



**Universidad
Andrés Bello**

UNIVERSIDAD NACIONAL ANDRÉS BELLO

Facultad de Ingeniería

Carrera de Geología, sede viña del mar

**ANÁLISIS DE SUSCEPTIBILIDAD DE CAIDAS DE ROCAS EN EL
SECTOR QUEBRADA DE LOS LAVADOS, REGIÓN DE
VALPARAÍSO**

Tesis de pregrado para optar al título de Geólogo

Autor:

Felipe Ignacio Kerman Vilches Mercado

Profesora guía:

Constanza Urresty Vargas

Miembros de la Comisión:

Ximena Contardo

Cristian López

Viña del Mar, Chile

2020

RESUMEN

La existencia de fenómenos naturales tales como sismos, tsunamis, huracanes y remociones en masa han condicionado desde tiempos remotos el desarrollo de las actividades humanas. Específicamente en las remociones en masa se logra desglosar diversos tipos de categorías en base a su mecanismo y funcionamiento.

La comuna de Valparaíso se caracteriza por presentar pendientes pronunciadas en sus laderas, abundante vegetación inducida en diversos sectores y una expansión territorial descontrolada, sobrepasando en algunos casos el límite urbano. Debido a lo anterior, es común el desarrollo de remociones en masa, dentro de las cuales se encuentran las caídas de rocas correspondientes al enfoque del presente estudio.

El presente trabajo se desarrolla en las cercanías del cerro Las Cañas y el barrio Santa Elena, cruzando el límite urbano de Valparaíso. El estudio consiste en determinar el índice de susceptibilidad de caídas de rocas, utilizando la metodología propuesta por Muñoz (2013), donde se caracterizan los diversos factores condicionantes que afectan al macizo rocoso a una escala urbana 1:10.000. El análisis a escala urbana se realizó definiendo en total 100 unidades de análisis, las cuales se generaron a partir de las características geomorfológicas y geológicas-geotécnicas. Además, se realiza un estudio de compresión uniaxial sobre las rocas extraídas en el área de estudio, con la finalidad de obtener un dato cuantitativo para la caracterización del factor condicionante geología-geotecnia.

Las zonas con mayor índice de susceptibilidad corresponden a zonas con mayor intervención antrópica, pendientes abruptas, formas desfavorables de las laderas y vegetación desfavorable. La unidad de análisis con mayor índice de susceptibilidad correspondiente a un $IS > 70$, se ubica en las cercanías del sector La Cantera. Dentro de dicha unidad se recomienda dar énfasis en la estabilización de las laderas para generar las medidas de mitigación apropiadas.

ABSTRACT

The existence of natural phenomena such as earthquakes, tsunamis, hurricanes and mass removals have conditioned, since ancient times, the development of human activities and the precaution that must be taken in the face of them. Within the mass removals, various types of categories can be broken down based on their mechanism and operation.

The commune of Valparaíso is characterized by steep slopes on its slopes, abundant vegetation induced in various sectors and an uncontrolled territorial expansion, in some cases exceeding the urban limit. Due to the above, the development of mass removals is common, within which the present study focuses on rock falls.

The present work is developed in the vicinity of the Las Cañas hill and the Santa Elena neighborhood, crossing the urban limit of Valparaíso. The study consists of determining the rockfall susceptibility index, using the methodology proposed by Muñoz (2013), where the various conditioning factors that affect the rock massif are characterized at an urban scale of 1: 10,000. The urban scale analysis was carried out defining a total of 100 analysis units, which were generated from the geomorphological and geological-geotechnical characteristics. In addition, a uniaxial compression study is carried out on the rocks identified in the study area, in order to obtain quantitative data for the characterization of the geology-geotechnical conditioning factor.

The areas with the highest susceptibility index correspond to areas with greater anthropic intervention, steep slopes, unfavorable forms of the slopes and unfavorable vegetation. The unit of analysis with the highest susceptibility index corresponding to an $IS > 70$, is located near the La Cantera sector. Within this unit it is recommended to emphasize the stabilization of the slopes to generate appropriate mitigation measures.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

Capítulo 1. INTRODUCCIÓN	1
1.1 Problema de investigación	1
1.1.1 Hipótesis	2
1.2 Objetivos	3
1.2.1 Objetivo General	3
1.2.2 Objetivos Específicos	3
1.3 Ubicación y accesos	3
Capítulo 2. MARCO TEÓRICO	5
2.1 Conceptos relevantes	5
2.1.1 Caída o desprendimiento de roca	11
2.1.2 Mecánica de rocas	12
2.1.3 Clasificación Geomecánica en Macizos Rocosos	14
2.2 Marco Geomorfológico	15
2.3 Marco Geológico Regional	16
2.4 Recopilación bibliográfica de remociones en masas	19
Capítulo 3. METODOLOGÍA	20
3.1 Introducción	20
3.2 Preterreno	22
3.3 Terreno I	23
3.4 Gabinete I	23
3.5 Terreno II	25
3.6 Laboratorio	26
3.7 Gabinete II	28
Capítulo 4. RESULTADOS	30
4.1 Inventario de caídas de rocas	30
4.2 Geomorfología	32
4.2.1 Hipsometría	32
4.2.2 Pendientes	34
4.2.3 Exposición de Laderas	36
4.2.4 Curvatura	37
4.2.5 Unidades de Análisis	40

4.3	Vegetación	41
4.4	Geología-Geotecnia Local	43
4.3.1	Unidad Jlv	44
4.3.2	Unidad Fluvial (Qfs)	46
4.3.3	Geotecnia.....	47
4.5	Estructuras	50
4.5.1	Estructuras Generales	50
4.6	Actividad Antrópica	54
4.7	Susceptibilidad de caídas de rocas	56
Capítulo 5. DISCUSIONES		58
5.1	Metodología	58
5.2	Inventario caídas de rocas	58
5.3	Vegetación	59
5.4	Geomorfología y Geología-geotecnia.....	59
5.5	Geología estructural	60
5.6	Actividad antrópica	60
5.7	Mapa de susceptibilidad.....	60
Capítulo 6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....		62
REFERENCIAS.....		64
ANEXOS		68

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. A la izquierda mapa de la ciudad de Valparaíso demarcado en rojo el área de estudio. A la derecha mapa del área de estudio y sus puntos de interés. Realizado mediante el software ArcMap 10.5.	4
Figura 2. Clasificación general de los movimientos de ladera. Cruden & Varnes (1996). Tomado de Gonzales de Vallejo (2002).	6
Figura 3. Desprendimientos o caídas de rocas. Modificado a partir de Gonzales de Vallejo (2002). Elaboración propia.	11
Figura 4. Perfil topográfico latitud 33°S de una transecta oeste-este. Elaboración propia.	15
Figura 5. Mapa geológico del Sector de Valparaíso y Viña del Mar. Escala 1:100.000. Polígono rojo indica el área de estudio. Modificado de Gana et al (1996). SERNAGEOMIN.	18
Figura 6. Mapa de distribuciones de eventos históricos ocurridos en la Región de Valparaíso. Escala 1:25.000. Fuente SERNAGEOMI (2012) & Ministerio de Obras Públicas (2019).	19
Figura 7. Mapa Inventario de las caídas de rocas. Elaboración propia	31
Figura 8. Perfil geomorfológico identificando los niveles aterrazados correlacionados con otros trabajos. Elaboración propia.	32
Figura 9. Mapa Hipsométrico del área de estudio, escala 1:15.000. Elaboración propia	33
Figura 10. Mapa de pendientes, escala 1:15.000. Realizado a partir de una imagen DEM de la Ilustre Municipalidad de Valparaíso. Elaboración propia.	34
Figura 11. Fotografías esquemáticas de pendientes en diversos sectores de la zona de estudio. Arriba zona correspondiente a viste en dirección NW desde el Pajonal. Abajo sector La Cantera con pendientes pronunciadas.	35
Figura 12. Mapa de orientaciones principales de laderas en el área de estudio, escala 1:15.000. Elaboración propia	36
Figura 13. Nueve combinaciones posibles de geometrías en taludes tridimensionales. Fuente: Camacho S. & Garzón A., 2014	37
Figura 14. Geoformas identificadas en el sector Quebrada los Lavados, Valparaíso. Coordenadas: 33°03'42,5" S 71°35'58" W.....	38
Figura 15. A la izquierda mapa de curvaturas en perfil de las laderas, escala 1:15.000. A la derecha mapa de curvaturas en planta de las laderas, escala 1:15.000. Elaboración propia.....	39
Figura 16. Mapa de Unidades de Análisis, escala 1:15.000. Elaboración propia. .	40
Figura 17. Mapa sobre el Índice de Vegetación Diferencial Normalizado, escala 1:15.000. Elaboración propia.....	41
Figura 18. Mapa geológico detallado del área de estudio. Elaboración propia a partir de Gana et al. (1996).	43

