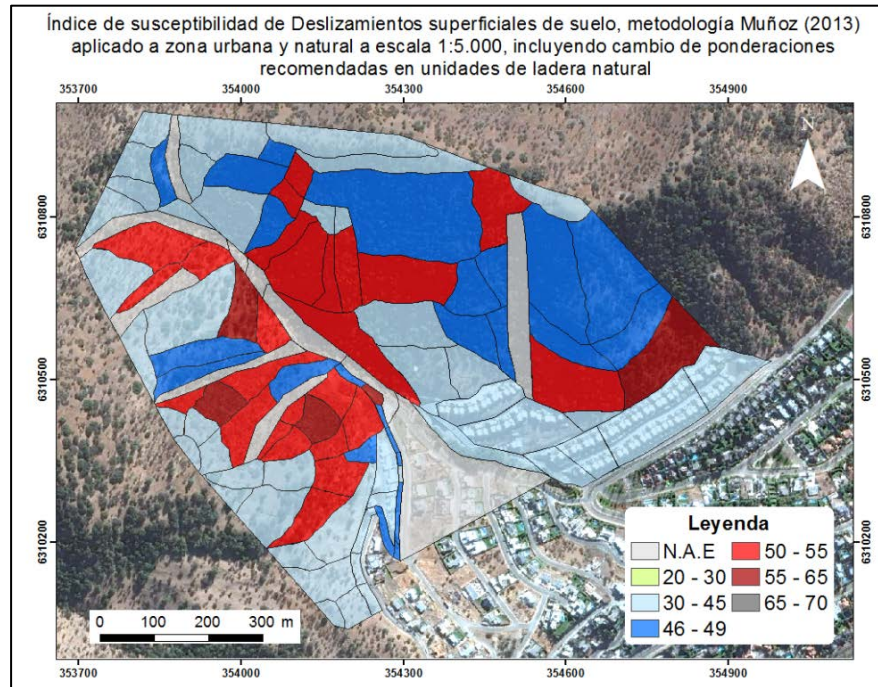
**Figura 5.2. Mapa de susceptibilidad de caídas de roca, metodología Muñoz (2013) considerando cambios en ponderación recomendadas en toda el área de estudio.**

Al comparar la evaluación producto de la aplicación de la metodología de Muñoz (2013) alternativamente, a escala 1:5.000 y unidades de ladera natural y urbana (Figuras 4.43 y 4.50), con los mapas obtenidos a través del cambio de ponderación recomendado (Figuras 5.1 y 5.2), se observa un aumento en la susceptibilidad de deslizamientos superficiales de suelo, condición esperable en la zona de estudio debido a los antecedentes de mecanismos de este tipo en la unidad de suelo superficial definida en la geología local. Además se reconoce que la unidad que anteriormente no presentaba susceptibilidad a pesar de registrar caídas de roca observadas en terreno, ahora sí registra susceptibilidad.

Por otro lado se muestran los mapas para cambio de ponderación a nivel de todas las unidades definidas a escala 1:5.000 y además aquellos con cambio de ponderación solo en las unidades de ladera natural, con el fin de verificar a qué nivel se recomienda el cambio de ponderación. Para deslizamientos superficiales de suelo se observa una disminución en la susceptibilidad de las unidades de talud urbano con respecto a la aplicación de la metodología original, debido principalmente a la gran intervención artificial que estas presentan y la disminución en el máximo de este factor considerado por la propuesta de cambio de ponderaciones. Para caídas de roca se observa un aumento de hasta 10 puntos en la susceptibilidad de las unidades urbanas, directamente relacionado con el aumento de ponderación del máximo a considerar para el factor condicionante de pendiente promedio.

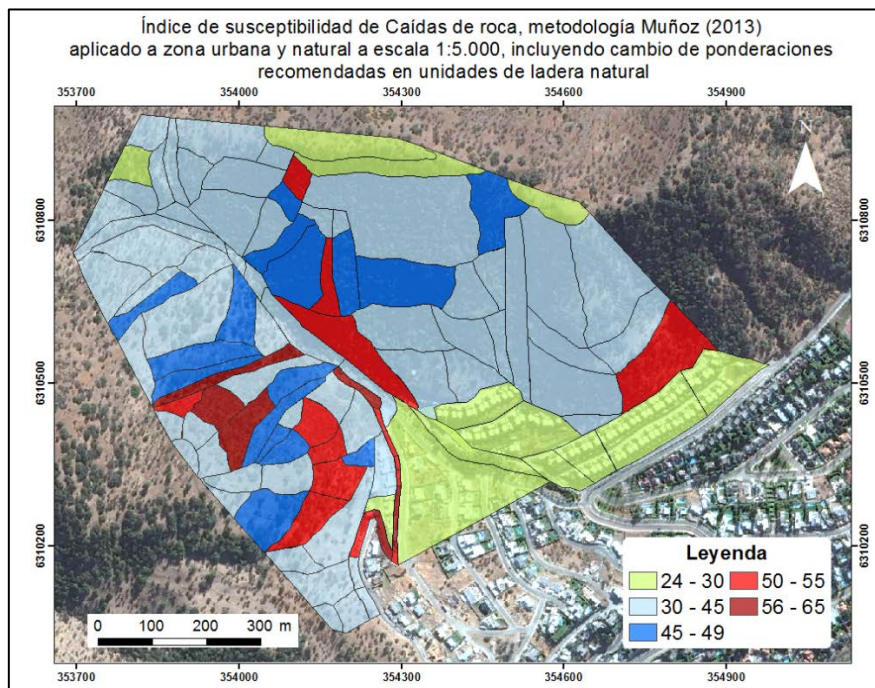
Según todo lo anterior, y sumado a que en la propuesta no existe cambio de escala asociado, y se sigue trabajando con las mismas unidades definidas a 1:5.000, es posible indicar que lo más óptimo a recomendar, es el cambio de ponderación para la aplicación alternativa de la metodología de Muñoz (2013), solo a nivel de unidades de ladera natural, conservando los valores de susceptibilidad obtenidos en la aplicación original de la misma metodología y además, considerando los valores intermedios para el factor condicionante de antecedentes, al igual que en este trabajo. Siguiendo este principio, los mapas que se muestran en las Figuras 5.3 y 5.4 serían el producto esperado de la propuesta de cambio de ponderación.

## Deslizamientos superficiales de suelo



**Figura 5.3. Mapa de susceptibilidad de deslizamientos superficiales de suelo, metodología Muñoz (2013) considerando cambios en ponderación recomendadas solo en unidades de ladera natural.**

## Caídas de roca



**Figura 5.4. Mapa de susceptibilidad de caídas de roca, metodología Muñoz (2013), incluyendo cambio de ponderaciones recomendadas solo en unidades de ladera natural.**

## ***Acerca del peligro de remociones en masa en el área de estudio***

Dada la aplicación de la metodología de Lara (2007) en la zona de estudio, se aprecia un área de mayor susceptibilidad para fenómenos de remociones en masa de tipo deslizamiento de suelo y caída de roca, en cambio para mecanismos de tipo flujo se considera una baja susceptibilidad.

La zona de estudio se encuentra inmersa en área metropolitana de Chile y como se ha descrito en el capítulo 4.3.4, presenta un clima mediterráneo, con precipitaciones que alcanzan un promedio anual de 330 mm entre los meses de Mayo y Septiembre, incluso llegando a los 450 mm debido a su ubicación al nororiente de la ciudad de Santiago. Los eventos más frecuentes tienen una duración de entre 1 y 2 días y suelen ser intensos durante los meses de invierno, acumulando más del 50% de la precipitación anual.

Con respecto a la sismicidad, como se ve reflejado en la Figura 4.34, los valores de PGA máximos para el área metropolitana donde se inserta, alcanzan entre un 50% y 60% de la aceleración de gravedad, pudiendo generarse sismos de mediana a alta magnitud e intensidad, estos últimos asociados a la presencia de la Falla San Ramón en la zona precordillerana de Santiago.

El grado de intervención antrópica presente en el área también puede formar parte de los factores gatillantes de fenómenos de remociones en masa en la zona, esta intervención incluye cortes artificiales de laderas con alta pendiente, además de obstrucción de canales de drenaje y utilización de relleno como fundación de las obras construidas en el área, y podrían ser principales desencadenantes de mecanismos de caídas de roca, aunque también dadas las condiciones de meteorización de las unidades presentes en el área, podrían provocar deslizamientos de suelo. Esto último adquiere gran importancia ya que se trata de una zona que en el último tiempo está siendo constantemente intervenida debido a la construcción principalmente de viviendas.

El análisis de los factores gatillantes, en conjunto con los resultados obtenidos en los mapas de susceptibilidad, donde se observa que el área presenta algunas zonas susceptibles a mecanismos de tipo caídas de roca y deslizamientos de suelos, muestra que el peligro en esta zona se asociaría más bien a eventos principalmente superficiales y locales.

Con respecto al riesgo, que considera el daño que se generará ante la ocurrencia de algún fenómeno, la zona se encuentra parcialmente habitada, y existen obras de construcción con fines de vivienda a lo largo de toda la quebrada de Los Chanchos, es por esto que se estima que el riesgo asociado al peligro en el área de estudio, podría resultar alto localmente si no se cuenta con la debida preparación ante estos fenómenos.

Esto puede extrapolarse a la mayoría de las zonas precordilleranas donde existe una expansión urbana que no está siendo controlada debidamente.

### ***Recomendaciones***

Como se ha indicado anteriormente, cuando se trate de zonas que incluyan área de ladera urbana y natural, se recomienda utilizar la metodología de Muñoz (2013) por sobre la metodología de Lara (2007) a escala 1:5.000, aplicando los cambios de ponderación máxima, y con ello las valoraciones intermedias (Anexo 4), para los factores condicionantes indicados en la Tabla 5.3.

No obstante el punto anterior, y ligado a que en la hoya hidrográfica de la quebrada de Los Chanchos existen pocos eventos de remociones en masa reconocidos que ayuden a calibrar de mejor manera las ponderaciones originales, es que se recomienda que la metodología con los cambios propuestos se aplique en otras zonas de hoya hidrográfica que reúnan características de ambiente urbano y natural, para corroborar lo planteado en este trabajo.

## 6 Conclusiones

Las conclusiones de este trabajo de memoria para el área de estudio son las siguientes:

- El área de estudio se ubica en la Región metropolitana, más específicamente en los faldeos precordilleranos del sector de La Dehesa, en la comuna de Lo Barnechea. La zona se caracteriza por presentar unidades de rocas volcánicas y sedimentarias estratificadas asignadas a la Formación Abanico descrita por Wall et al. en 1999. Dentro de las unidades de suelo presentes, se encuentra depósitos aluviales a lo largo de toda la quebrada y coluviales en los cortes artificiales de ladera, además de depósitos de relleno antrópico en las zonas urbanas, depósitos de remociones en masa antiguos concentrados en la zona oeste del área de estudio y por último, depósitos de remociones en masa recientes que evidencian que la zona se ha visto afectada por mecanismos superficiales de esta naturaleza en el último tiempo.
- La evaluación de susceptibilidad de remociones en masa se basa en la ponderación de diferentes factores condicionantes, dentro de ellos y enmarcándose en la zona de estudio, destacan las altas pendientes de taludes y laderas, además de características geológicas y geotécnicas medianamente favorables o favorables a mecanismos de remociones en masa, dependiendo del lugar a evaluar dentro de la misma zona, dadas por el alto grado de meteorización de las rocas y alta plasticidad de los suelos finos presentes. Los antecedentes de remociones en masa anteriores también forma parte de los factores condicionantes importantes a considerar.
- Dentro de la zona de estudio existe un alto grado de intervención antrópica debido al carácter urbano de parte del área y a la inminente expansión inmobiliaria hacia la quebrada de Los Chanchos, esto también constituye un factor condicionante importante.
- La evaluación de susceptibilidad de remociones en masa en la quebrada de Los Chanchos muestra que la zona de estudio es susceptible a fenómenos de remociones en masa superficiales de tipo deslizamiento de suelo y caída de rocas, y en menor grado a mecanismos de tipo flujo. Los valores de IS entregados por las metodologías de Lara (2007) y Muñoz (2013), tanto para zona urbana como para natural, reflejan resultados consistentes según las condiciones observadas en la zona de estudio.
- Las metodologías utilizadas para la evaluación de susceptibilidad a nivel de ladera natural (Lara (2007)) y de zona urbana (Muñoz (2013)), arrojan valores esperables a partir de las características observadas en terreno, no obstante lo anterior, y como la zona de estudio corresponde a un ambiente mixto (zona urbana y zona no



intervenida), se busca comparar la aplicabilidad de ambas metodologías cambiando la escala o el ambiente de aplicación respectivamente.

- Al realizar la aplicación alternativa de la metodología de Lara (2007) modificando la escala de 1:20.000 a 1:5000, se observa que los resultados se magnifican significativamente, no así al cambiar el ambiente de aplicación propuesto por Muñoz (2013) desde zonas urbanas a una zona mixta que incluye sectores urbanos y otros no intervenidos antrópicamente. Con esto, cuando se trate de un área que incluye unidades de ladera urbana y a la vez ladera natural, se recomienda la aplicación de la metodología de Muñoz (2013) con algunas modificaciones de ponderación para los factores condicionantes de pendiente, desestabilización artificial de laderas, exposición al sol, cercanía a una falla mayor y/o características geológicas y geotécnicas del material, dependiendo del mecanismo de remoción en masa a evaluar. Este cambio de ponderación se recomienda solo para aquellas unidades de ladera no intervenida, conservando los valores originales propuestos por Muñoz (2013) para las unidades de carácter urbano. Además se recomienda considerar valores intermedios de ponderación para el factor de antecedentes de remociones en masa anteriores cuando no se posea antecedentes al respecto.
- El carácter sísmico de nuestro país y específicamente del área en la que se enmarca la zona en evaluación, y la generación de precipitaciones intensas en épocas invernales o estivales, corresponden a importantes gatillantes de fenómenos de remociones en masa superficiales en la zona de estudio. El peligro en el área de estudio está ligado a mecanismos de carácter superficial y local.

## 7 Bibliografía

- Fock, A., 2005. Cronología y tectónica de la exhumación en el neógeno de Los Andes de Chile Central entre los 33° y los 34°S. Tesis de Magíster, Departamento de Geología, Universidad de Chile, Santiago. 152 p.
- Gajardo, R. 1994. La Vegetación Natural de Chile. Clasificación y Distribución Geográfica. Editorial Universitaria, Santiago, Chile. 165p.
- García, V., 2000. Fenómenos de remociones en masa asociados a la ocurrencia de anomalías atmosféricas, Santiago Oriente. Memoria para optar al Título de Geólogo, Departamento de Geología, Universidad de Chile.
- Garreaud, R. y Ruttlant, J., 1996. Análisis meteorológico de los aluviones de Antofagasta y Santiago de Chile en el periodo 1991-1993. *Atmósfera*, 9, p. 2251-271.
- Garreaud, R., 1993. Comportamiento atmosférico asociado a grandes crecidas hidrológicas en Chile central. Tesis para optar al título de Magíster en Ciencias Atmosféricas. Departamento de Geofísica, Universidad de Chile, 133 pp.
- González de Vallejo, L.; Ferrer, M.; Ortuño, L.; Oteo, C. 2002. Ingeniería Geológica. Editorial Pearson, 744p.
- Hauser Y. Arturo, remociones en masa en Chile versión actualizada. Servicio nacional de Geología y minería, Santiago. Boletín n°59 ,2002.
- Highland, L.M., and Bobrowsky, Peter, 2008, The landslide handbook—A guide to understanding landslides: Reston, Virginia, U.S. Geological Survey Circular 1325, 129 p.
- Lara, M. 2007. Metodología para la evaluación y zonificación de Peligro de Remociones en Masa con Aplicación en la quebrada San Ramón, Santiago Oriente, Región Metropolitana. Tesis para optar el Grado de Magíster en Ciencias Mención Geología y Memoria para optar al título de Geólogo. Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas. Departamento de Geología, 212 p.
- Leyton, F., Sepúlveda, S., Astroza, M., Rebolledo, S., González, L., Ruiz, S., Foncea, C., Herrera, M. y Lavado, J., 2010. "Zonificación sísmica de la cuenca de Santiago, Chile". En: X Jornadas Chilenas de Sismología e Ingeniería Antisísmica. Santiago, Chile.

- Montecinos, A. 1998. Pronóstico estacional de la Precipitación de Chile Central. Tesis para optar al grado de Magíster en Ciencias, Mención Geofísica. Departamento de Geofísica, Universidad de Chile. Montecinos, A. 1998. Pronóstico estacional de la Precipitación de Chile Central. Tesis para optar al grado de Magíster en Ciencias, Mención Geofísica. Departamento de Geofísica, Universidad de Chile.
- 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. Tesis para optar al grado de magíster en ciencias mención Geología. Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas. Departamento de Geología, 164 p.
- Padilla, C., 2006. Análisis de factores meteorológicos desencadenantes de remociones en masa en el sector oriente de Santiago. Memoria para optar al Título de Geólogo, Departamento de Geología, Universidad de Chile.
- Pérez, A., Ruiz, J.A., Vargas, G., Rauld, R., Rebolledo, S., Campos, J., 2013. Improving seismotectonics and seismic hazard assessment along the San Ramón Fault at the easternborder of Santiago city, Chile.
- Popescu, M.E.,2002. Landslide causal Factors and Landslides Remedial Options. Keynote Lecture, Proceedings 3rd International Conference on Landslides, Slope Stability and Safety of Infra-Structures, Singapore, p. 61-81.
- Proyecto Multinacional Andino: Geociencias para las comunidades Andinas, 2007. Movimientos en masa en la región andina, una guía para la evaluación de amenazas. Servicio nacional de geología y minería, publicación geológica multinacional No. 4, 432 p.
- Rauld, R., 2002. Análisis morfoestructural del frente cordillerano de Santiago Oriente, entre el río Mapocho y la quebrada de Macul. Memoria para optar al Título de Geólogo. Departamento de Geología, Universidad de Chile.
- 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.
- Sepúlveda, A., Rebolledo, S., Lara, M., Padilla, C. 2006. Landslide hazards in Santiago, Chile: An Overview. IAEG 2006, paper number 105.

- Sepúlveda, S.A., Rebolledo, S., Lara, M., Padilla, C., 2006. Landslide hazards in Santiago, Chile: an overview. 10º Congreso International Association of Engineering Geology and the Environment, Nottingham, Reino Unido. Paper No. 105 (CD-Rom).
- Sepúlveda, S., Rebolledo, S., et al., 2006. Recent catastrophic debris flows in Chile: Geological hazard, climatic relationships and human response. Quaternary International 158: 83-95.
- Sepúlveda, S.A, Piñero-Feliciangeli, L., Stumpf, A., Schachter, P., 2013. Susceptibilidad de Remoción en Masa en la Zona Cordillerana de Santiago mediante Métodos Estadísticos Multivariados.
- 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.
- Varnes, D.J., 1984. Landslide Hazard Zonation: A review of principles and practice. Natural Hazards 3, UNESCO, 63 p.
- Wall, R., Gana, P., Sellés, D., 1999. Mapa Geológico del área TilTil- Santiago, Región Metropolitana Servicio Nacional de Geología y Minería, Mapa Geológico, N° 11, escala 1:100.000.

## 8 Anexos

### 1. Tablas de Factores condicionantes para mecanismos de remociones en masa para ambas metodologías utilizadas.

#### 1.1 Factores condicionantes de deslizamientos de suelo, metodología Lara (2007).

Factor	Especificaciones	Rangos	%
1.-Pendientes de laderas	Promedio de ladera	15°-20°	9
		20°-25°	15
		25°-30°	21
		30°-40°	26
		>40°	30
2.- Exposición al sol	Para el caso de Chile central, alta exposición: laderas mirando al N, al estar expuestas al sol durante todo el año. Parcial: laderas mirando E_W. Baja: laderas mirando al S.	Alta	5
		Parcial	3
		baja	1
3.-Características geológicas-geotécnicas del material	Condiciones muy favorables para generación de deslizamiento son, entre otros, baja densidad (<~1,6- 1,8 kN/m3), baja resistencia, alta cantidad de material fino en su composición (>~50%); además de la estructura y estratificación del suelo. La generación de material removible a partir de roca se ve favorecido por alta meteorización y alteración.	muy favorable	20
		favorable	14
		medianamente favorable	10
		poco favorable	6
		muy poco favorable	2
4.-Condiciones de humedad y saturación	Considerar: (1)Capacidad de saturación por abajo (profundidad 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 suelo) cercana a 0 indica condiciones muy favorables de generación, ~0,5 es favorable.	muy favorable	10
		favorable	7
		poco favorable	3
		muy poco favorable	2
5.- Acumulación de nieve	Según estacionalidad	siempre	5
		estacional	2
		esporádica	1
		nula	0
6.- Cobertura vegetal	Densidad en la ladera	nula a baja	5
		moderada	2
		alta	0
7.-Desestabilización artificial de laderas	Por ejemplo cortes artificiales en laderas, construcción de terraplenes, etc.	importante	10
		poco importante	5
		no observado	0
8.-Deslizamientos declaradas en la unidad geomorfológica	Información escrita y/u observación de escarpes y superficies de deslizamiento.	presente	10
		sin antecedentes	3
		no observado	0
9.-Deslizamientos declaradas en la unidad geológica de suelo	Información escrita y/u observación de escarpes y superficies de deslizamiento.	presente	5
		sin antecedentes	2
		no observado	0
10.-Tipo de material	En este caso, el material roca no está en estudio, por lo tanto pondera por 0 al resto de los factores	suelo	1
		roca (cobertura <1 m de suelo)	0

**1.2 Factores condicionantes de deslizamientos en roca, metodología Lara (2007). Tabla extraída de Lara (2007).**

FACTOR	ESPECIFICACIONES	RANGOS	%
pendientes de laderas (f <sub>1</sub> )	Promedio de la unidad	15°-20°	11%
		20°-25°	15%
		25°-30°	20%
		30°-40°	25%
		40°-60°	30%
		>60°	35%
Características geológicas-geotécnicas del material (f <sub>2</sub> )	Su generación se ve favorecida por alto grado de fracturamiento, alta meteorización y presencia de agua en el macizo. La orientación de fracturas permitirán identificar el tipo de deslizamiento: deslizamiento plano (superficie de deslizamiento en el sentido de la ladera), cuña (por intersección de estructuras) o toppling (fracturas opuestas al sentido de la ladera). Puede considerarse valores bajos de RMR (<30) -modificado según orientación de estructuras en laderas- como indicativo aproximado de condiciones muy favorables para generación de deslizamientos.	muy favorable	35%
		favorable	28%
		medianamente favorable	18%
		poco favorable	11%
		muy poco favorable	4%
acumulación de nieve (f <sub>3</sub> )	Según estacionalidad	siempre	5%
		estacional	2%
		esporádica	1%
		nula	0%
desestabilización artificial de laderas (f <sub>4</sub> )	Por ejemplo cortes artificiales en laderas, construcción de terraplenes, etc.	importante	10%
		poco importante	5%
		no observado	0%
deslizamientos declarados en la ladera (f <sub>5</sub> )	Información escrita y/u observación de superficies de deslizamiento.	presente	15%
		sin antecedentes	5%
		no observado	0%
tipo de material (f <sub>6</sub> )	En este caso, el material suelo no está en estudio, por lo tanto pondera por 0 al resto de los factores. Suelo muy superficial en unidades mapeadas como roca no se considera.	suelo	0
		Roca (cobertura aproximada <1m-1,5m de suelo)	1

### 1.3 Factores condicionantes de flujos, metodología Lara (2007).

Factor	Especificaciones	Rangos	%
1.-Pendientes de laderas	Promedio de ladera	10°-15°	3
		15°-20°	6
		20°-25°	9
		25°-30°	11
		30°-40°	13
		>40°	15
2.- Encajamiento canal de drenaje al pie de la ladera	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
		5°-10°	5
		>10°	10
3.-Encajamiento canal de drenaje	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
		medio	4
		bajo	1
4.- Exposición al sol	Para el caso de Chile central, alta exposición: laderas mirando al N, al estar expuestas al sol durante todo el año. Parcial: laderas mirando E_W. Baja: laderas mirando al S.	Alta	3
		Parcial	2
		baja	0
5.-Características geológicas-geotécnicas del material	La generación de flujos se ve favorecida, entre otros, por suelos de baja compacidad, permeabilidad, y espesores críticos de suelo, presencia de estructuras y presencia de finos. En roca: alta meteorización y frecuencia de fracturas (valores bajos de GSI a nivel de ladera), litología (rocas menos resistentes) y alteraciones	muy favorable	25
		favorable	18
		medianamente favorable	13
		poco favorable	8
		muy poco favorable	3
6.-Condiciones de humedad y saturación	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
		favorable	7
		poco favorable	3
		muy poco favorable	2
7.- Acumulación de nieve	Según estacionalidad	siempre	5
		estacional	2
		esporádica	1
		nula	0
8.- Cobertura vegetal	Densidad en la ladera	nula a baja	5
		moderada	3
		alta	0
9.-Obstrucción canal de drenaje	No considera estructuras destinadas a contener los flujos	importante	5
		moderada	4
		baja	2
		no observado	0
10.-Desestabilización artificial de laderas	Por ejemplo cortes artificiales en laderas, construcción de terraplenes, etc.	importante	5
		poco importante	3
		no observado	0
11.-Aluviones declaradas en la hoya hidrográfica	Información escrita y/u observación de depósitos de flujos en la zona de estudio. Considerar como eventos frecuentes aquellos con recurrencia < 10 años.	históricos frecuentes	10
		históricos poco frecuentes	7
		prehistóricos	4
		sin antecedentes	1
12.-Tipo de material	En este caso, el material roca no está en estudio, por lo tanto pondera por 0 al resto de los factores	suelo	1
		roca (cobertura <1 m de suelo)	0

#### 1.4 Factores condicionantes de caídas de roca, metodología Lara (2007).

Factor	Especificaciones	Rangos	%
1.-Pendientes de laderas	Promedio de ladera	15°-20°	4
		20°-25°	10
		25°-30°	18
		30°-40°	25
		40°-60°	32
		>60°	35
2.-Características geológicas-geotécnicas del material	Será más favorable a medida que presente estructuras subverticales en el macizo, alta frecuencia de fracturas y orientación de fracturas en el sentido de la ladera. Se consideran además los factores generadores de deslizamientos de roca	muy favorable	35
		favorable	24
		medianamente favorable	15
		poco favorable	9
		muy poco favorable	3
3.-Acumulación de nieve	Asociado a procesos de hielo/deshielo, que contribuyen en la caídas de roca debido a la generación de esfuerzos en tracción en la roca	estacional	10
		siempre	4
		esporádica	2
		nula	0
4.-desestabilización artificial de laderas	Por ejemplo cortes artificiales en laderas, construcción de terraplenes, etc.	importante	5
		poco importante	3
		no observado	0
5.-Caídas de roca declaradas en la ladera	Presencia de bloques caídos	presente	15
		sin antecedentes	5
		no observado	0
6.-Tipo de material	En este caso, el material suelo no está en estudio, por lo tanto pondera por 0 al resto de los factores	suelo	0
		roca (cobertura <1 m de suelo)	1



### 1.5 Factores condicionantes de deslizamientos traslacionales de roca, metodología Muñoz (2013).

FACTOR	% máx.	DESGLOSE DE FACTORES	% máx.	ESPECIFICACIONES	RANGOS	%
GEOMORFOLOGÍA (F1)	35	Pendiente Promedio de la Unidad	20	Considerar la pendiente promedio de la ladera (obtenida del rastreo de pendientes) o su valor en caso de tener el dato de terreno	10° - 20°	1
					20° - 25°	2
					25° - 30°	3
					30° - 40°	10
					40° - 60°	13
					> 60°	20
	35	Altura máxima de la unidad	10	Considerar la altura máxima de la unidad	0m - 5m	1
					5m - 10m	2
					10m - 15m	3
					15m - 20m	4
					20m - 30m	5
					30m - 50m	7
35	Forma	5	Considerar si la ladera presenta una geometría regular, irregular, recta, concava o convexa y ver la influencia que tiene en el tipo de mecanismo analizado. Se evalúa la condición: si es una condición favorable, reduce la susceptibilidad; si es una geometría muy poco favorable, aumenta la susceptibilidad	muy favorable	-2	
				favorable	0	
				media	2	
				poco favorable	4	
				muy poco favorable	5	
				80-100	4	
GEOLOGÍA Y GEOTECNIA (F2)	35	Características Geológicas - Geotécnicas de la unidad	10	Considerar la calidad del macizo rocoso, mediante estimación o determinación de Rock Mass Rating (RMR). Rangos utilizan valores de RMR	60-80	8
					40-60	12
					20-40	16
					0-20	20
	35	Fracturamiento y/o presencia de bloques preformados	20	Evaluar si existen en la unidad bloques preformados limitados por estructuras que sean susceptibles a deslizar	no observado	1
					presentes puntualmente	6
					medianamente presentes	8
					muy presentes	10
	35	Cercanía a falla mayor y/o zona de cizalle	5	Definir si la zona analizada está cerca de la falla mayor	Unidad a más de 100 metros de falla mayor	0
					Unidad a menos de 100 metros de falla mayor	3
					Unidad es atravesada por una falla mayor	5
					Obra de estabilización mayor (por ejemplo, muros hormigón)	muy favorable
INTERVENCIÓN ANTRÓPICA (F3)	15	Presencia de Desestabilización/ Estabilización artificial. Se evalúa la condición de la unidad respecto al mecanismo analizado	15	Sistema de bancos y/o Soporte robusto	favorable	-6
				Unidad no intervenida (ladera natural)	nulo	0
				soporte insuficiente o intervención menor	medianamente favorable	6
				Regular desestabilización o intervención	desfavorable	9
				Desestabilización evidente	muy desfavorable	15
ANTECEDENTES (F4)	10	Deslizamientos de bloques declarados en la ladera	10	Ver si existen registros o evidencias de deslizamientos en la ladera	Presente	10
					no observado	0
CLIMA Y VEGETACIÓN (F5)	5	Condición de Humedad en la ladera	3	Ver si hay humedad en la ladera y/o vegetación intensa	Presente	3
		Presencia Vegetación	2	Ver si existe vegetación y si es favorable o no a la ocurrencia del mecanismo	no observado	0
					No Favorable a la ocurrencia del mecanismo	0
					Favorable a la ocurrencia del mecanismo	2
TIPO DE MATERIAL (F6)				Considerar si el material es compatible con el mecanismo. En este caso roca	No compatible	0
					Si compatible	1