Figura 19. Facies metamórficas según su temperatura, presión y profundidad. Winter, J. (2001).....	45
Figura 20. Mapa de ubicación muestras extraídas para ensayos de carga puntual. Escala 1:10.000. Elaboración propia.....	47
Figura 21. Mapa de estructuras generales reconocidos por Álvarez (1964) y Gana (1996). En rojo zona de estudio y en circunferencias la distribución de las remociones en masa. Escala 1:50.000.	50
Figura 22 Diagrama de roseta con las 17 familias identificadas en terreno. Elaboración mediante Dips 5.0 Rock science.	53
Figura 23, Mapa de susceptibilidad ante caídas de rocas en el área de estudio. Elaboración propia	57

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Cuadro sobre valores de resistencia de la matriz rocosa sana en kp/cm^2 . Fuente: Farmer (1968); González de Vallejo (2002).	8
Tabla 2. Tipos de climas en base a la temperatura y precipitación. Fuente Inzunza (2004).....	9
Tabla 3. Propiedades de la matriz rocosa y métodos para su determinación. Extraído de Gonzales de Vallejo (2002).	13
Tabla 4. Ponderaciones máximas consideradas para cada factor en análisis de caídas de rocas. Fuente: Muñoz (2013).....	22
Tabla 5. Clasificación propuesta por la Sociedad Internacional de Mecánica de Roca (Brown, 1981).	27
Tabla 6. Factores condicionantes de caídas o desprendimientos de rocas desglosados en peso (%) para cada rango utilizados en el presente trabajo (Muñoz, 2013).	29
Tabla 7. Tabla de valores de resistencia a la compresión uniaxial mediante un ensayo de carga puntual. W: Ancho (mm); D: Diámetro (mm); P: Fuerza (N); Is: Índice de carga puntual (MPa); Is (50): Índice corregido (MPa); UCS: Fuerza de compresión uniaxial.....	48
Tabla 8. Número de familias identificadas con su respectiva notación en formato Dip/Dip dirección.	53

ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS

Fotografía 1. Fotografías de caídas de rocas en el sector La Cantera, Región de Valparaíso.	30
Fotografía 3. Fotografías de Eucalyptus globulus afectando al macizo rocoso mediante la interacción de sus raíces y las discontinuidades presentes.....	42
Fotografía 4. Vetas de cuarzo y feldespato potásico cortando al macizo rocoso Jlv (I-II). Coordenadas: 33°03'42.5" S 71°35'58"W.	44
Fotografía 5. Unidad fluvial-aluvial con presencia de laminación paralela. Coordenadas: 33°03'50"S 71°36'03" W.....	46
Fotografía 6. Fallas menores presentes en la unidad Jlv (III-IV). Coordenadas: 33°03'33"S 71°36'26" W.	51
Fotografía 7. Rotura en forma de cuña identificada en la unidad Jlv (I-II). Coordenadas: 33°03'55"S 71°36'00" W.....	52
Fotografía 8. Tres familias de diaclasas identificadas en el macizo rocoso Jlv (I-II). Coordenadas: 33°03'52"S 71°36'03"W.....	52
Fotografía 9. Fotográficas de diversas medidas de mitigación. Superior izquierda: Shotcrete realizado de manera independiente. Inferior izquierda: Estabilización natural con docas. Derecha: Muro de contención realizado por estudios geotécnicos-geomecánicos de manera particular.	54
Fotografía 10. Izquierda: corte artificial de talud. Derecha: Corte artificial de talud sumado a estabilización de infraestructura mediante un set de fierros.	55

Capítulo 1. INTRODUCCIÓN

1.1 Problema de investigación

La ciudad de Valparaíso presenta diversos accidentes provocados por desastres naturales y/o antrópicos. Estos fenómenos, ya sean precipitaciones, sismos o de índole antrópica pueden gatillar eventos de remoción en masa (Ogura y Soares-Macedo, 2000). Dichos eventos se ven condicionados por diferentes factores, tales como la geología, geotecnia, geomorfología, clima, vegetación, hidrología, hidrogeología y efectos antrópicos. Debido a que estos eventos pueden provocar daños a las personas y sus bienes se deben realizar estudios a profundidad para evitar o disminuir los riesgos asociados a los fenómenos de remoción en masa.

Valparaíso se caracteriza por presentar una gran variedad de infraestructuras en los cerros y en sectores con rellenos sedimentarios. Según el Gobierno Regional de Valparaíso el crecimiento de la población corresponde a un 1,1% anual medio (SUBDERE, 2012), a causa de esto la Ilustre Municipalidad de Valparaíso tiene en consideración expandir el límite urbano en diversos sectores para satisfacer las necesidades de la población.

Lo anterior ha motivado el presente estudio, el cual se enfoca en el análisis de susceptibilidad de caídas de rocas en el sector de la Quebrada Los Lavados, la cual forma parte del área de extensión urbana proyectada por la Municipalidad de Valparaíso. En este sector se estimó la susceptibilidad de generación de caídas de rocas en base a un método propuesto por Muñoz (2013). Para realizar el estudio se cuenta con una recopilación de inventarios de remociones en masa, los cuales fueron realizadas por el Ministerio de Obras Públicas (2019) y el SERNAGEOMIN (2012). Además de la elaboración propia de un inventario de caídas de rocas en el área de estudio.

El propósito de este estudio surge por la necesidad de contar con más información asociada a peligros geológicos, debido a la escasez de ésta, relacionada a la peligrosidad de Valparaíso. En la actualidad existe un mapa de peligro de remociones en masa de la región a escala 1:100.000 (Lépez et al, 2005), el cual debe ser actualizado y ser de mayor de detalle, ya que el área de Valparaíso se encuentra constantemente intervenida por la construcción de calles o infraestructuras nuevas.

En este trabajo se realiza un análisis de susceptibilidad a la caída de rocas donde se tienen en cuenta los diferentes parámetros condicionantes del sector, cuya finalidad es zonificar las áreas con diferentes susceptibilidades. Dado lo anterior, se escogieron sectores específicos para realizar un estudio geomecánico, en donde se puede cuantificar con mayor detalle la susceptibilidad, esto da paso a la recomendación de medidas de mitigación las cuales son basadas en parámetros empíricos. Estos contribuyen a la seguridad del sector, tanto para obras públicas como para la gente que transita en el sector.

1.1.1 Hipótesis

Se propone como hipótesis que el sector Quebrada Los Lavados presenta una alta susceptibilidad de caída de rocas en los sectores con pendientes abruptas ($>60^\circ$); geoformas desfavorables para la estabilidad del talud; altura de laderas elevadas y una desestabilización antrópica notoria. Por ende, se necesitan medidas de mitigación para poder generar una mayor estabilidad en los taludes del sector. Esto es analizado en base a datos empíricos y datos teóricos, los cuales son procesados en etapas de gabinete, donde se realizan análisis satelitales y estudios geomecánicos de sectores específicos. Además, se propone que el sector de la Quebrada Los Lavados presenta las características necesarias para ser parte de una extensión urbana futura.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo General

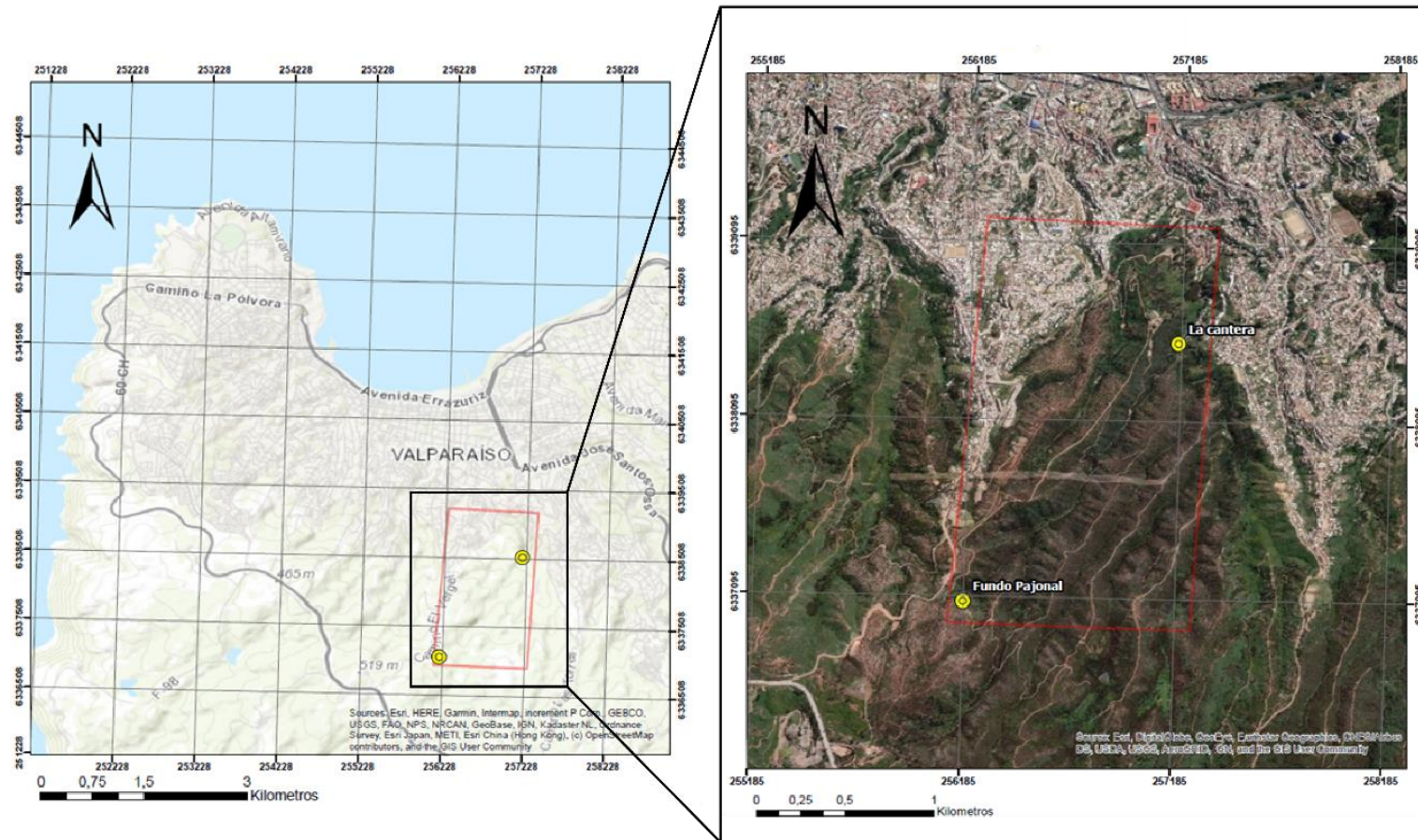
Evaluar la susceptibilidad de caídas de rocas a una escala 1:10.000 en el sector de estudio propuesto.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Caracterizar la geología del sector a una escala 1:10.000.
- Elaborar de caídas de rocas en sector de la Quebrada Los Lavados.
- Identificar y caracterizar los factores condicionantes de caídas de rocas en la zona de estudio.
- Generar una zonificación de la susceptibilidad de caídas de rocas del sector.