## 1.6 Factores condicionantes de deslizamientos rotacionales, metodología Muñoz (2013).

FACTOR	% máx.	DESGLOSE DE FACTORES	% máx.	ESPECIFICACIONES	RANGOS	%	
GEOMORFOLOGIA (F1)	35	Pendiente Promedio de la Ladera	15	Considerar la pendiente promedio de la ladera (obtenida del rastreo de pendientes) o su valor en caso de tener el dato de terreno	15° - 20°	1	
					20° - 25°	2	
					25° - 30°	3	
					30° - 35°	8	
					35° - 40°	10	
	35	Altura máxima de la unidad	10	Considerar la altura máxima de la unidad	> 40°	15	
					0m - 5m	1	
					5m - 10m	2	
					10m - 15m	3	
					15m - 20m	4	
					20m - 30m	5	
	5	Exposición al Sol	5	Considerar la orientación de la ladera con respecto al Norte (en la zona central de Chile, considerar Alta (NW, W y SW ); Parcial (N, NE) y Baja (S, NE)	30m - 50m	7	
					50m - 100m	8	
					> 100m	10	
					baja	1	
5	Forma	5	Considerar si la ladera presenta una geometría regular, irregular, recta, concava o convexa y ver la influencia que tiene en el mecanismo de inestabilidad analizado	parcial	3		
				alta	5		
				muy favorable	-2		
				favorable	0		
				media	2		
GEOLOGÍA Y GEOTECNIA (F2)	35	Características Geológicas - Geotécnicas de la unidad	25	Considerar la calidad del macizo rocoso y grado de meteorización. Considerar espesor de suelo o cubierta de regolito. Se evalúa condición ante posible ocurrencia del mecanismo	poco favorable	4	
					muy poco favorable	5	
					muy poco favorable	4	
					poco favorable	8	
					medianamente favorable	12	
	10	Cercanía a falla mayor y/o zona de cizalle	10	Definir si la zona analizada está cerca de la falla mayor	favorable	16	
					muy favorable	20	
					Unidad a más de 100 metros de falla mayor	0	
					Unidad a menos de 100 metros de falla mayor	3	
					Unidad es atravesada por una falla mayor	5	
INTERVENCIÓN ANTRÓPICA (F3)	10	Presencia de Desestabilización/ Estabilización artificial. Se evalúa la condición de la unidad respecto al mecanismo analizado	10	Obra de estabilización mayor (por ejemplo, muros hormigón)	muy favorable	-7	
					Sistema de bancos y/o Soporte robusto	favorable	-4
					Unidad no intervenida (ladera natural)	nulo	0
					soporte insuficiente o intervención menor	medianamente favorable	4
					Regular desestabilización o intervención	desfavorable	7
ANTECEDENTES (F4)	10	Deslizamientos rotacionales declarados	10	Ver si existen registros o evidencias de deslizamientos rotacionales	Desestabilización evidente	muy desfavorable	10
					Presente	10	
CLIMA Y VEGETACIÓN (F5)	10	Condición de Humedad en la ladera	5	Ver si hay humedad en la ladera y/o vegetación intensa	no observado	0	
					Presente	5	
	5	Presencia Vegetación	5	Ver si existe vegetación y si es favorable o no a la ocurrencia del mecanismo	no observado	0	
					No favorable	0	
TIPO DE MATERIAL (F6)				Ver si el material de la ladera es compatible con el mecanismo	Favorable al mecanismo	5	
					Compatible: Suelos, sedimentos poco consolidados, macizos de muy mala calidad geotécnica o rocas blandas (dureza <math>R_2</math>)	1	
					No compatible: Macizos de regular a muy buena calidad geotécnica; rocas con dureza $R_3$ o mayor	0	

## 1.7 Factores condicionantes deslizamientos superficiales de suelo, metodología Muñoz (2013).

Factor	Especificaciones	Rangos	%
1.-Pendientes de laderas	Promedio de ladera	15°-20°	1
		20°-25°	2
		25°-30°	3
		30°-35°	8
		35°-40°	10
		>40°	15
2.-Altura máxima de la unidad	Considerar la altura máxima de la unidad	0-10 m	1
		10-20 m	2
		20-30 m	3
		30-40 m	4
		>40 m	5
3.- Exposición al sol	Para el caso de Chile central, alta exposición: laderas mirando al N, al estar expuestas al soldurante todo el año. Parcial: laderas mirando E_W. Baja: laderas mirando al S.	Alta	10
		Parcial	5
		baja	3
4.-Características geológicas-geotécnicas del material	Considerar la calidad del macizo rocoso, mediante estimación o determinación de Rock Mass Rating (RMR). Rangos utilizan valores de RMR	muy favorable	15
		favorable	12
		medianamente favorable	9
		poco favorable	6
		muy poco favorable	3
5.-Condiciones de humedad y saturación	Considerar: (1)Capacidad de saturación por abajo (profundidad 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 suelo) cercana a 0 indica condiciones muy favorables de generación, ~0,5 es favorable.	muy favorable	10
		favorable	7
		poco favorable	3
		muy poco favorable	2
6.-Cercanía a una falla y /o zona de cizalle mayor	Definir si la zona analizada está cerca de la falla mayor	Unidad a más de 100 m de distancia	0
		Unidad a más de 100 m de distancia	5
		Unidad es atravesada por una falla mayor	10
7.-desestabilización artificial de laderas	Obra de estabilización mayor (por ejemplo, muros de hormigón)	condición muy favorable	-4
	Sistema de bancos y/o Soporte robusto	condición favorable	-2
	Unidad no intervenida (ladera natural)	no intervenido	0
	soporte insuficiente o intervención menor	condición medianamente favorable	2
	Regular desestabilización o intervención	condición desfavorable	4
	Desestabilización evidente	condición muy desfavorable	10
8.-Deslizamientos de suelo reconocidos en la ladera	Ver si existen registros o evidencias de deslizamientos de suelo en la ladera	presente	10
		sin antecedentes	4
		no observado	0
9.-Condición de humedad en la ladera	Considerar humedad de la ladera, profundidad del nivel freático, niveles impermeables, saturación	Evidente	10
		Presente	7
		Posible	3
		sin antecedentes	0
10.- Presencia de vegetación	Ver si existe vegetación y si es favorable o no a la ocurrencia del mecanismo	No favorable	4
		favorable	10
11.- Tipo de material	En este caso, el material roca no está en estudio, por lo tanto pondera por 0 al resto de los factores	suelo	1
		roca (cobertura <1 m de suelo)	0

## 1.8 Factores condicionantes de Flujos, metodología Muñoz (2013).

Factor	Especificaciones	Rangos	%
1.-Pendientes del canal de drenaje	Se usa pendiente promedio de canal de drenaje	<5°	5
		5°-10°	15
		>10°	20
2.-Encajamiento canal de drenaje	Geomorfología y relación profundidad / ancho del canal. Alto encajonamiento, alta razón (>0.7)	bajo	4
		medio	8
		alto	15
3.-Condiciones de humedad y saturación	Asociado a: (1) Capacidad de saturación Nv. Freático < 2m poco favorable; >2m poco favorable; 2m favorable (2) capacidad de almacenaje de agua en el suelo (3) variaciones estacionales de humedad	sin antecedentes	0
		poco favorable	3
		medianamente favorable	5
		favorable	7
		muy favorable	10
4.-Características geológicas-geotécnicas del material	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 poco favorable	2
		poco favorable	6
		medianamente favorable	10
		favorable	12
		muy favorable	15
5.-Cercanía a una falla y /o zona de cizalle mayor	Definir si la zona analizada está cerca de la falla mayor	Unidad a más de 100 m de distancia	1
		Unidad a menos de 100 m de distancia	3
		Unidad es atravesada por una falla mayor	5
6.-Obstrucción canal de drenaje	Considera si existen obras de contención de flujo (como piscinas decantadoras) u obstrucción del cauce por escombros, basura, troncos u otros.	sistema de contención de flujos	-5
		no observado	1
		baja obstrucción	5
		moderada obstrucción	7
		importante obstrucción	10
7.-Aluviones declarados en la cuenca hidrográfica	Información escrita y/u observación de depósitos de flujos en la unidad	sin antecedentes	5
		prehistóricos	10
		históricos frecuentes	15
8.- Presencia de vegetación	Evaluar si la vegetación en la unidad es favorable o no para detener el mecanismo. Considerar favorable, árboles y arbustos con raíces robustas (que actúen como decantadores naturales). Considerar desfavorable vegetación fácilmente desgarrable.	favorable	5
		desfavorable	10
9.-Tipo de material	Se evalúa si el material de la unidad es compatible con el mecanismo. Si compatible (cauces activos o secos, trazas de quebradas) se multiplica suma de factores ponderados por 1. Si no es compatible, se evalúa si las unidades inmediatamente por sobre la unidad tienen IS de Deslizamientos superficiales de suelo > 50 (multiplicar por 1) o menor que 50 (multiplicar por 0)	compatible	1
		No compatible y Unidades inmediatamente encima tienen IS deslizamiento superficial suelo > 50	1
		No compatible y unidades aledañas sobre la unidad tienen IS deslizamiento superficial suelo < 50 o existen unidades aledañas que aporten material	0

## 1.9 Factores condicionantes de caídas de roca, metodología Muñoz (2013).

Factor	Especificaciones	Rangos	%	
1.-Pendientes promedio de laderas	Considerar la pendiente promedio de la ladera (obtenida del rastreo de pendientes) o su valor en caso de tener el dato de terreno	10°-20°	1	
		20°-25°	2	
		25°-30°	3	
		30°-40°	8	
		40°-60°	10	
		>60°	15	
2.-Altura máxima de la unidad	Considerar la altura máxima de la unidad	0-5 m	0	
		5-10 m	1	
		10-15 m	3	
		15-20 m	4	
		20-30 m	5	
		30-50 m	7	
		50-100 m	8	
>100 m	10			
3.-Forma	Considerar si la ladera presenta una geometría regular, irregular, recta, cóncava o convexa y ver la influencia que tiene en el tipo de mecanismo analizado. Se evalúa la condición: si es una condición favorable, reduce la susceptibilidad; si es una geometría muy poco favorable, aumenta la susceptibilidad	muy favorable	0	
		favorable	1	
		medianamente favorable	4	
		poco favorable	7	
		muy poco favorable	10	
4.-Características geológicas-geotécnicas del material	Considerar la calidad del macizo rocoso, mediante estimación o determinación de Rock Mass Rating (RMR). Rangos utilizan valores de RMR	muy favorable	3	
		favorable	6	
		medianamente favorable	9	
		poco favorable	12	
		muy poco favorable	15	
5.-Cercanía a una falla y /o zona de cizalle mayor	Definir si la zona analizada está cerca de la falla mayor	Unidad a más de 100 m de distancia	0	
		Unidad a más de 100 m de distancia	3	
		Unidad es atravesada por una falla mayor	5	
6.-desestabilización artificial de laderas	Obra de estabilización mayor (por ejemplo, muros de hormigón)	condición muy favorable	-10	
		Sistema de bancos y/o Soporte robusto	condición favorable	-2
		Unidad no intervenida (ladera natural)	no intervenido	0
		soporte insuficiente o intervención menor	condición medianamente favorable	15
		Regular desestabilización o intervención	condición desfavorable	19
		Desestabilización evidente	condición muy desfavorable	25
7.-Caídas de roca reconocidas en la ladera	Ver si existen registros o evidencias de caídas en la ladera	presente	10	
		sin antecedentes	4	
		no observado	0	
8.-Condición de humedad en la ladera	Ver si hay humedad en la ladera	Presente	5	
		No observado	0	
9.- Presencia de vegetación	Ver si existe vegetación y si es favorable o no a la ocurrencia del mecanismo	No favorable	0	
		favorable	5	
10.-Tipo de material	En este caso, el material suelo no está en estudio, por lo tanto pondera por 0 al resto de los factores	suelo	0	
		roca (cobertura <1 m de suelo)	1	

## 2. Descripción zona de estudio

Tabla indica puntos de observación de unidad de suelo superficial en terreno, sus características y clasificación.

<b>Parada</b>	<b>Tamaño grano máximo</b>	<b>Gradación</b>	<b>Forma granos</b>	<b>Color</b>	<b>Humedad</b>	<b>Compacidad</b>	<b>Clasificación</b>
2	8mm	media	angulares a subangulares	Café oscuro	seco	media-alta	Arcilla de plasticidad media-alta
4	3 mm	media-buena	redondeados a subredondeados	Café claro	seco	media- baja	Arcilla limosa de plasticidad media a baja
5	1,5 mm	media-buena	redondeados a subangulares	Café medio oscuro	seco	alta	Limo de plasticidad alta
6	1 mm	media	redondeados	Café muy claro	seco	muy alta	Limo de plasticidad muy baja
7	< 1 mm	buena	redondeados a subangulares	Café medio oscuro	seco	media-baja	Arcilla limosa de plasticidad media a baja
8	< 1 mm	buena	angulares a subangulares	Café medio oscuro	seco	baja	Limo de plasticidad alta
9	< 1 mm	buena	angulares a subangulares	Café medio	seco	muy baja	Limo de plasticidad alta

### 3 Tablas de cálculo de índice de susceptibilidad

En cada tabla se indican aquellas unidades que obtienen  $IS > 50$ , y los factores condicionantes que influyen mayormente en los resultados. Aquellas unidades en las que no aplica la evaluación de susceptibilidad, se denotan con "N.A.E"

#### 3.1 Índice de susceptibilidad a deslizamientos de suelo, metodología Lara (2007), escala 1:20000.

Unidad	F1DSL	F2DSL	F3DSL	F4DSL	F5DSL	F6DSL	F7DSL	F8DSL	F9DSL	F10DSL	ISDSL (1:20.000)
0	6	1	10	7	0	2	0	3	5	1	34
1	11	1	10	7	0	0	0	3	5	1	37
2	6	3	10	7	0	0	0	3	5	1	34
3	11	1	10	7	0	0	0	5	5	1	39
4	11	1	10	7	0	0	0	3	5	1	37
5	6	3	10	7	0	2	0	0	5	1	33
6	11	3	14	7	0	2	0	10	5	1	52
7	11	5	14	7	0	2	0	0	5	1	44
8	3	3	14	7	0	2	0	0	5	1	34
9	9	3	14	7	0	2	10	0	5	1	50
10	6	3	14	7	0	2	10	0	5	1	N.A.E
11	9	5	14	7	0	2	10	0	5	1	N.A.E
12	6	5	14	7	0	5	10	5	5	1	N.A.E
13	9	5	14	7	0	2	10	0	5	1	52
14	9	1	14	7	0	2	0	0	5	1	N.A.E
15	6	3	14	7	0	2	10	0	5	1	47
16	11	1	14	7	0	2	10	0	5	1	N.A.E
17	6	5	10	7	0	0	10	0	5	1	43
18	11	5	10	7	0	0	0	3	5	1	N.A.E
19	6	3	10	7	0	0	0	3	5	1	N.A.E
20	15	1	10	7	0	2	10	0	5	1	50
21	6	1	10	7	0	0	0	3	5	1	N.A.E
22	0	3	10	7	0	0	0	3	5	1	N.A.E
23	0	3	10	7	0	0	0	3	5	1	N.A.E
24	6	1	10	7	0	0	0	3	5	1	N.A.E
25	11	3	10	7	0	0	0	3	5	1	N.A.E
26	6	3	10	2	0	2	0	3	2	1	28
27	9	3	10	2	0	2	0	3	2	1	31
28	26	3	10	7	0	2	5	0	5	1	58
29	15	3	10	7	2	0	5	0	5	1	57
30	13	3	10	7	0	0	0	3	5	1	N.A.E
31	26	3	10	7	0	2	5	10	5	1	68
32	26	3	10	7	0	2	5	10	5	1	68
35	6	3	10	7	0	2	0	0	5	1	33
36	6	3	14	7	0	2	5	3	5	1	45
39	6	3	10	7	0	0	0	3	5	1	N.A.E
40	3	3	10	7	0	0	0	3	5	1	N.A.E

**3.2 Índice de susceptibilidad a mecanismos de remoción en masa tipo flujo, metodología Lara (2007), escala 1:20000.**

Unidad	F1FL	F3FL	F4FL	F5FL	F6FL	F7FL	F8FL	F9FL	F10FL	F11FL	F12FL	ISFL (1:20.000)
0	16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
1	21	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
2	16	0	2	0	0	0	0	0	0	0	1	0
3	21	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
4	21	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
5	16	0	2	0	0	0	0	0	0	0	1	0
6	21	0	2	0	0	0	0	0	0	0	1	0
7	21	1	3	13	7	0	3	0	0	0	1	0
8	13	1	2	13	7	0	3	0	0	1	1	0
9	19	0	2	0	0	0	0	0	0	0	1	0
10	5	7	2	13	7	0	0	4	5	0	1	43
11	19	4	3	13	7	0	3	0	0	0	1	49
12	16	4	3	13	7	0	3	0	0	1	1	47
13	19	0	3	0	0	0	0	0	0	0	1	0
14	19	1	0	13	7	0	0	0	0	1	1	41
15	16	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
16	21	1	0	13	7	0	0	0	3	1	1	46
17	16	0	3	0	0	0	0	0	0	0	1	0
18	21	1	3	13	7	0	3	0	0	1	1	49
19	13	7	2	13	7	0	3	2	5	1	1	53
20	19	1	0	8	7	0	0	0	0	1	1	0
21	16	1	0	8	7	0	3	0	3	1	1	39
22	21	1	2	8	7	0	3	0	3	1	1	46
23	21	1	2	13	7	0	0	0	3	1	1	48
24	16	4	0	8	2	0	3	0	0	1	1	34
25	21	4	2	8	7	0	3	0	3	1	1	49
26	16	1	2	8	7	0	0	0	0	1	1	0
27	19	1	2	8	7	0	0	0	0	1	1	0
28	23	1	2	8	7	0	0	0	0	1	1	0
29	19	1	2	8	7	0	0	0	0	1	1	0
30	23	1	2	8	7	0	3	0	3	1	1	47
31	23	1	2	8	7	0	0	0	0	1	1	0
32	23	1	2	8	7	0	0	0	0	1	1	0
35	16	1	2	8	7	0	0	0	0	1	1	0
36	16	1	2	8	7	0	0	0	0	1	1	0
39	16	4	2	13	7	0	3	0	0	1	1	46
40	13	7	2	13	7	0	3	2	3	1	1	51



### 3.3 Índice de susceptibilidad a caídas de roca, metodología Lara (2007), escala 1.20000.

Unidad	F1CRL	F2CRL	F3CRL	F4CRL	F5CRL	F6CRL	ISCRL (1:20.000)
0	4	9	0	0	5	1	18
1	18	15	0	0	5	1	38
2	4	15	0	0	5	1	24
3	18	15	0	0	5	1	38
4	18	15	0	0	5	1	38
5	4	15	0	0	15	1	34
6	18	15	0	0	15	1	48
7	18	15	0	0	15	1	48
8	0	15	0	0	15	1	30
9	10	15	0	5	15	1	45
10	4	15	0	5	15	1	39
11	10	15	0	5	15	1	45
12	4	5	0	5	15	1	29
13	10	15	0	5	15	1	45
14	10	15	0	0	15	1	40
15	4	15	0	5	15	1	39
16	18	15	0	5	15	1	53
17	4	15	0	5	15	1	39
18	18	15	0	0	5	1	38
19	4	15	0	3	15	1	37
20	10	15	0	5	15	1	45
21	4	15	0	3	15	1	37
22	18	15	0	3	15	1	51
23	18	15	0	5	15	1	53
24	4	15	0	0	5	1	24
25	18	15	0	3	15	1	51
26	4	9	0	0	5	1	18
27	10	9	0	0	5	1	24
28	25	15	0	3	15	1	58
29	10	15	0	3	15	1	43
30	25	15	0	3	15	1	58
31	25	15	0	3	15	1	58
32	25	15	0	0	5	1	45
35	4	15	0	0	5	1	24
36	4	15	0	3	15	1	37
39	4	15	0	0	5	1	24
40	0	15	0	0	5	1	20

**3.4 Índice de susceptibilidad para deslizamientos de suelo, metodología Muñoz (2013), escala 1:5000.**

Unidad	F1DSM	F2DSM	F3DSM	F4DSM	F5DSM	F6DSM	F7DSM	F8DSM	F9DSM	F10DSM	F11DSM	ISDSM
0	15	2	5	2	9	0	2	0	7	4	1	46
1	15	3	3	2	6	0	-4	0	7	4	1	36
2	15	1	5	4	9	0	2	0	7	4	1	47
3	15	2	5	2	9	0	-2	0	7	4	1	42
4	15	1	5	4	9	0	2	0	7	4	1	47
5	15	1	5	4	9	0	2	0	7	4	1	47
6	15	1	5	4	9	0	2	0	7	4	1	47
7	15	1	3	4	9	0	2	0	7	4	1	45
8	15	2	3	2	6	0	-4	0	7	4	1	35
9	15	4	3	0	6	0	-4	10	7	4	1	45
10	15	2	3	2	6	0	-4	0	7	4	1	36
11	2	2	5	2	9	0	2	0	7	4	1	31
12	15	2	5	2	9	0	4	0	7	4	1	48
13	15	2	5	4	9	0	4	10	7	4	1	60
14	15	1	5	2	9	0	-2	0	7	4	1	41
15	15	1	5	4	9	0	2	0	7	4	1	47
16	2	2	3	2	6	0	-2	0	7	4	1	31
17	2	2	3	2	6	0	-2	0	7	4	1	31

### 3.5 Índice de susceptibilidad para caídas de roca, metodología Muñoz (2013), escala 1:5000.

Unidad	F1CRM	F2CRM	F3CRM	F4CRM	F5CRM	F6CRM	F7CRM	F8CRM	F9CRM	F10CRM	ISCRM
0	15	3	4	12	0	15	10	5	0	1	64
1	15	5	4	9	0	-10	0	5	0	1	28
2	15	1	7	12	0	15	10	5	0	1	64
3	15	1	4	12	0	-2	0	5	0	1	35
4	15	0	7	12	0	15	0	5	0	1	54
5	15	0	7	12	0	15	0	5	0	1	54
6	15	0	7	12	0	15	0	5	0	1	54
7	15	1	7	12	0	15	0	5	0	1	55
8	15	4	4	9	0	-10	0	5	0	1	27
9	15	7	1	9	0	-10	0	5	0	1	27
10	15	4	4	9	0	-10	0	5	0	1	22
11	15	3	1	12	0	15	0	5	0	1	51
12	15	4	4	12	0	19	10	5	0	1	65
13	15	3	7	12	0	19	0	5	0	1	61
14	15	1	4	12	0	-2	0	5	0	1	35
15	15	0	7	12	0	15	0	5	0	1	54
16	2	4	4	9	0	-2	0	5	0	1	23
17	2	4	4	9	0	-2	0	5	0	1	23

**3.6 Índice de susceptibilidad para mecanismos de remoción en masa de tipo deslizamientos de suelo, aplicación alternativa metodología Lara (2007), escala 1:5000.**

Unidad	F1DS	F2DS	F3DS	F4DS	F5DS	F6DS	F7DS	F8DS	F9DS	F10DS	ISDSL (1:5000)
0	15	3	14	7	0	2	0	0	5	1	46
1	21	1	10	7	0	0	0	3	5	1	47
2	15	3	14	7	0	2	5	0	5	1	51
3	21	5	14	7	0	2	0	3	5	1	57
4	15	1	14	7	0	0	0	3	5	1	N.A.E
5	9	3	14	7	0	2	10	0	5	1	50
6	15	3	14	7	0	2	0	0	5	1	46
7	15	1	10	7	0	0	0	3	5	1	41
8	26	1	10	7	0	0	0	3	5	1	52
9	26	3	14	7	0	2	0	3	5	1	60
10	26	5	14	7	0	2	0	3	5	1	62
11	0	3	14	7	0	2	10	0	5	1	41
12	15	3	14	7	0	2	0	0	5	1	46
13	9	5	14	7	0	2	0	3	5	1	N.A.E
14	21	3	14	7	0	2	0	3	5	1	55
15	0	3	14	7	0	2	0	3	5	1	34
16	26	1	10	7	0	0	0	3	5	1	52
17	21	3	10	7	0	2	0	3	5	1	51
18	21	1	10	7	0	0	0	3	5	1	47
19	9	1	10	7	0	5	10	3	5	1	50
20	9	1	10	7	0	2	0	3	5	1	37
21	15	1	10	7	0	0	0	3	5	1	41
22	26	3	10	7	0	0	0	3	5	1	54
23	21	1	10	7	0	0	0	3	5	1	47
24	9	3	10	7	0	0	0	3	5	1	37
25	21	1	10	7	0	0	0	3	5	1	47
26	26	1	10	7	0	0	0	3	5	1	52
27	21	1	10	7	0	0	0	3	5	1	47
28	30	3	14	7	0	5	10	0	5	1	74
29	21	5	14	7	0	2	0	3	5	1	N.A.E
30	21	3	14	7	0	2	0	0	5	1	52
31	15	3	14	7	0	2	0	0	5	1	46
32	9	3	14	7	0	2	0	3	5	1	43
33	26	5	14	7	0	2	0	3	5	1	62
34	26	3	14	7	0	2	0	3	5	1	60
35	21	3	14	7	0	2	0	10	5	1	55
36	21	5	14	7	0	2	0	10	5	1	57
37	26	3	14	7	0	2	0	0	5	1	57
38	15	3	14	7	0	2	0	0	5	1	46
39	0	3	14	7	0	2	0	3	5	1	34
40	21	3	14	7	0	2	0	3	5	1	55
41	0	1	10	7	0	5	10	0	5	1	38
42	26	3	14	7	0	2	0	0	5	1	57
43	26	5	14	7	0	2	0	3	5	1	62
44	21	3	14	7	0	5	10	10	5	1	N.A.E
45	9	3	14	7	0	5	10	0	5	1	N.A.E
46	26	1	10	7	0	0	0	3	5	1	52
47	15	1	10	7	0	0	0	3	5	1	41
48	15	1	10	7	0	0	0	3	5	1	41
49	15	1	10	7	0	0	0	3	5	1	41
50	0	1	14	7	0	0	0	3	5	1	30
51	9	1	14	7	0	0	0	3	5	1	39
52	26	3	10	7	0	0	0	3	5	1	54
53	15	3	14	7	0	2	10	0	5	1	56
54	0	3	14	7	0	2	0	3	5	1	34
55	9	3	14	7	0	2	0	0	5	1	40
56	0	1	14	7	0	2	0	3	5	1	32

57	0	5	14	7	0	2	0	0	5	1	33
58	15	5	14	7	0	2	0	0	5	1	48
59	21	3	14	7	0	2	0	3	5	1	55
60	15	3	14	7	0	2	10	0	5	1	56
61	9	3	10	7	0	5	10	0	5	1	N.A.E
62	26	1	10	7	0	0	0	3	5	1	52
63	21	1	10	7	0	0	0	3	5	1	47
64	21	1	10	7	0	0	0	3	5	1	47
65	26	1	10	7	0	0	0	3	5	1	52
66	26	5	14	7	0	2	0	3	5	1	62
67	21	3	14	7	0	2	0	3	5	1	55
68	26	1	10	7	0	0	0	0	5	1	49
69	26	1	10	7	0	0	0	3	5	1	52
70	0	1	14	7	0	0	0	3	5	1	30
71	15	1	14	7	0	0	0	3	5	1	45
72	0	3	10	7	0	0	0	3	5	1	28
73	15	1	10	7	0	0	0	3	5	1	41
74	21	1	10	7	0	0	0	3	5	1	47
75	21	1	10	7	0	0	0	3	5	1	47
76	21	1	10	7	0	0	0	3	5	1	47
77	9	3	14	7	0	0	0	0	5	1	N.A.E
78	21	3	14	7	0	0	0	0	5	1	N.A.E
79	9	1	10	7	0	2	0	3	5	1	37
80	0	3	14	7	0	2	0	3	5	1	34
81	0	3	14	7	0	2	0	3	5	1	34
82	0	1	10	7	0	0	0	3	5	1	26
83	21	1	10	7	0	0	0	3	5	1	47
84	26	1	10	7	0	0	0	3	5	1	52
85	21	3	14	7	0	2	10	0	5	1	62
86	15	1	14	7	0	0	0	3	5	1	45
87	0	3	14	7	0	2	0	3	5	1	N.A.E
88	21	5	14	7	0	2	0	3	5	1	57
89	21	1	10	7	0	0	0	3	5	1	N.A.E
90	26	5	14	7	0	2	0	3	5	1	62
91	26	5	14	7	0	2	0	3	5	1	N.A.E
92	9	3	14	7	0	2	10	0	5	1	50
93	21	3	10	7	0	5	10	0	5	1	61
94	30	3	14	7	0	5	10	0	5	1	74
95	30	3	14	7	0	5	10	0	5	1	74
96	9	3	14	7	0	5	10	0	5	1	53
97	30	3	14	7	0	5	10	0	5	1	74
98	30	3	14	7	0	5	10	0	5	1	74
99	30	3	14	7	0	5	10	0	5	1	74
100	30	3	14	7	0	5	10	0	5	1	74
101	30	3	14	7	0	5	10	0	5	1	74
102	30	3	14	7	0	5	10	0	5	1	74
103	9	3	10	7	0	5	10	0	5	1	49
104	9	1	10	7	0	5	10	0	5	1	47
105	9	1	10	7	0	5	10	0	5	1	47
106	9	1	10	7	0	5	10	0	5	1	47
107	9	1	10	7	0	2	10	0	5	1	44
108	9	1	10	7	0	5	10	10	5	1	47
109	30	3	14	7	0	5	10	10	5	1	84
110	30	3	14	7	0	5	10	0	5	1	74
111	9	1	10	7	0	5	10	3	5	1	50