1.3 Ubicación y accesos

La zona de estudio se ubica en la Región de Valparaíso, entre las coordenadas 33.47°- 33.34° S. y 71.36°- 71.35° W., se encuentra en la ciudad de Valparaíso y posee un área de 2 km² (Figura 1). Las vías de acceso comprenden a las calles Santa Elena, La Cantera y Central, además de escaleras, pasajes, caminos rurales y caminos privados. Las rutas en el sector norte corresponden principalmente a caminos aptos para vehículos 4x2 y en el sector sur corresponden a calles aptas sólo para vehículos 4x4.



Legenda

- ⊙ Puntos de Interés
- ▭ Área de Estudio

Figura 1. A la izquierda mapa de la ciudad de Valparaíso demarcado en rojo el área de estudio. A la derecha mapa del área de estudio y sus puntos de interés. Realizado mediante el software ArcMap 10.5.

Capítulo 2. MARCO TEÓRICO

2.1 Conceptos relevantes

En la Tierra pueden producirse diversos procesos geológicos, ya sean endógenos o exógenos, los cuales pueden generar daños o impactos relevantes a la humanidad, ya sea a nivel social y/o económico. Por ende, se deben fijar términos y definiciones para mayor comprensión en este contexto, los cuales están basados en los trabajos de la Unión Internacional de las Ciencias Geológicas (IUGS), sumado a las definiciones de la Sociedad Internacional de Rocas (ISRM, 1981) y se detallan a continuación.

Susceptibilidad: Posibilidad de que una zona se vea afectada por un determinado proceso expresada de manera cualitativa o cuantitativa (González de Vallejo et al., 2002). Depende de los factores condicionantes de la zona o sector.

Vulnerabilidad: Grado de daños o pérdidas potenciales en un elemento o conjunto de elementos como consecuencia de la ocurrencia de un fenómeno de intensidad determinada (Ogura y Soares-Macedo, 2000).

Peligrosidad o Amenaza: Probabilidad de ocurrencia de un proceso con un nivel de intensidad o severidad determinado, en un área y tiempo acotado (Varnes, 1984).

Riesgo: Pérdidas potenciales debido a un fenómeno natural determinado (Ogura y Soares-Macedo, 2000; González de Vallejo et al., 2002). Este concepto corresponde al producto entre Peligrosidad y Vulnerabilidad (Formula 1).

$$R = A \times V \quad (1)$$

Remoción en masa: Movimiento descendente por efectos de la gravedad de un volumen de material constituido por roca, suelo o ambos. (Cruden, 1991).

La clasificación para los diferentes tipos de remociones en masas, según Varnes (1978) y Cruden & Varnes (1996), es la siguiente: desprendimientos de rocas o

caídas de rocas, deslizamientos (rotacionales y traslacionales), extensiones laterales, flujos y volcamientos (Figura 2).

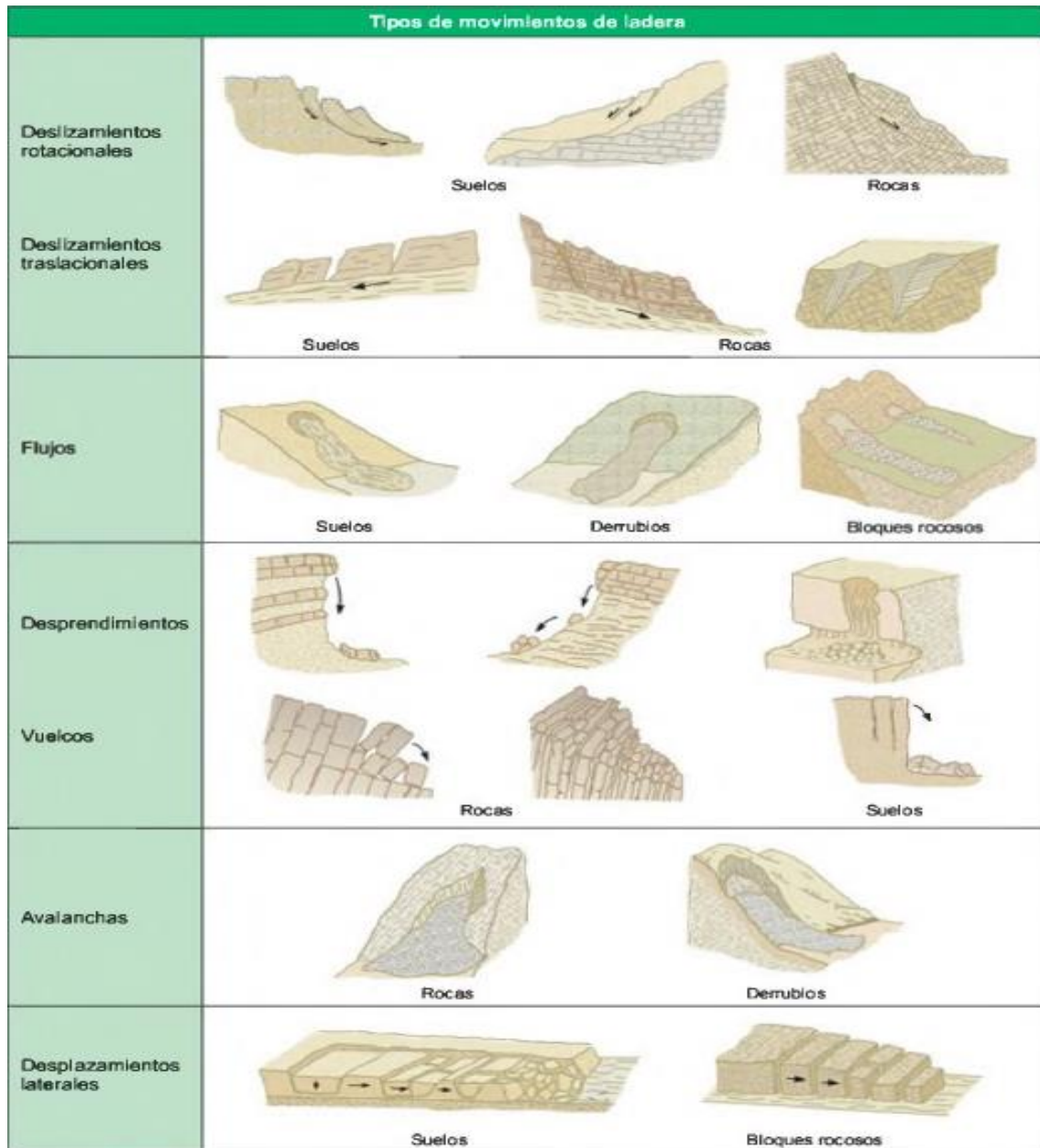


Figura 2. Clasificación general de los movimientos de ladera. Cruden & Varnes (1996). Tomado de Gonzales de Vallejo (2002).