**3.7 Índice de susceptibilidad para fenómenos de remoción en masa de tipo flujo, aplicación alternativa metodología Lara (2007), escala 1:5000.**

Unidad	F1FL	F2FL	F3FL	F4FL	F5FL	F6FL	F7FL	F8FL	F9FL	F10FL	F11FL	F12FL	ISFL (1:5.000)
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	N.A.E
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	N.A.E
2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	N.A.E
3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	N.A.E
4	0	19	0	1	13	7	0	0	0	0	1	1	41
5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	N.A.E
6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	N.A.E
7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	N.A.E
8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	N.A.E
9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	N.A.E
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	N.A.E
11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	N.A.E
12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	N.A.E
13	0	19	2	1	13	7	0	3	0	0	1	1	46
14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	N.A.E
15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	N.A.E
16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	N.A.E
17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	N.A.E
18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	N.A.E
19	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	N.A.E
20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	N.A.E
21	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	N.A.E
22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	N.A.E
23	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	N.A.E
24	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	N.A.E
25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	N.A.E
26	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	N.A.E
27	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	N.A.E
28	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	N.A.E
29	0	19	2	1	13	7	0	3	0	0	1	1	46
30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	N.A.E
31	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	N.A.E
32	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	N.A.E
33	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	N.A.E
34	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	N.A.E
35	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	N.A.E
36	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	N.A.E
37	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	N.A.E
38	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	N.A.E
39	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	N.A.E
40	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	N.A.E
41	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	N.A.E
42	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	N.A.E
43	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	N.A.E
44	0	21	2	4	13	7	0	3	4	5	1	1	60
45	0	21	2	7	13	7	0	3	4	3	1	1	61
46	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	N.A.E
47	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	N.A.E
48	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	N.A.E
49	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	N.A.E
50	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	N.A.E
51	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	N.A.E
52	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	N.A.E
53	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	N.A.E
54	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	N.A.E
55	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	N.A.E
56	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	N.A.E
57	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	N.A.E
58	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	N.A.E
59	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	N.A.E

60	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	N.A.E
61	0	8	2	1	13	7	0	3	2	5	1	1	42
62	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	N.A.E
63	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	N.A.E
64	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	N.A.E
65	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	N.A.E
66	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	N.A.E
67	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	N.A.E
68	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	N.A.E
69	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	N.A.E
70	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	N.A.E
71	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	N.A.E
72	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	N.A.E
73	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	N.A.E
74	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	N.A.E
75	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	N.A.E
76	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	N.A.E
77	0	16	2	7	13	7	0	3	2	3	1	1	60
78	0	16	2	7	13	7	0	3	2	3	1	1	60
79	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	N.A.E
80	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	N.A.E
81	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	N.A.E
82	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	N.A.E
83	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	N.A.E
84	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	N.A.E
85	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	N.A.E
86	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	N.A.E
87	0	16	2	4	13	7	0	3	0	5	1	1	51
88	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	N.A.E
89	0	19	0	1	13	7	0	0	0	0	1	1	41
90	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	N.A.E
91	0	19	2	4	13	7	0	3	0	0	1	1	49
92	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	N.A.E
93	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	N.A.E
94	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	N.A.E
95	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	N.A.E
96	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	N.A.E
97	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	N.A.E
98	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	N.A.E
99	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	N.A.E
100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	N.A.E
101	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	N.A.E
102	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	N.A.E
103	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	N.A.E
104	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	N.A.E
105	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	N.A.E
106	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	N.A.E
107	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	N.A.E
108	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	N.A.E
109	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	N.A.E
110	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	N.A.E
111	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	N.A.E

**3.8 Índice de susceptibilidad para caídas de roca, aplicación alternativa metodología Lara (2007), escala 1:5000.**

Unidad	F1CR	F2CR	F3CR	F4CR	F5CR	F6CR	ISCRL(5:5000)
0	10	15	0	0	15	1	40
1	18	15	0	0	5	1	38
2	10	15	0	3	15	1	43
3	18	15	0	0	0	1	33
4	10	15	0	0	5	1	30
5	4	15	0	5	15	1	39
6	10	15	0	0	15	1	40
7	10	15	0	0	5	1	30
8	25	15	0	0	5	1	45
9	25	15	0	0	15	1	55
10	25	15	0	0	15	1	55
11	0	15	0	5	15	1	35
12	10	15	0	0	15	1	40
13	4	15	0	0	15	1	34
14	18	15	0	0	15	1	48
15	0	15	0	0	15	1	30
16	25	15	0	0	5	1	45
17	18	15	0	0	5	1	38
18	18	15	0	0	5	1	38
19	4	15	0	5	5	1	29
20	4	15	0	0	5	1	24
21	10	15	0	0	5	1	30
22	25	15	0	0	5	1	45
23	18	15	0	0	5	1	38
24	4	15	0	0	5	1	24
25	18	15	0	0	5	1	38
26	25	15	0	0	5	1	45
27	18	15	0	0	5	1	38
28	35	15	0	5	0	1	55
29	18	15	0	0	15	1	48
30	18	15	0	0	15	1	48
31	10	15	0	0	0	1	25
32	4	15	0	0	15	1	34
33	25	15	0	0	0	1	40
34	25	15	0	0	15	1	55
35	18	15	0	0	15	1	48
36	18	15	0	0	15	1	48
37	25	15	0	0	15	1	55
38	10	15	0	0	15	1	40
39	0	15	0	0	15	1	30
40	18	15	0	0	15	1	48
41	0	15	0	5	0	1	20
42	25	15	0	0	15	1	55
43	25	15	0	0	15	1	55
44	18	15	0	5	5	1	43
45	4	15	0	5	15	1	39
46	25	15	0	0	5	1	45
47	10	15	0	0	5	1	30
48	10	15	0	0	5	1	30
49	10	15	0	0	5	1	30
50	0	15	0	0	0	1	15
51	4	15	0	0	5	1	24
52	25	15	0	0	5	1	45
53	10	15	0	5	15	1	45
54	0	15	0	0	15	1	30
55	4	15	0	0	15	1	34
56	0	15	0	0	15	1	30



57	0	15	0	0	15	1	30
58	10	15	0	0	15	1	40
59	18	15	0	0	15	1	48
60	10	15	0	5	15	1	45
61	4	15	0	5	0	1	24
62	25	15	0	0	15	1	55
63	18	15	0	0	5	1	38
64	18	15	0	0	5	1	38
65	25	15	0	0	5	1	45
66	25	15	0	0	15	1	55
67	18	15	0	0	15	1	48
68	25	15	0	0	15	1	55
69	25	15	0	0	5	1	45
70	0	15	0	0	5	1	20
71	10	15	0	0	5	1	30
72	0	15	0	0	5	1	20
73	10	15	0	0	5	1	30
74	18	15	0	0	5	1	38
75	18	15	0	0	5	1	38
76	18	15	0	0	5	1	38
77	4	15	0	0	15	1	34
78	18	15	0	0	15	1	48
79	4	15	0	0	5	1	24
80	0	15	0	0	15	1	30
81	0	15	0	0	15	1	30
82	0	15	0	0	5	1	20
83	18	15	0	0	5	1	38
84	25	15	0	0	5	1	45
85	18	15	0	5	15	1	53
86	10	15	0	0	5	1	30
87	0	15	0	0	15	1	30
88	18	15	0	0	15	1	48
89	18	15	0	0	5	1	38
90	25	15	0	0	15	1	55
91	25	15	0	0	15	1	55
92	4	15	0	5	15	1	39
93	18	15	0	5	15	1	53
94	35	15	0	5	0	1	55
95	35	15	0	5	0	1	55
96	35	15	0	5	0	1	55
97	35	15	0	5	15	1	70
98	35	15	0	5	0	1	55
99	35	15	0	5	0	1	55
100	35	15	0	5	0	1	55
101	35	15	0	5	0	1	55
102	35	15	0	5	0	1	55
103	4	15	0	5	0	1	24
104	4	15	0	5	0	1	24
105	4	15	0	5	0	1	24
106	4	15	0	5	0	1	24
107	4	15	0	5	5	1	29
108	4	15	0	5	0	1	24
109	35	15	0	5	0	1	55
110	35	15	0	5	15	1	70
111	4	15	0	5	5	1	29

**3.9 Índice de susceptibilidad para mecanismos de remoción en masa de tipo deslizamientos de suelo, aplicación alternativa metodología Muñoz (2013), escala 1:5000.**

Unidad	F1DSM	F2DSM	F3DSM	F4DSM	F5DSM	F6DSM	F7DSM	F8DSM	F9DSM	F10DSM	F11DSM	ISDSM (Urb+Nat)
0	2	5	5	4	12	0	-2	0	3	4	1	33
1	3	5	3	5	9	0	0	4	3	4	1	36
2	2	5	5	4	12	0	0	0	3	4	1	35
3	3	5	10	4	12	0	0	0	3	4	1	41
4	2	4	3	5	12	0	0	4	3	4	1	0
5	1	5	5	4	12	0	10	0	3	4	1	44
6	2	5	5	5	12	0	0	0	3	4	1	36
7	2	5	3	5	9	0	0	4	3	4	1	35
8	8	5	3	5	9	0	0	4	3	4	1	41
9	8	5	5	4	12	0	0	0	3	4	1	41
10	8	5	10	4	12	0	0	0	3	4	1	46
11	0	3	5	2	12	0	10	0	3	4	1	39
12	2	3	5	5	12	0	0	0	3	4	1	34
13	1	5	10	5	12	0	0	0	3	4	1	0
14	3	5	5	4	12	0	0	0	3	4	1	36
15	0	2	5	2	12	0	0	0	3	4	1	28
16	8	5	3	2	9	0	0	4	3	4	1	38
17	3	4	5	2	9	0	0	4	3	4	1	34
18	3	5	3	5	9	0	0	4	3	4	1	36
19	1	5	3	2	9	0	4	0	3	4	1	31
20	1	5	3	5	9	0	0	4	3	4	1	34
21	2	2	3	2	9	0	0	4	3	4	1	29
22	8	4	5	5	9	0	0	4	3	4	1	42
23	3	3	3	5	9	0	0	4	3	4	1	34
24	1	4	5	5	9	0	0	4	3	4	1	35
25	3	5	3	5	9	0	0	4	3	4	1	36
26	8	5	3	5	9	0	0	4	3	4	1	41
27	3	5	3	5	9	0	0	4	3	4	1	36
28	0	2	5	2	9	0	2	0	7	4	1	31
29	3	5	10	5	12	0	0	0	3	4	1	0
30	3	5	5	5	12	0	0	0	3	4	1	37
31	2	4	5	5	12	0	0	0	3	4	1	35
32	1	3	5	2	12	0	0	0	3	4	1	30
33	8	4	10	4	12	0	0	0	3	4	1	45
34	8	5	5	4	12	0	0	0	3	4	1	41
35	3	3	5	4	12	0	4	0	3	4	1	38
36	3	3	10	4	12	0	4	0	3	4	1	43
37	8	5	5	4	12	0	0	0	3	4	1	41
38	2	4	5	4	12	0	0	0	3	4	1	34
39	0	2	5	4	12	0	-2	0	3	4	1	28
40	3	4	5	4	12	0	0	0	3	4	1	35
41	0	4	3	0	9	0	4	0	3	4	1	27
42	8	5	5	5	12	0	0	0	3	4	1	42
43	8	5	10	2	12	0	0	0	3	4	1	44
44	3	4	5	0	12	0	10	10	3	4	1	0
45	1	5	5	0	12	0	10	0	3	4	1	0
46	8	5	3	5	9	0	0	4	3	4	1	41
47	2	3	3	5	9	0	0	4	3	4	1	33
48	2	3	3	5	9	0	0	4	3	4	1	33
49	2	4	3	5	9	0	0	4	3	4	1	34
50	0	2	3	5	12	0	0	4	3	4	1	33
51	1	3	3	4	12	0	0	0	3	4	1	30
52	8	3	5	5	9	0	0	4	3	4	1	41
53	2	4	5	4	12	0	10	0	3	4	1	44
54	0	3	5	2	12	0	0	0	3	4	1	29
55	1	4	5	2	12	0	0	0	3	4	1	31
56	0	2	3	0	12	0	0	0	3	4	1	24
57	0	1	10	0	12	0	0	0	3	4	1	30
58	2	3	10	2	12	0	0	0	3	4	1	36
59	3	5	5	4	12	0	0	0	3	4	1	36