A continuación, se definen brevemente los tipos de remoción en masa, según Gonzales de Vallejo (2002):

- Deslizamiento: Corresponden a movimientos de masas de suelo y/o roca que deslizan sobre una o varias superficies de rotura netas, esto ocurre al superar el límite de resistencia al corte de las superficies. Suelen poseer alta velocidad en su movimiento, y tienden a provocar otro tipo de remoción en masa, tales como flujos o avalanchas de rocas. Los deslizamientos se clasifican en Rotacionales y Traslacionales; los primeros corresponden a una rotura en forma de “cuchara” y tiende a ocurrir en suelos homogéneos. Cabe mencionar que estos deslizamientos pueden ocurrir en forma de escalón dependiendo del suelo y/o roca. Los segundos corresponden a roturas planas de superficie, las que generalmente son atribuidas a estructuras preliminares del macizo rocoso (estratificación, diaclasas, contactos, etc.), no suelen ser profundas, pero pueden alcanzar grandes distancias.
- Flujos: Corresponden a movimientos de masas de suelo, derrubios o bloques rocosos con presencia de agua en el sistema. Esto provoca que el material se comporte como un fluido y debido a esto no presenta superficies de rotura definidas. Tienden a afectar suelos arcillosos y el agua actúa como el factor “gatillante” de estos eventos.
- Desprendimientos o caídas de rocas: Corresponden a caídas libres. Este estudio se enfoca en el análisis de este tipo de remoción en masa y por ende se clasifico de mejor manera en el capítulo 2.1.1.
- Avalanchas: Corresponden a movimientos rápidos de rocas o derrubios que se desprenden de laderas escarpadas, los cuales pueden ser acompañados de nieve o hielo. Tienden a ser un producto de un deslizamiento o desprendimientos de gran magnitud, su velocidad se atribuye a la poca cohesividad de los sectores con alta pendiente.
- Desplazamientos laterales: Corresponden a movimientos de bloques rocosos o masas de suelo muy coherentes y cementadas sobre un

material blando. Este movimiento es de baja velocidad, y ocurre a favor de las pendientes.

Los eventos de remoción en masa tienden a darse combinados, es decir que puede ocurrir más de alguno a la vez (Scott et al., 2001). Por ejemplo, los deslizamientos pueden dar paso a diversos flujos de detritos, tal como ocurre comúnmente en la Región de los Lagos, donde los deslizamientos provocan diversos flujos de detritos, los cuales están asociados al ambiente geomorfológico del sector. (Fernández & Arenas, 2002).

Las remociones en masa poseen diferentes factores que condicionan la estabilidad de un talud, siendo las de mayor importancia las características geológicas, geomorfológicas, geotécnicas, climáticas, vegetacionales, el tipo de material afectado (roca o suelo), condiciones hidrogeológicas y antrópicas (González de Vallejo et al., 2002; Mateos, 2005; Lara, 2007); cada factor genera influencias y efectos diferentes en las remociones en masa, como se verá a continuación.

- Geología (litología y estructuras): La litología controla al macizo rocoso mediante la densidad y resistencia de la roca (Gonzales de Vallejo et al., 2002). Existen rocas con mayor resistencia a esfuerzos compresivos, esto dependerá de su compactación y litología (Farmer, 1968). Los valores se miden en MPa o kp/cm², los cuales oscilan entre los 50 kp/cm² y 5000 kp/cm² (Tabla 1).

Tabla 1. Cuadro sobre valores de resistencia de la matriz rocosa sana en kp/cm². Fuente: Farmer (1968); González de Vallejo (2002).

Roca	Valores Medios	Rango de Valores	Roca	Valores Medios	Rango de Valores
Andesita	2.100-3.200	1.000-5.000	Gabro	2.100-2.800	1.800-3.000
Anfibolita	2.800	2.100-5300	Gneiss	600-2.000	500-2500
Anhidrita	900	800-1300	Granito	700-2.000	500-3.000
Arenisca	550-1.400	300-2350	Grauvaca	1.000-1500	800-2300
Basalto	800-2.000	600-3500	Limolita	350-2500	27
Caliza	600-1.400	500-2.000	Lutita	200-400	100-900
Cuarcita	2.000-3.200	1.000-5.000	5-10*		
Diabasa	2.400-3.500	1300-3.650	Marga	300-700	200-900
Diorita	1.800-2.450	1300-3350	Mármol	1.200-2.000	600-2500
Dolerita	2.000-3.000	1.000-3500	Pizarra	400-1500	300-2.000
Dolomia	600-2.000	500-3500	Sal	120	50-300
Esquisto	300-600	200-1.600	Toba	100-460	10 a 40
			Yeso	250	100-400

Las estructuras por su parte pueden dar paso a planos de debilidad que actúan como superficies de ruptura del macizo rocoso (Ferrer, 1996).

- Geomorfología: Los rasgos que condicionan un evento de remoción en masa corresponden a la topografía, pendientes de las laderas, altura de las laderas, su extensión, cambios de pendientes, forma y orientación de la ladera. Estos rasgos inciden en la velocidad, energía y volumen que puede alcanzar una remoción en masa. En cuanto a la altura de las laderas en cuanto mayor sea su altura, mayor será la capacidad de transporte y la energía de un flujo de masa.
- Clima: El clima determina la meteorización de la roca, ya sea física o química, provocando una disminución en la resistencia de la roca. Dado a las temperaturas que se encuentra sometido un macizo rocoso, existen diversos climas los cuales tienden a catalogarse en 6 grupos (Inzunza, 2004), estos se visualizan en la Tabla 2.

Tabla 2. Tipos de climas en base a la temperatura y precipitación. Fuente Inzunza (2004)

A	Climas tropicales lluviosos. Todos los meses la temperatura media es superior a los 18°C. No existe estación invernal y las lluvias son abundantes.
B	Climas secos. La evaporación es superior a la precipitación.
C	Climas templados lluviosos. El mes más frío tiene una temperatura media comprendida entre 18°C y -3°C, y la media del mes más cálido supera los 10°C.
D	Climas de invierno frío. La temperatura media del mes más frío es inferior a -3°C y la del mes más cálido está por encima de 10°C
E	Climas polares. No tienen estación cálida y el promedio mensual de las temperaturas es siempre inferior a 10°C.
F	Climas de alta montaña.

- Vegetación: La vegetación puede determinar la estabilidad del macizo rocoso, ya que existe vegetación capaz de almacenar grandes cantidades de agua (FAO, 2013). Esto impediría un colapso por exceso de agua en las rocas. Sin embargo, existen casos, donde la vegetación de gran altura (árboles) provoca remociones en masa (Ramos et al., 2015).
- Hidrogeología: Se encuentra relacionada a litología, estructuras y grado de alteración de las rocas, debido a que estos factores actúan en las características hidrogeológicas (Gonzales de Vallejo, 2002). Estas últimas corresponden a la porosidad, permeabilidad, coeficiente de almacenamiento y transmisividad. A medida que el grado de meteorización y fracturamiento es mayor, aumentan las variables hidrogeológicas, provocando condiciones favorables para un deslizamiento.
- Factores Antrópicos: Se catalogan en dos tipos, según Muñoz (2013), los cuales corresponden a factores que disminuyen la susceptibilidad de remociones en masa y factores que la aumentan. Los factores que tienden a disminuir la susceptibilidad corresponden a medidas de mitigación, ya sea muros, shotcrete, pernos o mallas. Por su parte los factores que aumentan la susceptibilidad corresponden a cortes de laderas e infraestructuras sin sostenimiento adecuado sobre una ladera.

Además de las condiciones del talud se deben identificar otros factores de vital importancia, los cuales corresponden a los factores desencadenantes o “gatillantes”, siendo los de mayor relevancia los sismos y las precipitaciones (Lara, 2007). Los sismos actúan sobre el macizo rocoso a través de la liberación de energía de la Tierra, lo cual provoca una propagación de ondas, las que viajan a través del macizo rocoso y se desplazan por los lugares con mayor debilidad estructural (Brüggen, 1944), debido a esto se genera un colapso gravitacional del macizo rocoso. Las precipitaciones actúan mediante la infiltración en la roca, y como esta responde al efecto hídrico, un aumento considerable de aporte hídrico puede provocar un colapso mediante la infiltración de agua en las estructuras del

macizo (Gonzales de Vallejo, 2002), además las precipitaciones generan humedad en el macizo rocoso provocando una disminución en la resistencia.

2.1.1 Caída o desprendimiento de roca

“Corresponden a caídas libres muy rápidas de bloques o masas rocosas independizadas por planos de discontinuidad preexistentes” (González de Vallejo, et al, 2002). Son recurrentes en sectores de paredes rocosas (acantilados, escarpes en montañas, etc.), típicamente se generan roturas en forma de cuña y en bloque, formadas por familias de discontinuidades (Garzón, 2018). Las rocas desprendidas pueden caer directamente, rebotar o rodar hasta los pies del talud, dependiendo principalmente de la pendiente, geometría del talud y del bloque que cae (Figura 3).

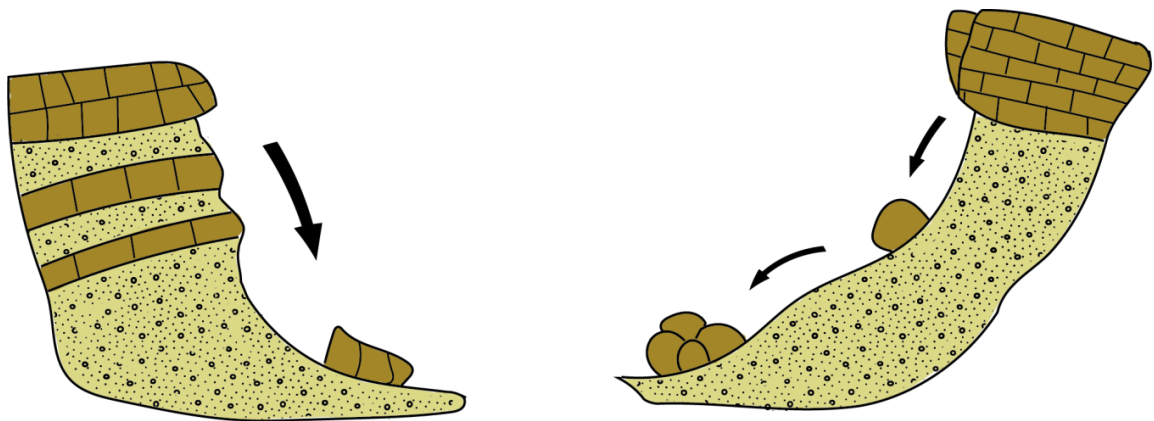


Figura 3. Desprendimientos o caídas de rocas. Modificado a partir de Gonzales de Vallejo (2002).
Elaboración propia.

2.1.2 Mecánica de rocas

De acuerdo con el comité americano dedicado a la mecánica de rocas de 1974, la mecánica de rocas se define como “la ciencia teórica y aplicada que estudia el comportamiento mecánico de las rocas y de los macizos rocosos.” (Ramírez Oyanguren, 2004).

Las rocas corresponden a un conjunto de agregados minerales (Dana, 1996), dependiendo de su génesis se clasifican en tres categorías: ígneas, sedimentarias y metamórficas. En este estudio se trabajó con rocas ígneas y metamórficas principalmente. El comportamiento mecánico de la roca dependerá de diversos factores y propiedades de identificación tales como: composición química, densidad, humedad, porosidad, permeabilidad y durabilidad. La densidad corresponde a la relación entre la masa y el volumen; La humedad se vincula con el agua contenida en la roca, cuya evaporación ocurre a los 110°C aproximadamente; La porosidad es el volumen de poros respecto al volumen total de la roca; La permeabilidad corresponde a la capacidad que tiene un medio poroso, para que un fluido pase a través de él; La durabilidad corresponde a la resistencia que la roca presenta ante los procesos de alteración y desintegración (Willis, 2001; González de Vallejo, 2002).

Por otra parte, existen propiedades mecánicas tales como resistencia a la compresión simple, resistencia a la tracción, velocidad de ondas sísmicas, resistencia relacionada a criterios de rotura (Mohr-Coulomb) y deformabilidad. La resistencia a la compresión simple corresponde al máximo esfuerzo que soporta una roca a una compresión uniaxial sobre una probeta de forma prismática o cilíndrica; La resistencia a la tracción es el máximo esfuerzo que soporta el material ante la rotura por una tracción; La velocidad de ondas sísmicas corresponden a las velocidades de las ondas elásticas tanto longitudinales como transversales (V_p y V_s) al atravesar una probeta de roca seca; La resistencia se encuentra ligada a factores tales como la cohesión (c) y el ángulo de fricción (ϕ), donde la cohesión corresponde a la fuerza de unión entre partículas de una roca y el ángulo de fricción corresponde a el ángulo de rozamiento entre dos planos

de la misma roca; La deformabilidad es una propiedad de las rocas para alterar su forma en respuesta a fuerzas ejercidas en la roca.

Las propiedades de la matriz rocosa están relacionadas con diversos métodos de determinación ya sea en laboratorio o in situ (Tabla 3).

Tabla 3. Propiedades de la matriz rocosa y métodos para su determinación. Extraído de Gonzales de Vallejo (2002).

Propiedades de la matriz rocosa y metodos para su determinación		
	Propiedades	Métodos de determinación
Propiedades de identificación	Composicion mineralogica Fabrica y textura Tamaño de grano Color	Descripción visual Microscopia óptica y electrónica Difraccion de rayos X
	Porosidad Peso especifico Humedad	Tecnicas de laboratorio
	Permeabilidad	Ensayo de permeabilidad
	Durabilidad	Ensayos de alterabilidad
Propiedades mecanicas	Resistencia a compresion simple	Ensayo de compresión uniaxial Ensayo de carga puntual Martillo de schmidt
	Resistencia traccion	Ensayo de tracción directa Ensayo de tracción indirecta
	Velocidad ondas sonicas	Medidas de velocidad de ondas elasticas en laboratorio
	Resistencia (criterios de rotura)	Ensayo de compresion triaxial
	Deformabilidad	Ensayo de compresion uniaxial Ensayo de velocidad sonica

Los volúmenes de roca generalmente aparecen afectados por discontinuidades o superficies de debilidad, las que pueden corresponder a diaclasas, fallas, estratificación, pliegues y esquistosidad. El conjunto de discontinuidades, junto a la roca intacta (matriz rocosa) conforman lo que se denomina Macizo Rocoso.

2.1.3 Clasificación Geomecánica en Macizos Rocosos

Existen diversos métodos para clasificar la calidad de un macizo rocoso, estos se basan en observaciones de terreno, mediciones y ensayos en laboratorio con la finalidad de establecer parámetros de estabilidad en diversos sectores. Este estudio dio énfasis a las clasificaciones RQD, GSI y RMR. Cada una de las clasificaciones se describe a continuación.

Rock Quality Designation (RQD): Cálculo de calidad de roca, el cual consiste en incorporar todos los fragmentos de rocas mayores a 10 centímetros, estos son sumados y divididos por la longitud total perforada y multiplicada cien veces para estimar un porcentaje (Formula 2, extraído de Deere et al, 1967). Sin embargo, se puede realizar una estimación visual de RQD (Formula 3), en base a J_v , el cual corresponde al número total de discontinuidades que interceptan una unidad de volumen (1 m^3) del macizo rocoso (Palmstrom A., 1975).

$$\text{RQD} = \frac{\Sigma(\text{longitud_fragmentos} \geq 10\text{cm})}{\text{longitud_total_perforada}} \times 100 \quad (2)$$

$$\begin{aligned} \text{RQD} &= 115 - 3.3J_v \text{ para } J_v > 4.5 \\ \text{RQD} &= 100 \text{ para } J_v \leq 4.5 \end{aligned} \quad (3)$$

J_v : número de juntas identificadas en el macizo rocoso por m^3

Geological Strength Index (GSI): Cálculo de calidad de roca, el cual consiste en la estimación de las propiedades del macizo rocoso en base a la observación realizada en terreno (Anexo A). Se debe tener en consideración la apariencia del macizo a nivel de estructura y la apariencia del macizo a nivel de condición de superficie.

Rock Mass Rating (RMR): Es un sistema de Rangos del Macizo Rocosos utilizado principalmente en la generación de túneles. Este sistema utiliza los parámetros geológicos significativos para asignarles un puntaje (Anexo B). Tiene en cuenta los parámetros de resistencia uniaxial, RQD, espaciamiento de discontinuidades,

condiciones de las discontinuidades, condiciones hidrogeológicas y orientación de las discontinuidades.

2.2 Marco Geomorfológico

La Región de Valparaíso a lo largo de su latitud ($32^{\circ}02'S$ - $33^{\circ}57'S$) presenta una geomorfología caracterizada de oeste a este por los siguientes rasgos: Planicies Litorales, Cordillera de la Costa, Depresión central y la Cordillera principal (Figura 4). Específicamente la ciudad de Valparaíso se encuentra ubicada en un sector costero constituido por sus planicies litorales y un batolito costero (Börgel, 1983). Las planicies corresponden a terrazas de abrasión marina formadas sobre la erosión de los intrusivos paleozoicos y mesozoicos (Gana, et al., 1996).