60	2	3	5	4	12	0	10	0	3	4	1	43
61	1	5	5	0	9	0	-2	0	3	4	1	0
62	8	5	3	4	9	0	0	4	3	4	1	40
63	3	3	3	4	9	0	0	4	3	4	1	33
64	3	5	3	5	9	0	0	4	3	4	1	36
65	8	5	3	5	9	0	0	4	3	4	1	41
66	8	5	10	5	12	0	0	0	3	4	1	47
67	3	5	5	4	12	0	0	0	3	4	1	36
68	8	5	3	4	9	0	0	4	3	4	1	40
69	8	5	3	5	9	0	0	4	3	4	1	41
70	0	1	3	5	12	0	0	4	3	4	1	32
71	2	3	3	5	12	0	0	0	3	4	1	32
72	0	2	5	0	9	0	0	4	3	4	1	27
73	2	4	3	4	9	0	0	4	3	4	1	33
74	3	5	3	5	9	0	0	4	3	4	1	36
75	3	5	3	4	9	0	0	4	3	4	1	35
76	3	5	3	4	9	0	0	4	3	4	1	35
77	1	2	5	4	12	0	0	0	3	4	1	0
78	3	3	5	4	12	0	0	0	3	4	1	0
79	1	5	3	4	9	0	0	4	3	4	1	33
80	0	4	5	4	12	0	-2	0	3	4	1	30
81	0	1	5	5	12	0	0	0	3	4	1	30
82	0	3	3	0	9	0	0	4	3	4	1	26
83	3	4	3	5	9	0	0	4	3	4	1	35
84	8	5	3	5	9	0	0	4	3	4	1	41
85	3	4	5	4	12	0	10	0	3	4	1	45
86	2	4	3	5	12	0	0	4	3	4	1	37
87	0	3	5	2	12	0	0	0	3	4	1	0
88	3	5	10	5	12	0	0	0	3	4	1	42
89	3	5	3	5	9	0	0	4	3	4	1	0
90	8	5	10	5	12	0	0	0	3	4	1	47
91	8	5	10	5	12	0	0	0	3	4	1	0
92	1	5	5	4	12	0	10	0	3	4	1	44
93	3	4	5	0	9	0	-2	0	3	4	1	26
94	0	2	5	2	9	0	-2	0	7	4	1	42
95	0	1	5	2	9	0	-2	0	7	4	1	41
96	0	1	5	4	9	0	2	0	7	4	1	47
97	0	2	5	2	9	0	2	0	7	4	1	46
98	0	1	3	4	9	0	2	0	7	4	1	45
99	0	1	5	4	9	0	2	0	7	4	1	47
100	0	1	5	4	9	0	2	0	7	4	1	47
101	0	1	5	4	9	0	2	0	7	4	1	47
102	0	1	5	4	9	0	2	0	7	4	1	47
103	1	5	5	0	9	0	-2	0	3	4	1	25
104	0	2	3	2	6	0	-4	0	7	4	1	35
105	0	2	3	2	6	0	-4	0	7	4	1	36
106	0	3	3	2	6	0	-4	0	7	4	1	36
107	1	5	3	2	9	0	-4	10	3	4	1	33
108	0	4	3	0	6	0	-4	10	7	4	1	45
109	0	2	5	4	9	0	4	10	7	4	1	60
110	0	2	5	2	9	0	4	0	7	4	1	48
111	1	5	3	2	9	0	4	0	3	4	1	31

**3.10 Índice de susceptibilidad para mecanismos de remoción en masa de tipo flujo, aplicación alternativa metodología Muñoz (2013), escala 1:5000.**

Unidad	F1FM	F2FM	F3FM	F4FM	F5FM	F6FM	F7FM	F8FM	F9FM	ISFM (Urb+Nat)
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	N.A.E
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	N.A.E
2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	N.A.E
3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	N.A.E
4	20	4	7	6	1	1	5	5	1	49
5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	N.A.E
6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	N.A.E
7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	N.A.E
8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	N.A.E
9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	N.A.E
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	N.A.E
11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	N.A.E
12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	N.A.E
13	20	4	7	10	1	1	5	5	1	53
14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	N.A.E
15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	N.A.E
16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	N.A.E
17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	N.A.E
18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	N.A.E
19	0	0	0	0	0	0	0	0	0	N.A.E
20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	N.A.E
21	0	0	0	0	0	0	0	0	0	N.A.E
22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	N.A.E
23	0	0	0	0	0	0	0	0	0	N.A.E
24	0	0	0	0	0	0	0	0	0	N.A.E
25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	N.A.E
26	0	0	0	0	0	0	0	0	0	N.A.E
27	0	0	0	0	0	0	0	0	0	N.A.E
28	0	0	0	0	0	0	0	0	0	N.A.E
29	20	4	7	10	1	1	5	5	1	53
30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	N.A.E
31	0	0	0	0	0	0	0	0	0	N.A.E
32	0	0	0	0	0	0	0	0	0	N.A.E
33	0	0	0	0	0	0	0	0	0	N.A.E
34	0	0	0	0	0	0	0	0	0	N.A.E
35	0	0	0	0	0	0	0	0	0	N.A.E
36	0	0	0	0	0	0	0	0	0	N.A.E
37	0	0	0	0	0	0	0	0	0	N.A.E
38	0	0	0	0	0	0	0	0	0	N.A.E
39	0	0	0	0	0	0	0	0	0	N.A.E
40	0	0	0	0	0	0	0	0	0	N.A.E
41	0	0	0	0	0	0	0	0	0	N.A.E
42	0	0	0	0	0	0	0	0	0	N.A.E
43	0	0	0	0	0	0	0	0	0	N.A.E
44	20	15	7	10	1	7	5	5	1	70
45	20	15	7	10	1	7	5	5	1	70
46	0	0	0	0	0	0	0	0	0	N.A.E
47	0	0	0	0	0	0	0	0	0	N.A.E
48	0	0	0	0	0	0	0	0	0	N.A.E
49	0	0	0	0	0	0	0	0	0	N.A.E
50	0	0	0	0	0	0	0	0	0	N.A.E
51	0	0	0	0	0	0	0	0	0	N.A.E
52	0	0	0	0	0	0	0	0	0	N.A.E
53	0	0	0	0	0	0	0	0	0	N.A.E
54	0	0	0	0	0	0	0	0	0	N.A.E
55	0	0	0	0	0	0	0	0	0	N.A.E
56	0	0	0	0	0	0	0	0	0	N.A.E
57	0	0	0	0	0	0	0	0	0	N.A.E
58	0	0	0	0	0	0	0	0	0	N.A.E
59	0	0	0	0	0	0	0	0	0	N.A.E

60	0	0	0	0	0	0	0	0	0	N.A.E
61	15	4	7	10	1	1	5	5	1	48
62	0	0	0	0	0	0	0	0	0	N.A.E
63	0	0	0	0	0	0	0	0	0	N.A.E
64	0	0	0	0	0	0	0	0	0	N.A.E
65	0	0	0	0	0	0	0	0	0	N.A.E
66	0	0	0	0	0	0	0	0	0	N.A.E
67	0	0	0	0	0	0	0	0	0	N.A.E
68	0	0	0	0	0	0	0	0	0	N.A.E
69	0	0	0	0	0	0	0	0	0	N.A.E
70	0	0	0	0	0	0	0	0	0	N.A.E
71	0	0	0	0	0	0	0	0	0	N.A.E
72	0	0	0	0	0	0	0	0	0	N.A.E
73	0	0	0	0	0	0	0	0	0	N.A.E
74	0	0	0	0	0	0	0	0	0	N.A.E
75	0	0	0	0	0	0	0	0	0	N.A.E
76	0	0	0	0	0	0	0	0	0	N.A.E
77	20	15	7	10	1	1	5	5	1	64
78	20	15	7	10	1	7	5	5	1	70
79	0	0	0	0	0	0	0	0	0	N.A.E
80	0	0	0	0	0	0	0	0	0	N.A.E
81	0	0	0	0	0	0	0	0	0	N.A.E
82	0	0	0	0	0	0	0	0	0	N.A.E
83	0	0	0	0	0	0	0	0	0	N.A.E
84	0	0	0	0	0	0	0	0	0	N.A.E
85	0	0	0	0	0	0	0	0	0	N.A.E
86	0	0	0	0	0	0	0	0	0	N.A.E
87	20	8	7	10	1	1	5	5	1	57
88	0	0	0	0	0	0	0	0	0	N.A.E
89	20	4	7	6	1	1	5	5	1	49
90	0	0	0	0	0	0	0	0	0	N.A.E
91	20	4	7	10	1	1	5	5	1	53
92	0	0	0	0	0	0	0	0	0	N.A.E
93	0	0	0	0	0	0	0	0	0	N.A.E
94	0	0	0	0	0	0	0	0	0	N.A.E
95	0	0	0	0	0	0	0	0	0	N.A.E
96	0	0	0	0	0	0	0	0	0	N.A.E
97	0	0	0	0	0	0	0	0	0	N.A.E
98	0	0	0	0	0	0	0	0	0	N.A.E
99	0	0	0	0	0	0	0	0	0	N.A.E
100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	N.A.E
101	0	0	0	0	0	0	0	0	0	N.A.E
102	0	0	0	0	0	0	0	0	0	N.A.E
103	0	0	0	0	0	0	0	0	0	N.A.E
104	0	0	0	0	0	0	0	0	0	N.A.E
105	0	0	0	0	0	0	0	0	0	N.A.E
106	0	0	0	0	0	0	0	0	0	N.A.E
107	0	0	0	0	0	0	0	0	0	N.A.E
108	0	0	0	0	0	0	0	0	0	N.A.E
109	0	0	0	0	0	0	0	0	0	N.A.E
110	0	0	0	0	0	0	0	0	0	N.A.E
111	0	0	0	0	0	0	0	0	0	N.A.E

**3.11 Índice de susceptibilidad para mecanismos de remoción en masa de tipo caídas de roca, aplicación alternativa metodología Muñoz (2013), escala 1:5000.**

Unidad	F1CRM	F2CRM	F3CRM	F4CRM	F5CRM	F6CRM	F7CRM	F8CRM	F9CRM	F10CRM	ISCRM (Urb+Nat)
0	2	7	7	12	0	0	10	5	0	1	43
1	3	8	10	9	0	0	4	5	0	1	39
2	2	8	7	12	0	0	10	5	0	1	44
3	3	8	7	12	0	0	0	5	0	1	35
4	2	7	10	9	0	0	4	5	0	1	37
5	1	7	7	12	0	0	10	5	0	1	67
6	2	7	10	12	0	0	10	5	0	1	46
7	2	8	10	9	0	0	4	5	0	1	38
8	8	8	10	9	0	0	4	5	0	1	44
9	8	8	7	12	0	0	10	5	0	1	50
10	8	7	7	12	0	0	10	5	0	1	49
11	1	5	4	12	0	0	10	5	0	1	62
12	2	5	10	12	0	0	10	5	0	1	44
13	1	7	10	12	0	0	10	5	0	1	45
14	3	10	7	12	0	0	10	5	0	1	47
15	1	3	4	12	0	0	10	5	0	1	35
16	8	8	4	9	0	0	4	5	0	1	38
17	3	7	4	9	0	0	4	5	0	1	32
18	3	10	10	9	0	0	4	5	0	1	41
19	1	7	4	9	0	0	4	5	0	1	23
20	1	7	10	9	0	0	4	5	0	1	36
21	2	4	4	9	0	0	4	5	0	1	28
22	8	7	10	12	0	0	4	5	0	1	46
23	3	5	10	9	0	0	4	5	0	1	36
24	1	7	10	9	0	0	4	5	0	1	36
25	3	8	10	9	0	0	4	5	0	1	39
26	8	8	10	9	0	0	4	5	0	1	44
27	3	8	10	9	0	0	4	5	0	1	39
28	0	3	1	12	0	15	10	5	0	1	51
29	3	7	10	12	0	0	10	5	0	1	47
30	3	7	10	12	0	0	10	5	0	1	47
31	2	7	10	12	0	0	0	5	0	1	36
32	1	5	4	12	0	0	10	5	0	1	37
33	8	7	7	12	0	0	0	5	0	1	39
34	8	7	7	12	0	0	10	5	0	1	49
35	3	5	7	12	0	0	10	5	0	1	61
36	3	5	7	12	0	0	10	5	0	1	61
37	8	7	7	12	0	0	10	5	0	1	49
38	2	7	7	12	0	0	10	5	0	1	43
39	1	3	7	12	0	0	10	5	0	1	36
40	3	7	7	12	0	0	10	5	0	1	44
41	1	7	1	9	0	0	0	5	0	1	42
42	8	8	10	12	0	0	10	5	0	1	53
43	8	8	4	12	0	0	10	5	0	1	47
44	3	7	1	12	0	0	10	5	0	1	63
45	1	8	1	12	0	0	10	5	0	1	62
46	8	8	10	12	0	0	4	5	0	1	47
47	2	5	10	9	0	0	4	5	0	1	35
48	2	5	10	9	0	0	4	5	0	1	35
49	2	7	10	9	0	0	4	5	0	1	37
50	1	4	10	9	0	0	0	5	0	1	29
51	1	5	7	9	0	0	4	5	0	1	31
52	8	5	10	9	0	0	4	5	0	1	41
53	2	7	7	12	0	0	10	5	0	1	68
54	1	5	4	12	0	0	10	5	0	1	37
55	1	7	4	12	0	0	10	5	0	1	39
56	1	3	1	12	0	0	10	5	0	1	32
57	0	0	1	12	0	0	10	5	0	1	28

58	2	5	4	12	0	0	10	5	0	1	38
59	3	8	7	12	0	0	10	5	0	1	45
60	2	5	7	12	0	0	10	5	0	1	66
61	1	7	1	12	0	0	0	5	0	1	24
62	8	8	7	9	0	0	4	5	0	1	41
63	3	5	7	9	0	0	4	5	0	1	33
64	3	8	10	9	0	0	4	5	0	1	39
65	8	8	10	9	0	0	4	5	0	1	44
66	8	7	10	12	0	0	10	5	0	1	52
67	3	7	7	12	0	0	10	5	0	1	44
68	8	8	7	9	0	0	10	5	0	1	47
69	8	8	10	9	0	0	4	5	0	1	44
70	0	1	10	9	0	0	4	5	0	1	29
71	2	5	10	9	0	0	4	5	0	1	35
72	0	4	1	9	0	0	4	5	0	1	23
73	2	7	7	9	0	0	4	5	0	1	34
74	3	8	10	9	0	0	4	5	0	1	39
75	3	8	7	9	0	0	4	5	0	1	36
76	3	7	7	9	0	0	4	5	0	1	35
77	1	3	7	12	0	0	10	5	0	1	38
78	3	5	7	12	0	0	10	5	0	1	42
79	1	7	7	9	0	0	4	5	0	1	33
80	1	7	7	12	0	0	10	5	0	1	40
81	0	1	10	12	0	0	10	5	0	1	38
82	1	5	1	9	0	0	4	5	0	1	25
83	3	7	10	12	0	0	4	5	0	1	41
84	8	8	10	9	0	0	4	5	0	1	44
85	3	7	7	12	0	0	10	5	0	1	69
86	2	7	10	9	0	0	4	5	0	1	37
87	1	5	4	12	0	0	10	5	0	1	37
88	3	7	10	12	0	0	10	5	0	1	47
89	3	8	10	9	0	0	4	5	0	1	39
90	8	7	10	12	0	0	10	5	0	1	52
91	8	7	10	12	0	0	10	5	0	1	52
92	1	7	7	12	0	0	10	5	0	1	67
93	3	7	1	12	0	0	10	5	0	1	36
94	0	1	4	12	0	-2	10	5	0	1	65
95	0	0	4	12	0	-2	10	5	0	1	34
96	0	0	7	12	0	15	10	5	0	1	54
97	0	3	4	12	0	15	10	5	0	1	54
98	0	1	7	12	0	15	10	5	0	1	55
99	0	0	7	12	0	15	10	5	0	1	54
100	0	0	7	12	0	15	10	5	0	1	54
101	0	0	7	12	0	15	10	5	0	1	54
102	0	1	7	12	0	15	10	5	0	1	65
103	1	7	1	12	0	0	0	5	0	1	24
104	0	4	4	9	0	-10	10	5	0	1	27
105	0	4	4	9	0	-10	10	5	0	1	22
106	0	5	4	9	0	-10	10	5	0	1	38
107	1	7	4	9	0	0	4	5	0	1	20
108	0	7	1	9	0	-10	10	5	0	1	27
109	0	3	7	12	0	19	10	5	0	1	61
110	0	4	4	12	0	0	10	5	0	1	59
111	1	7	4	9	0	0	4	5	0	1	23

#### 4. Tablas de cálculo índice de susceptibilidad incluyendo cambios de ponderación propuestos para metodología Muñoz (2013) aplicada a escala 1:5000 en unidades de ladera urbana y natural.