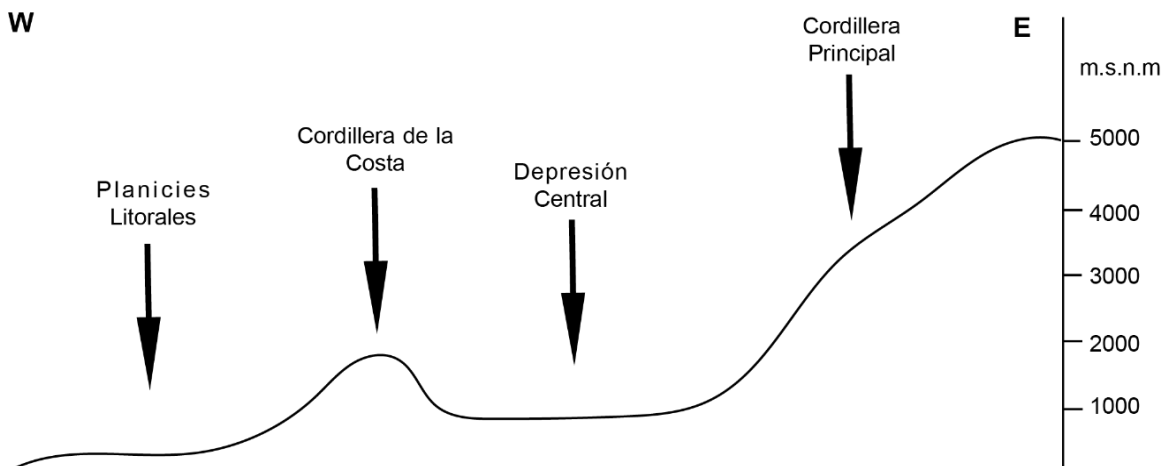


Figura 4. Perfil topográfico latitud $33^{\circ}S$ de una transecta oeste-este. Elaboración propia.

En la ciudad de Valparaíso existen niveles aterrizados, los cuales varían en cantidad dependiendo del autor. Álvarez (1964) sostiene que existen 9 niveles de terrazas marinas en el sector occidental de Valparaíso, sin embargo, estas no son identificables en su totalidad debido a las dislocaciones tectónicas asociadas en el área. Por otra parte, Castro y Brignardello (1997) reconocen 3 niveles de terrazas marina catalogadas a las siguientes alturas: 360-320 m.s.n.m (nivel 1); 280-230 m.s.n.m (nivel 2) y 90-20 m.s.n.m (nivel 3).

2.3 Marco Geológico Regional

La Cordillera de la Costa y otras morfologías costeras están constituidas por un basamento de rocas metamórficas e intrusivas del Paleozoico y Mesozoico. El basamento se encuentra cubierto en la costa por varios niveles de terrazas de abrasión sub-horizontales las cuales están compuestas por sedimentos cenozoicos poco consolidados de origen marino y continental, junto a sedimentos cuaternarios de origen fluvial, aluvial, eólico y marino (Gana et al., 1996). Esto implica en términos geotécnicos una diversa gama de materiales en la zona, que involucra rocas rígidas intrusivas y metamórficas, unidades de rocas meteorizadas y amaicilladas, arenas, depósitos semi-consolidados, depósitos no consolidados, y unidades afectadas por la presencia de fallas geológicas (Muñoz, 2013). Se identifican las siguientes unidades geológicas cercanas al área de estudio (Figura 5):

Depósitos litorales y eólicos actuales (Qe)

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

Terrazas de Abrasión (QTt)

Corresponden a unidades morfológicas de erosión marina asignadas al Plioceno-Pleistoceno, se encuentran sobre intrusivos paleozoicos, jurásicos y sobre formaciones sedimentarias. Conformadas por terrazas de abrasión sin cubierta sedimentaria, terrazas cubiertas por arenas cuarzosas y terrazas con cubierta aluvial. Aflora en el sector sureste y suroeste de Valparaíso (Gana et al., 1996).

Unidad Sauce (Js)

Corresponden a dioritas cuarcíferas de piroxeno-hornblenda-biotita, con tonalitas de hornblenda-biotita y gabros subordinados, que en ciertos afloramientos se

presentan en forma de bandas alternadas de 1-3m de espesor. Rocas de color gris oscuro a medio, grano medio a fino, con texturas inequigranular seriada e intergranular. Corresponde a un plutón complejo de composición básica a intermedia, presenta contactos graduales con el intrusivo Jlv (Gana et al., 1996). Sus afloramientos se ubican en el sector sur de la comuna de Valparaíso (Fuenzalida, 2015).

Unidad Laguna Verde (Jlv):

Corresponden a anfibolitas, orto-anfibolitas, gneises anfibólicos, dioritas y monzodioritas foliadas y gabros. Rocas de color gris oscuro a medio, grano medio a fino, con frecuente foliación magmática y en parte dinámica (gnéisica y milonítica). Estas rocas corresponden a plutones compuestos, de tamaño inferior a 16 km de largo, restringidos a la costa entre Laguna Verde y Punta Gallo. Intruyen ortogneises y granitoides paleozoicos, originando zonas bandeadas y de enclaves magmáticos (Gana et al., 1996). Sus afloramientos se ubican en la zona oeste de la comuna de Valparaíso (Fuenzalida, 2015).

Complejo Metamórfico Valparaíso (Pzmv):

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

Rocas Intrusivas del Paleozoico (Pzmg):

Corresponden a tonalitas, granodioritas, monzogranitos de afibola-biotita, sienogranitos y granitos de microclina. Presenta textura de grano grueso a medio,

junto a colores variables de gris medio a verdoso, además presentan foliaciones magmáticas. Poseen inclusiones dioríticas a dioríticas cuarcíferas

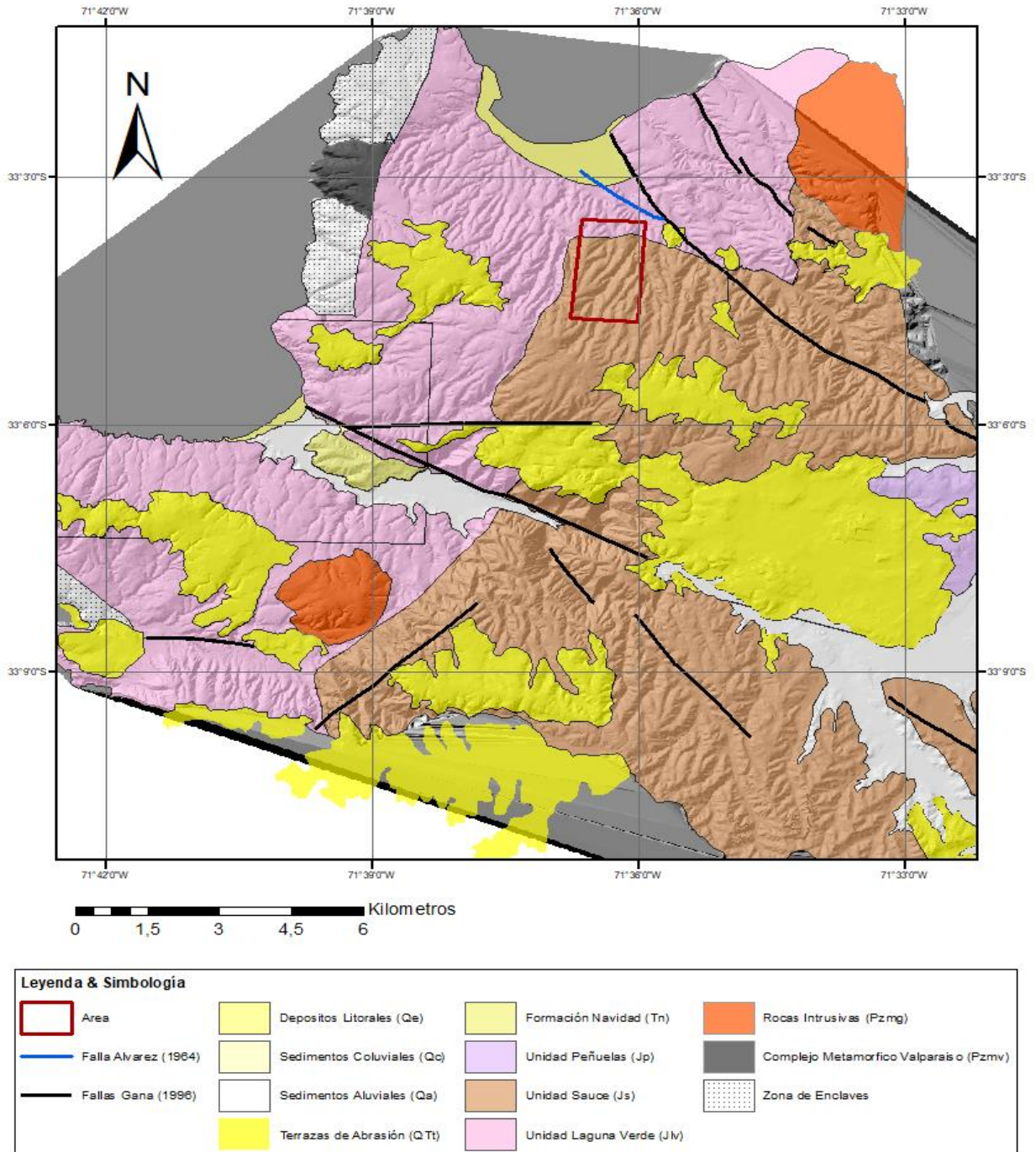


Figura 5. Mapa geológico del Sector de Valparaíso y Viña del Mar. Escala 1:100.000. Polígono rojo indica el área de estudio. Modificado de Gana et al (1996). SERNAGEOMIN.