4.1 índice de susceptibilidad de deslizamientos de suelo, metodología Muñoz (2013) aplicada a 1:5000 en unidades de ladera urbana y natural, considerando cambios de ponderación en factores condicionantes para toda la zona de estudio.

Unidad	F1DSM	F2DSM	F3DSM	F4DSM	F5DSM	F6DSM	F7DSM	F8DSM	F9DSM	F10DSM	F11DSM	ISDSM (Ponderación cambiada)
0	5	5	3	4	16	0	-2	0	7	4	1	42
1	1	5	2	5	12	0	0	4	7	4	1	49
2	5	5	3	4	16	0	0	0	7	4	1	44
3	1	5	5	4	16	0	0	0	7	4	1	51
4	5	4	2	5	16	0	0	4	7	4	1	4
5	2	5	3	4	16	0	10	0	7	4	1	51
6	5	5	3	5	16	0	0	0	7	4	1	45
7	5	5	2	5	12	0	0	4	7	4	1	44
8	3	5	2	5	12	0	0	4	7	4	1	54
9	3	5	3	4	16	0	0	0	7	4	1	54
10	3	5	5	4	16	0	0	0	7	4	1	56
11	0	3	3	2	16	0	10	0	7	4	1	45
12	5	3	3	5	16	0	0	0	7	4	1	43
13	2	5	5	5	16	0	0	0	7	4	1	4
14	1	5	3	4	16	0	0	0	7	4	1	49
15	0	2	3	2	16	0	0	0	7	4	1	34
16	3	5	2	2	12	0	0	4	7	4	1	51
17	1	4	3	2	12	0	0	4	7	4	1	46
18	1	5	2	5	12	0	0	4	7	4	1	49
19	2	5	2	2	12	0	4	0	7	4	1	38
20	2	5	2	5	12	0	0	4	7	4	1	41
21	5	2	2	2	12	0	0	4	7	4	1	38
22	3	4	3	5	12	0	0	4	7	4	1	54
23	1	3	2	5	12	0	0	4	7	4	1	47
24	2	4	3	5	12	0	0	4	7	4	1	41
25	1	5	2	5	12	0	0	4	7	4	1	49
26	3	5	2	5	12	0	0	4	7	4	1	54
27	1	5	2	5	12	0	0	4	7	4	1	49
28	0	2	3	2	12	0	2	0	7	4	1	36
29	1	5	5	5	16	0	0	0	7	4	1	4
30	1	5	3	5	16	0	0	0	7	4	1	50
31	5	4	3	5	16	0	0	0	7	4	1	44
32	2	3	3	2	16	0	0	0	7	4	1	37
33	3	4	5	4	16	0	0	0	7	4	1	55
34	3	5	3	4	16	0	0	0	7	4	1	54
35	1	3	3	4	16	0	4	0	7	4	1	51
36	1	3	5	4	16	0	4	0	7	4	1	53
37	3	5	3	4	16	0	0	0	7	4	1	54
38	5	4	3	4	16	0	0	0	7	4	1	43
39	0	2	3	4	16	0	-2	0	7	4	1	34
40	1	4	3	4	16	0	0	0	7	4	1	48
41	0	4	2	0	12	0	4	0	7	4	1	33
42	3	5	3	5	16	0	0	0	7	4	1	55
43	3	5	5	2	16	0	0	0	7	4	1	54
44	1	4	3	0	16	0	10	10	7	4	1	4
45	2	5	3	0	16	0	10	0	7	4	1	4
46	3	5	2	5	12	0	0	4	7	4	1	54
47	5	3	2	5	12	0	0	4	7	4	1	42
48	5	3	2	5	12	0	0	4	7	4	1	42
49	5	4	2	5	12	0	0	4	7	4	1	43
50	0	2	2	5	16	0	0	4	7	4	1	40
51	2	3	2	4	16	0	0	0	7	4	1	37



52	3	3	3	5	12	0	0	4	7	4	1	53
53	5	4	3	4	16	0	10	0	7	4	1	53
54	0	3	3	2	16	0	0	0	7	4	1	35
55	2	4	3	2	16	0	0	0	7	4	1	38
56	0	2	2	0	16	0	0	0	7	4	1	31
57	0	1	5	0	16	0	0	0	7	4	1	33
58	5	3	5	2	16	0	0	0	7	4	1	42
59	1	5	3	4	16	0	0	0	7	4	1	49
60	5	3	3	4	16	0	10	0	7	4	1	52
61	2	5	3	0	12	0	-2	0	7	4	1	4
62	3	5	2	4	12	0	0	4	7	4	1	56
63	1	3	2	4	12	0	0	4	7	4	1	46
64	1	5	2	5	12	0	0	4	7	4	1	49
65	3	5	2	5	12	0	0	4	7	4	1	54
66	3	5	5	5	16	0	0	0	7	4	1	57
67	1	5	3	4	16	0	0	0	7	4	1	49
68	3	5	2	4	12	0	0	4	7	4	1	53
69	3	5	2	5	12	0	0	4	7	4	1	54
70	0	1	2	5	16	0	0	4	7	4	1	39
71	5	3	2	5	16	0	0	0	7	4	1	42
72	0	2	3	0	12	0	0	4	7	4	1	32
73	5	4	2	4	12	0	0	4	7	4	1	42
74	1	5	2	5	12	0	0	4	7	4	1	49
75	1	5	2	4	12	0	0	4	7	4	1	48
76	1	5	2	4	12	0	0	4	7	4	1	48
77	2	2	3	4	16	0	0	0	7	4	1	4
78	1	3	3	4	16	0	0	0	7	4	1	4
79	2	5	2	4	12	0	0	4	7	4	1	39
80	0	4	3	4	16	0	-2	0	7	4	1	36
81	0	1	3	5	16	0	0	0	7	4	1	36
82	0	3	2	0	12	0	0	4	7	4	1	32
83	1	4	2	5	12	0	0	4	7	4	1	48
84	3	5	2	5	12	0	0	4	7	4	1	54
85	1	4	3	4	16	0	10	0	7	4	1	58
86	5	4	2	5	16	0	0	4	7	4	1	47
87	0	3	3	2	16	0	0	0	7	4	1	4
88	1	5	5	5	16	0	0	0	7	4	1	52
89	1	5	2	5	12	0	0	4	7	4	1	4
90	3	5	5	5	16	0	0	0	7	4	1	57
91	3	5	5	5	16	0	0	0	7	4	1	4
92	2	5	3	4	16	0	10	0	7	4	1	50
93	1	4	3	0	12	0	-2	0	7	4	1	38
94	0	2	3	2	12	0	-2	0	7	4	1	32
95	0	1	3	2	12	0	-2	0	7	4	1	31
96	0	1	3	4	12	0	2	0	7	4	1	37
97	0	2	3	2	12	0	2	0	7	4	1	36
98	0	1	2	4	12	0	2	0	7	4	1	36
99	0	1	3	4	12	0	2	0	7	4	1	37
100	0	1	3	4	12	0	2	0	7	4	1	37
101	0	1	3	4	12	0	2	0	7	4	1	37
102	0	1	3	4	12	0	2	0	7	4	1	37
103	2	5	3	0	12	0	-2	0	7	4	1	31
104	0	2	2	2	12	0	-4	0	7	4	1	29
105	0	2	2	2	12	0	-4	0	7	4	1	29
106	0	3	2	2	12	0	-4	0	7	4	1	30
107	2	5	2	2	12	0	-4	10	7	4	1	40
108	0	4	2	0	12	0	-4	10	7	4	1	39
109	0	2	3	4	12	0	4	10	7	4	1	70
110	0	2	3	2	12	0	4	0	7	4	1	38
111	2	5	2	2	12	0	4	0	7	4	1	38

**4.2 índice de susceptibilidad de deslizamientos de suelo, metodología Muñoz (2013) aplicada a 1:5000 en unidades de ladera urbana y natural, considerando cambios de ponderación en factores condicionantes solo para unidades de ladera natural.**

Unidad	F1DSM	F2DSM	F3DSM	F4DSM	F5DSM	F6DSM	F7DSM	F8DSM	F9DSM	F10DSM	F11DSM	ISDSM (Ponderación cambiada)
0	5	5	3	4	16	0	-2	0	7	4	1	42
1	1	5	2	5	12	0	0	4	7	4	1	49
2	5	5	3	4	16	0	0	0	7	4	1	44
3	1	5	5	4	16	0	0	0	7	4	1	51
4	5	4	2	5	16	0	0	4	7	4	1	4
5	2	5	3	4	16	0	10	0	7	4	1	51
6	5	5	3	5	16	0	0	0	7	4	1	45
7	5	5	2	5	12	0	0	4	7	4	1	44
8	3	5	2	5	12	0	0	4	7	4	1	54
9	3	5	3	4	16	0	0	0	7	4	1	54
10	3	5	5	4	16	0	0	0	7	4	1	56
11	0	3	3	2	16	0	10	0	7	4	1	45
12	5	3	3	5	16	0	0	0	7	4	1	43
13	2	5	5	5	16	0	0	0	7	4	1	4
14	1	5	3	4	16	0	0	0	7	4	1	49
15	0	2	3	2	16	0	0	0	7	4	1	34
16	3	5	2	2	12	0	0	4	7	4	1	51
17	1	4	3	2	12	0	0	4	7	4	1	46
18	1	5	2	5	12	0	0	4	7	4	1	49
19	2	5	2	2	12	0	4	0	7	4	1	38
20	2	5	2	5	12	0	0	4	7	4	1	41
21	5	2	2	2	12	0	0	4	7	4	1	38
22	3	4	3	5	12	0	0	4	7	4	1	54
23	1	3	2	5	12	0	0	4	7	4	1	47
24	2	4	3	5	12	0	0	4	7	4	1	41
25	1	5	2	5	12	0	0	4	7	4	1	49
26	3	5	2	5	12	0	0	4	7	4	1	54
27	1	5	2	5	12	0	0	4	7	4	1	49
28	0	2	3	2	12	0	2	0	7	4	1	36
29	1	5	5	5	16	0	0	0	7	4	1	4
30	1	5	3	5	16	0	0	0	7	4	1	50
31	5	4	3	5	16	0	0	0	7	4	1	44
32	2	3	3	2	16	0	0	0	7	4	1	37
33	3	4	5	4	16	0	0	0	7	4	1	55
34	3	5	3	4	16	0	0	0	7	4	1	54
35	1	3	3	4	16	0	4	0	7	4	1	51
36	1	3	5	4	16	0	4	0	7	4	1	53
37	3	5	3	4	16	0	0	0	7	4	1	54
38	5	4	3	4	16	0	0	0	7	4	1	43
39	0	2	3	4	16	0	-2	0	7	4	1	34
40	1	4	3	4	16	0	0	0	7	4	1	48
41	0	4	2	0	12	0	4	0	7	4	1	33
42	3	5	3	5	16	0	0	0	7	4	1	55
43	3	5	5	2	16	0	0	0	7	4	1	54
44	1	4	3	0	16	0	10	10	7	4	1	4
45	2	5	3	0	16	0	10	0	7	4	1	4
46	3	5	2	5	12	0	0	4	7	4	1	54
47	5	3	2	5	12	0	0	4	7	4	1	42
48	5	3	2	5	12	0	0	4	7	4	1	42
49	5	4	2	5	12	0	0	4	7	4	1	43
50	0	2	2	5	16	0	0	4	7	4	1	40
51	2	3	2	4	16	0	0	0	7	4	1	37
52	3	3	3	5	12	0	0	4	7	4	1	53
53	5	4	3	4	16	0	10	0	7	4	1	53
54	0	3	3	2	16	0	0	0	7	4	1	35

55	2	4	3	2	16	0	0	0	7	4	1	38
56	0	2	2	0	16	0	0	0	7	4	1	31
57	0	1	5	0	16	0	0	0	7	4	1	33
58	5	3	5	2	16	0	0	0	7	4	1	42
59	1	5	3	4	16	0	0	0	7	4	1	49
60	5	3	3	4	16	0	10	0	7	4	1	52
61	2	5	3	0	12	0	-2	0	7	4	1	4
62	3	5	2	4	12	0	0	4	7	4	1	56
63	1	3	2	4	12	0	0	4	7	4	1	46
64	1	5	2	5	12	0	0	4	7	4	1	49
65	3	5	2	5	12	0	0	4	7	4	1	54
66	3	5	5	5	16	0	0	0	7	4	1	57
67	1	5	3	4	16	0	0	0	7	4	1	49
68	3	5	2	4	12	0	0	4	7	4	1	53
69	3	5	2	5	12	0	0	4	7	4	1	54
70	0	1	2	5	16	0	0	4	7	4	1	39
71	5	3	2	5	16	0	0	0	7	4	1	42
72	0	2	3	0	12	0	0	4	7	4	1	32
73	5	4	2	4	12	0	0	4	7	4	1	42
74	1	5	2	5	12	0	0	4	7	4	1	49
75	1	5	2	4	12	0	0	4	7	4	1	48
76	1	5	2	4	12	0	0	4	7	4	1	48
77	2	2	3	4	16	0	0	0	7	4	1	4
78	1	3	3	4	16	0	0	0	7	4	1	4
79	2	5	2	4	12	0	0	4	7	4	1	39
80	0	4	3	4	16	0	-2	0	7	4	1	36
81	0	1	3	5	16	0	0	0	7	4	1	36
82	0	3	2	0	12	0	0	4	7	4	1	32
83	1	4	2	5	12	0	0	4	7	4	1	48
84	3	5	2	5	12	0	0	4	7	4	1	54
85	1	4	3	4	16	0	10	0	7	4	1	58
86	5	4	2	5	16	0	0	4	7	4	1	47
87	0	3	3	2	16	0	0	0	7	4	1	4
88	1	5	5	5	16	0	0	0	7	4	1	52
89	1	5	2	5	12	0	0	4	7	4	1	4
90	3	5	5	5	16	0	0	0	7	4	1	57
91	3	5	5	5	16	0	0	0	7	4	1	4
92	2	5	3	4	16	0	10	0	7	4	1	50
93	1	4	3	0	12	0	-2	0	7	4	1	38
94	0	2	3	2	12	0	-2	0	7	4	1	32
95	0	1	3	2	12	0	-2	0	7	4	1	31
96	0	1	3	4	12	0	2	0	7	4	1	37
97	0	2	3	2	12	0	2	0	7	4	1	36
98	0	1	2	4	12	0	2	0	7	4	1	36
99	0	1	3	4	12	0	2	0	7	4	1	37
100	0	1	3	4	12	0	2	0	7	4	1	37
101	0	1	3	4	12	0	2	0	7	4	1	37
102	0	1	3	4	12	0	2	0	7	4	1	37
103	2	5	3	0	12	0	-2	0	7	4	1	31
104	0	2	2	2	12	0	-4	0	7	4	1	29
105	0	2	2	2	12	0	-4	0	7	4	1	29
106	0	3	2	2	12	0	-4	0	7	4	1	30
107	2	5	2	2	12	0	-4	10	7	4	1	40
108	0	4	2	0	12	0	-4	10	7	4	1	39
109	0	2	3	4	12	0	4	10	7	4	1	70
110	0	2	3	2	12	0	4	0	7	4	1	38
111	2	5	2	2	12	0	4	0	7	4	1	38