2.4 Recopilación bibliográfica de remociones en masas

El sector costero de Valparaíso presenta una susceptibilidad moderada y moderada-alta a deslizamientos, flujos de barro y/o detritos, reptación, caída de roca y colapso de materiales inestables (López et al., 2005). En base a una recopilación de eventos históricos de remociones en masa en la Región de Valparaíso (Figura 6) realizados por el Servicio Nacional de Geología y Minería (Sernageomin, 2012) y el Ministerio de Obras Públicas (MOP, 2019) (Anexo C), se identificaron lugares críticos o de mayor acumulación de eventos, los cuales coinciden con algunos sectores del área de estudio. Estos eventos corresponden principalmente deslizamientos, caídas de rocas y aluviones (flujos).

Mapa de Inventario 1:25.000

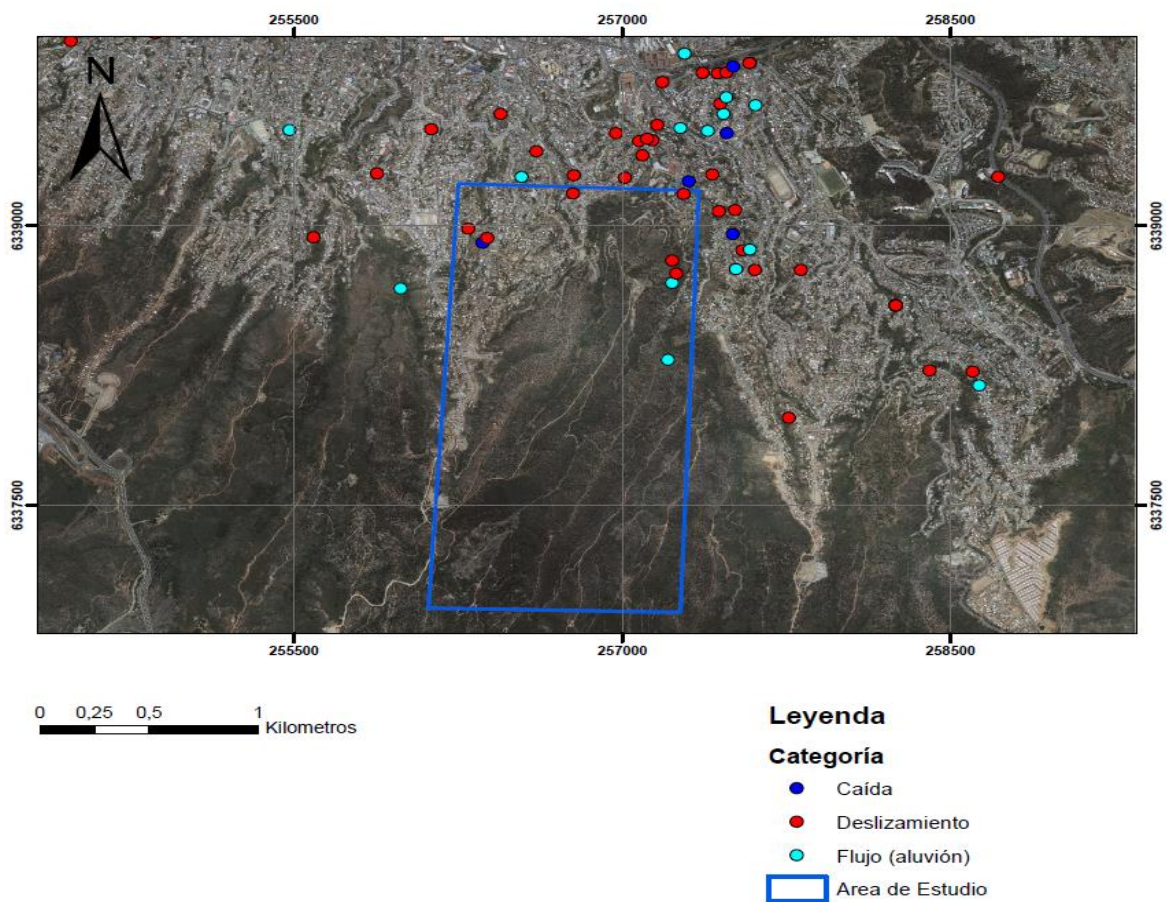


Figura 6. Mapa de distribuciones de eventos históricos ocurridos en la Región de Valparaíso. Escala 1:25.000. Fuente SERNAGEOMI (2012) & Ministerio de Obras Públicas (2019).

Capítulo 3. METODOLOGÍA

3.1 Introducción

La metodología aplicada en este trabajo para evaluar la susceptibilidad de caídas de rocas corresponde a la propuesta por Muñoz (2013), la cual permite determinar un índice de susceptibilidad basado en la sumatoria de ponderaciones sobre los factores que condicionan al macizo rocoso. El trabajo propuesto por Muñoz (2013) consta de evaluar la susceptibilidad de remociones en masa en zonas urbanas, las remociones analizadas en dicho trabajo corresponden a deslizamientos de rocas y suelos, caídas de rocas y flujos. Para este trabajo se realiza específicamente el análisis de susceptibilidad para caídas de rocas.

Muñoz (2013) propone la división de los sectores de estudio en unidades de análisis, basándose en los rasgos geomorfológicos, geológicos – geotécnicos y además criterios urbanos. En primer lugar, se divide el sector en unidades con valores similares de pendientes, altura, orientación de laderas, formas de los taludes o algún otro rasgo geomorfológico particular. Por otra parte, es importante incluir los criterios urbanos como son los límites entre sectores, los ejes viales, calles y las zonas intervenidas antrópicamente.

En cuanto a los factores condicionantes considerados en este trabajo se identifican los siguientes, de acuerdo con la metodología de Muñoz (2013):

Geomorfología: Se analizan las pendientes, las alturas máximas, geometrías de las laderas y orientaciones de las laderas. Esto se realiza mediante el análisis satelital de un modelo de elevación digital (DEM) a escala 1:10.000.

Geología – Geotecnia: La geología se compone de la litología y estructuras que conforman las unidades de análisis. En cuanto a la geotecnia se evalúa la calidad del macizo rocoso a través del parámetro RMR (Rock Mass Rating) propuesto por Bieniawski (1989). Además, se tiene en cuenta la proximidad a una falla mayor o alguna zona de falla, esto se relaciona al comportamiento geotécnico de la roca sugiriendo que la calidad geotécnica disminuirá en los macizos rocosos aledaños a la falla o zonas de falla.

Intervención Antrópica: Se identifica la presencia de obras de estabilización, unidades no intervenidas y desestabilización evidente de las unidades de análisis.

Antecedentes de remociones en masa: Se debe identificar la existencia de remociones en masa anteriores y los tipos de remociones en masa ocurridas en las diversas unidades de análisis.

Clima y Vegetación: La evaluación del clima como un condicionante está asociado a la humedad de la ladera y por ende a los espesores del suelo y vegetación. La vegetación en el caso de caídas de rocas tiende a actuar como un condicionante positivo dado que actúa como una barrera de contención, sin embargo, depende del tipo de vegetación (altura y forma) si es favorable o no a la ocurrencia del mecanismo.

Tipo de material: Se tiene en cuenta si el material (roca o suelo) es compatible con el mecanismo, si el material es compatible el valor del factor es 1, de lo contrario tendrá valor 0.

Para el presente trabajo se utilizan las ponderaciones propias propuestas por Muñoz (2013) dada la similitud de las características geomorfológicas, geológicas – geotécnicas y antrópicas de ambos trabajos. Dichas ponderaciones se pueden visualizar en la Tabla 4.

Tabla 4. Ponderaciones máximas consideradas para cada factor en análisis de caídas de rocas. Fuente: Muñoz (2013)

FACTOR	% máx.	DESGLOSE DE FACTORES	% máx.
GEOMORFOLOGIA (F1)	35	Pendiente Promedio de la unidad	15
		Altura máxima de la unidad	10
		Forma	10
GEOLOGÍA Y GEOTECNIA (F2)	20	Características Geológicas - Geotécnicas de la unidad	15
		Cercanía a una falla mayor y/o zona de cizalle	5
INTERVENCIÓN ANTRÓPICA (F3)	25	Presencia de Desestabilización/ Estabilización artificial. Se evalúa la condición de la unidad respecto al mecanismo analizado	25
ANTECEDENTES (F4)	10	Caídas de rocas reconocidas en la ladera	10
CLIMA Y VEGETACIÓN (F5)	10	Condición de Humedad en la ladera	5
		Presencia Vegetación	5

Para llevar a cabo la metodología se consta de cuatro etapas principales que permiten evaluar la susceptibilidad de caídas de rocas en la zona de estudio, dichas etapas corresponden a preterreno, terreno, laboratorio y gabinete.

3.2 Preterreno

Se elaboró un inventario de remociones en masa ocurridas en la ciudad de Valparaíso (Anexo C) en base a la información obtenida a través del Servicio Nacional de Geología y Minería (Sernageomin, 2012), El Ministerio de Obras Públicas (MOP, 2019), otros trabajos tales como Muñoz (2013) y Fuenzalida (2015) y un análisis satelital para poder seleccionar un área de interés específico en base a la ocurrencia de estos eventos.