**4.3 índice de susceptibilidad de caídas de roca, metodología Muñoz (2013) aplicada a 1:5000 en unidades de ladera urbana y natural, considerando cambios de ponderación en factores condicionantes para toda la zona de estudio.**

Unidad	F1CRM	F2CRM	F3CRM	F4CRM	F5CRM	F6CRM	F7CRM	F8CRM	F9CRM	F10CRM	ISCRM (ponderación cambiada)
0	2	7	7	12	0	0	10	5	0	1	43
1	3	8	10	9	0	0	4	5	0	1	39
2	2	8	7	12	0	0	10	5	0	1	44
3	3	8	7	12	0	0	0	5	0	1	35
4	2	7	10	9	0	0	4	5	0	1	37
5	1	7	7	12	0	0	10	5	0	1	42
6	2	7	10	12	0	0	10	5	0	1	46
7	2	8	10	9	0	0	4	5	0	1	38
8	8	8	10	9	0	0	4	5	0	1	44
9	8	8	7	12	0	0	10	5	0	1	50
10	8	7	7	12	0	0	10	5	0	1	49
11	1	5	4	12	0	0	10	5	0	1	37
12	2	5	10	12	0	0	10	5	0	1	44
13	1	7	10	12	0	0	10	5	0	1	45
14	3	10	7	12	0	0	10	5	0	1	47
15	1	3	4	12	0	0	10	5	0	1	35
16	8	8	4	9	0	0	4	5	0	1	38
17	3	7	4	9	0	0	4	5	0	1	32
18	3	10	10	9	0	0	4	5	0	1	41
19	1	7	4	9	0	0	4	5	0	1	30
20	1	7	10	9	0	0	4	5	0	1	36
21	2	4	4	9	0	0	4	5	0	1	28
22	8	7	10	12	0	0	4	5	0	1	46
23	3	5	10	9	0	0	4	5	0	1	36
24	1	7	10	9	0	0	4	5	0	1	36
25	3	8	10	9	0	0	4	5	0	1	39
26	8	8	10	9	0	0	4	5	0	1	44
27	3	8	10	9	0	0	4	5	0	1	39
28	0	3	1	12	0	15	0	5	0	1	51
29	3	7	10	12	0	0	10	5	0	1	47
30	3	7	10	12	0	0	10	5	0	1	47
31	2	7	10	12	0	0	0	5	0	1	36
32	1	5	4	12	0	0	10	5	0	1	37
33	8	7	7	12	0	0	0	5	0	1	39
34	8	7	7	12	0	0	10	5	0	1	49
35	3	5	7	12	0	0	10	5	0	1	42
36	3	5	7	12	0	0	10	5	0	1	42
37	8	7	7	12	0	0	10	5	0	1	49
38	2	7	7	12	0	0	10	5	0	1	43
39	1	3	7	12	0	0	10	5	0	1	38
40	3	7	7	12	0	0	10	5	0	1	44
41	1	7	1	9	0	0	0	5	0	1	23
42	8	8	10	12	0	0	10	5	0	1	53
43	8	8	4	12	0	0	10	5	0	1	47
44	3	7	1	12	0	0	10	5	0	1	38
45	1	8	1	12	0	0	10	5	0	1	37
46	8	8	10	12	0	0	4	5	0	1	47
47	2	5	10	9	0	0	4	5	0	1	35
48	2	5	10	9	0	0	4	5	0	1	35
49	2	7	10	9	0	0	4	5	0	1	37
50	1	4	10	9	0	0	0	5	0	1	29
51	1	5	7	9	0	0	4	5	0	1	31
52	8	5	10	9	0	0	4	5	0	1	41
53	2	7	7	12	0	0	10	5	0	1	43
54	1	5	4	12	0	0	10	5	0	1	37
55	1	7	4	12	0	0	10	5	0	1	39
56	1	3	1	12	0	0	10	5	0	1	32

57	0	0	1	12	0	0	10	5	0	1	28
58	2	5	4	12	0	0	10	5	0	1	38
59	3	8	7	12	0	0	10	5	0	1	45
60	2	5	7	12	0	0	10	5	0	1	41
61	1	7	1	12	0	0	0	5	0	1	26
62	8	8	7	9	0	0	10	5	0	1	47
63	3	5	7	9	0	0	4	5	0	1	33
64	3	8	10	9	0	0	4	5	0	1	39
65	8	8	10	9	0	0	4	5	0	1	44
66	8	7	10	12	0	0	10	5	0	1	52
67	3	7	7	12	0	0	10	5	0	1	44
68	8	8	7	9	0	0	10	5	0	1	47
69	8	8	10	9	0	0	4	5	0	1	44
70	0	1	10	9	0	0	4	5	0	1	29
71	2	5	10	9	0	0	4	5	0	1	35
72	0	4	1	9	0	0	4	5	0	1	23
73	2	7	7	9	0	0	4	5	0	1	34
74	3	8	10	9	0	0	4	5	0	1	39
75	3	8	7	9	0	0	4	5	0	1	36
76	3	7	7	9	0	0	4	5	0	1	35
77	1	3	7	12	0	0	10	5	0	1	38
78	3	5	7	12	0	0	10	5	0	1	42
79	1	7	7	9	0	0	4	5	0	1	33
80	1	7	7	12	0	0	10	5	0	1	42
81	0	1	10	12	0	0	10	5	0	1	38
82	1	5	1	9	0	0	4	5	0	1	25
83	3	7	10	12	0	0	4	5	0	1	41
84	8	8	10	9	0	0	4	5	0	1	44
85	3	7	7	12	0	0	10	5	0	1	44
86	2	7	10	9	0	0	4	5	0	1	37
87	1	5	4	12	0	0	10	5	0	1	37
88	3	7	10	12	0	0	10	5	0	1	47
89	3	8	10	9	0	0	4	5	0	1	39
90	8	7	10	12	0	0	10	5	0	1	52
91	8	7	7	12	0	0	10	5	0	1	49
92	1	7	7	12	0	0	10	5	0	1	42
93	3	7	1	12	0	0	10	5	0	1	38
94	15	1	4	12	0	-2	0	5	0	1	35
95	15	1	4	12	0	-2	0	5	0	1	35
96	15	0	7	12	0	15	0	5	0	1	54
97	15	3	4	12	0	15	10	5	0	1	64
98	15	1	7	12	0	15	0	5	0	1	55
99	15	0	7	12	0	15	0	5	0	1	54
100	15	0	7	12	0	15	0	5	0	1	54
101	15	0	7	12	0	15	0	5	0	1	54
102	15	1	7	12	0	15	10	5	0	1	64
103	1	7	1	12	0	0	0	5	0	1	26
104	15	4	4	9	0	-10	0	5	0	1	27
105	15	4	4	9	0	-10	0	5	0	1	27
106	15	5	4	9	0	-10	10	5	0	1	38
107	1	7	4	9	0	0	4	5	0	1	30
108	15	7	1	9	0	-10	0	5	0	1	27
109	15	3	7	12	0	19	0	5	0	1	61
110	15	4	4	12	0	15	10	5	0	1	65
111	1	7	4	9	0	0	4	5	0	1	30

**4.4 índice de susceptibilidad de caídas de roca, metodología Muñoz (2013) aplicada a 1:5000 en unidades de ladera urbana y natural, considerando cambios de ponderación en factores condicionantes solo para unidades de ladera natural**

Unidad	F1CRM	F2CRM	F3CRM	F4CRM	F5CRM	F6CRM	F7CRM	F8CRM	F9CRM	F10CRM	ISCRM (ponderación cambiada)
0	3	7	7	12	0	0	10	5	0	1	44
1	5	8	10	9	0	0	4	5	0	1	41
2	3	8	7	12	0	0	10	5	0	1	45
3	5	8	7	12	0	0	0	5	0	1	37
4	3	7	10	9	0	0	4	5	0	1	38
5	2	7	7	12	0	0	10	5	0	1	43
6	3	7	10	12	0	0	10	5	0	1	47
7	3	8	10	9	0	0	4	5	0	1	39
8	13	8	10	9	0	0	4	5	0	1	49
9	13	8	7	12	0	0	10	5	0	1	55
10	13	7	7	12	0	0	10	5	0	1	54
11	3	5	4	12	0	0	10	5	0	1	39
12	3	5	10	12	0	0	10	5	0	1	45
13	2	7	10	12	0	0	10	5	0	1	46
14	5	10	7	12	0	0	10	5	0	1	49
15	2	3	4	12	0	0	10	5	0	1	36
16	13	8	4	9	0	0	4	5	0	1	43
17	5	7	4	9	0	0	4	5	0	1	34
18	5	10	10	9	0	0	4	5	0	1	43
19	3	7	4	9	0	9	4	5	0	1	41
20	2	7	10	9	0	0	4	5	0	1	37
21	3	4	4	9	0	0	4	5	0	1	29
22	13	7	10	12	0	0	4	5	0	1	51
23	5	5	10	9	0	0	4	5	0	1	38
24	2	7	10	9	0	0	4	5	0	1	37
25	5	8	10	9	0	0	4	5	0	1	41
26	13	8	10	9	0	0	4	5	0	1	49
27	5	8	10	9	0	0	4	5	0	1	41
28	25	3	1	12	0	9	10	5	0	1	65
29	5	7	10	12	0	0	10	5	0	1	49
30	5	7	10	12	0	0	10	5	0	1	49
31	3	7	10	12	0	0	0	5	0	1	37
32	2	5	4	12	0	0	10	5	0	1	38
33	13	7	7	12	0	0	0	5	0	1	44
34	13	7	7	12	0	0	10	5	0	1	54
35	5	5	7	12	0	0	10	5	0	1	44
36	5	5	7	12	0	0	10	5	0	1	44
37	13	7	7	12	0	0	10	5	0	1	54
38	3	7	7	12	0	0	10	5	0	1	44
39	2	3	7	12	0	0	10	5	0	1	39
40	5	7	7	12	0	0	10	5	0	1	46
41	2	7	1	9	0	0	0	5	0	1	24
42	13	8	10	12	0	0	10	5	0	1	58
43	13	8	4	12	0	0	10	5	0	1	52
44	5	7	1	12	0	0	10	5	0	1	40
45	2	8	1	12	0	0	10	5	0	1	38
46	13	8	10	12	0	0	4	5	0	1	52
47	3	5	10	9	0	0	4	5	0	1	36
48	3	5	10	9	0	0	4	5	0	1	36
49	3	7	10	9	0	0	4	5	0	1	38
50	2	4	10	9	0	0	0	5	0	1	30
51	2	5	7	9	0	0	4	5	0	1	32
52	13	5	10	9	0	0	4	5	0	1	46
53	3	7	7	12	0	0	10	5	0	1	44
54	2	5	4	12	0	0	10	5	0	1	38
55	2	7	4	12	0	0	10	5	0	1	40
56	2	3	1	12	0	0	10	5	0	1	33

57	3	0	1	12	0	0	10	5	0	1	31
58	3	5	4	12	0	0	10	5	0	1	39
59	5	8	7	12	0	0	10	5	0	1	47
60	3	5	7	12	0	0	10	5	0	1	42
61	2	7	1	12	0	0	0	5	0	1	27
62	13	8	7	9	0	0	4	5	0	1	46
63	5	5	7	9	0	0	4	5	0	1	35
64	5	8	10	9	0	0	4	5	0	1	41
65	13	8	10	9	0	0	4	5	0	1	49
66	13	7	10	12	0	0	10	5	0	1	57
67	5	7	7	12	0	0	10	5	0	1	46
68	13	8	7	9	0	0	10	5	0	1	52
69	13	8	10	9	0	0	4	5	0	1	49
70	3	1	10	9	0	0	4	5	0	1	32
71	3	5	10	9	0	0	4	5	0	1	36
72	3	4	1	9	0	0	4	5	0	1	26
73	3	7	7	9	0	0	4	5	0	1	35
74	5	8	10	9	0	0	4	5	0	1	41
75	5	8	7	9	0	0	4	5	0	1	38
76	5	7	7	9	0	0	4	5	0	1	37
77	2	3	7	12	0	0	10	5	0	1	39
78	5	5	7	12	0	0	10	5	0	1	44
79	2	7	7	9	0	0	4	5	0	1	34
80	2	7	7	12	0	0	10	5	0	1	43
81	3	1	10	12	0	0	10	5	0	1	41
82	2	5	1	9	0	0	4	5	0	1	26
83	5	7	10	12	0	0	4	5	0	1	43
84	13	8	10	9	0	0	4	5	0	1	49
85	5	7	7	12	0	0	10	5	0	1	46
86	3	7	10	9	0	0	4	5	0	1	38
87	2	5	4	12	0	0	10	5	0	1	38
88	5	7	10	12	0	0	10	5	0	1	49
89	5	8	10	9	0	0	4	5	0	1	41
90	13	7	10	12	0	0	10	5	0	1	57
91	13	7	10	12	0	0	10	5	0	1	57
92	2	7	7	12	0	0	10	5	0	1	43
93	5	7	1	12	0	0	10	5	0	1	40
94	25	1	4	12	0	-1	10	5	0	1	56
95	25	0	4	12	0	-1	10	5	0	1	55
96	25	0	7	12	0	9	10	5	0	1	68
97	25	3	4	12	0	9	10	5	0	1	68
98	25	1	7	12	0	9	10	5	0	1	69
99	25	0	7	12	0	9	10	5	0	1	68
100	25	0	7	12	0	9	10	5	0	1	68
101	25	0	7	12	0	9	10	5	0	1	68
102	25	1	7	12	0	9	10	5	0	1	69
103	2	7	1	12	0	0	0	5	0	1	27
104	3	4	4	9	0	-6	10	5	0	1	29
105	3	4	4	9	0	-6	10	5	0	1	29
106	3	5	4	9	0	-6	10	5	0	1	30
107	2	7	4	9	0	0	4	5	0	1	31
108	3	7	1	9	0	-6	10	5	0	1	29
109	25	3	7	12	0	12	10	5	0	1	74
110	25	4	4	12	0	0	10	5	0	1	60
111	3	7	4	9	0	9	4	5	0	1	41