3.3 Terreno I

Se realizó un reconocimiento del área de interés con la ayuda de la Ilustre Municipalidad de Valparaíso quienes se encargaron de indicar los sectores con mayores antecedentes de remociones en masa. Dado esto se selecciona el área de estudio, que corresponde a un sector de posible extensión urbana.

3.4 Gabinete I

Se generaron diversos mapas para analizar los factores condicionantes del área de estudio y poder generar las unidades de análisis en base a la metodología de Muñoz (2013). Los mapas se realizaron a partir de una imagen DEM (Modelo de Elevación Digital) del año 2017, con un tamaño de celda de 5 x 5, otorgada por la Ilustre Municipalidad de Valparaíso la cual abarca toda el área de la ciudad. Acorde a la necesidad del estudio, mediante el software ArcMap 10.5, se realizaron los siguientes mapas:

Mapa inventario preliminar: Realizado mediante antecedentes bibliográficos nombrados en el Preterreno a escala 1:15.000, se tomaron en cuenta 42 remociones en masa las cuales se encuentran en el área de estudio y las más cercanas a ésta.

Mapa de pendientes: Realizado mediante la imagen DEM obtenida por la Ilustre Municipalidad de Valparaíso. Se clasificó en seis clases basadas en la metodología propuesta por Muñoz (2013), las cuales corresponden en orden ascendente a 10-20° (Clase 1), 20-25° (Clase 2), 25-30° (Clase 3), 30-40° (Clase 4), 40-60° (Clase 5), >60° (Clase 6).

Mapa geológico regional: Corresponde al mapa geológico realizado por Gana et al. (1996) a escala 1:100.000 en donde se identifica la distribución de las unidades y estructuras geológicas.

Mapa de orientación de laderas: Realizado mediante la imagen DEM obtenida por la Ilustre Municipalidad de Valparaíso. Se clasificó en tres clases en base a la metodología propuesta por Muñoz (2013), las cuales corresponden a las orientaciones Norte, Sur y Este-Oeste.

Mapa sobre el índice de vegetación: Realizado mediante una imagen del satélite Landsat 8 del año 2020, la cual posee una resolución espacial de 30 metros. La imagen espacial fue obtenida a través de la plataforma Earth Explorer del Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS). Se realizó una calibración radiométrica en la imagen con la finalidad de obtener una calidad de imagen y poder realizar un Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI) donde se identifican los sectores con presencia de vegetación.

Mapa de elevaciones: Realizado mediante la imagen DEM obtenida por la Ilustre Municipalidad de Valparaíso, los rangos de elevación son los utilizados por Muñoz (2013) para visualizar de mejor manera los distintos niveles aterrazados reconocidos en el área de Valparaíso. La finalidad del mapa es identificar las alturas de los sectores para realizar una relación con la energía potencial que poseen las rocas al momento de propiciar una remoción en masa tipo caída de roca.

Mapa de Curvaturas: Realizado mediante la imagen DEM obtenida por la Ilustre Municipalidad de Valparaíso, la imagen procesada analiza los perfiles de los taludes de manera longitudinal y transversal. Su clasificación en el perfil transversal consiste en alta curvatura y baja curvatura haciendo énfasis a que los rangos de mayor curvatura corresponden a zonas cóncavas y los rangos de menor curvatura corresponden a zonas convexas. La curvatura corresponde a un factor condicionante geomorfológico en la metodología propuesta por Muñoz (2013) dado que se refiere a la geometría de las laderas. En este caso las curvaturas convexas son más propensas a fallar por corte en relación con las curvaturas cóncavas debido a la concentración de esfuerzos en la parte baja de los taludes (Camacho S. & Garzón A., 2014)

Mapa sobre unidades de análisis: Realizado a partir de los mapas de pendientes, orientaciones de las laderas, curvaturas de las laderas, elevaciones del área y geología-geotecnia local. De acuerdo con la metodología propuesta por Muñoz (2013) se englobaron unidades con características geomorfológicas similares para posteriormente realizar el análisis con el resto de los factores condicionantes. Cabe mencionar que este mapa corresponde a una delimitación preliminar de las unidades de análisis, dado que fue necesario el complemento con los rasgos geológicos-geotécnicos observados posteriormente en terreno.

3.5 Terreno II

Se caracterizaron los sectores mediante un mapeo geomorfológico y geológico-geotécnico. En el aspecto geológico – geotécnico se realizaron reconocimientos litológicos, estructurales y análisis de calidad en los macizos rocosos. En cuanto al aspecto geomorfológico se estudiaron las pendientes, alturas, formas y orientaciones de las laderas. Además, se observaron a mayores detalles los factores clima, vegetación y humedad pudiendo complementarse con el análisis bibliográfico realizado.

Por otra parte, se realizaron las extracciones de muestras en los sectores de roca aflorante. La caracterización del macizo rocoso se realizó acorde a las siguientes etapas:

Descripción general del macizo rocoso: Se identifican las condiciones y características generales que engloban al macizo rocoso, es decir se identifican los sectores con suelo, roca, vegetación, zonas húmedas y discontinuidades generales.

Descripción detallada del macizo rocoso: Se describe en detalle la litología y estructuras predominantes en los sectores seleccionados. El criterio utilizado para seleccionar los sectores es en base a la presencia de un afloramiento expuesto, accesibilidad al sector del afloramiento y que estos se encuentren asociado a las unidades de análisis para una posterior extrapolación. En las

estructuras se identifican el número de familias de discontinuidades, espaciamiento, orientación, aberturas, rellenos y persistencia. Para la descripción detallada se utiliza la clasificación Rock Mass Rating (RMR) propuesta por Bieniawski (1989) explicada en el capítulo 2.1.3 señalando los parámetros que se tienen cuenta para la clasificación.

Se elabora un mapa de la geología local a escala 1:10.000 con los datos obtenidos en esta etapa.

3.6 Laboratorio

Se realiza un análisis de carga puntual sobre las muestras extraídas en terreno con la finalidad de poder caracterizar de mejor manera la calidad del macizo rocoso mediante el método Rock Mass Rating. Se realizaron ensayos geomecánicos en las muestras seleccionadas, dicho análisis corresponde a un ensayo de carga puntual el cual fue realizado en base a la norma 5731 de la Sociedad Americana para Pruebas y Materiales (ASTM). El ensayo de carga puntual consiste en aplicar una fuerza vertical mediante dos puntas cónicas a una muestra de roca con la finalidad de romperla. El valor obtenido a través de este ensayo corresponde a una fuerza (P) de ruptura de la roca la cual se utiliza en la formula denominada índice de carga puntual (Formula 5).

$$I_s = \frac{P * 1000}{D_e^2} \quad (5)$$

Donde I_s corresponde al índice de carga puntual (MPa), P indica la fuerza de rotura (kN) y D_e corresponde al diámetro equivalente de la muestra (mm). El diámetro equivalente se calcula a través de la Formula 6.

$$D_e = \frac{4}{\pi} * W * D \quad (6)$$

Donde W corresponde a la anchura de la muestra (promedio de su anchura máxima y mínima) y D corresponde a la distancia entre las dos puntas cónicas al momento de la rotura.

Posteriormente se debe realizar una corrección al índice de carga puntual denominada $I_s(50)$ (Formula 7) en la cual se elimina la influencia del tamaño en la resistencia de la muestra.

$$I_s(50) = \left(\frac{D}{50}\right)^{0,45} * I_s \quad (7)$$

Por último, se realiza una conversión del Índice de carga puntual a el parámetro denominado resistencia a la compresión uniaxial (UCS) el cual se obtiene multiplicando el valor de I_s por un factor de 23 (Osouli et al, 2014). El resultado puede catalogarse a través de una clasificación propuesta por Brown (1981) en la cual cataloga la resistencia de la muestra (Tabla 5).

Tabla 5. Clasificación propuesta por la Sociedad Internacional de Mecánica de Roca (Brown, 1981).

Resistencia (MPa)	Clasificación
>250	Extremadamente alta
100-250	Muy Alta
50-100	Alta
25-50	Media
5-25	Baja
1-5	Muy Baja
<1	Extremadamente Baja

3.7 Gabinete II

En primera instancia se complementa la delimitación preliminar de las unidades de análisis con la información geológica-geotécnica obtenida en el Terreno II. Lo anterior se realiza con la finalidad de obtener las unidades de análisis definitivas para este estudio.

En base a los datos obtenidos en las etapas anteriores se realizó un mapa de susceptibilidad de caídas de rocas a una escala 1:10.000 a través del software ArcMap 10.5, donde se tomaron en cuenta las unidades de análisis geomorfológicas y geológicas-geotécnicas identificadas en las etapas anteriores y las ponderaciones correspondientes a cada factor condicionante. Para ello se utilizó la metodología propuesta por Muñoz (2013) para poder asignar las ponderaciones de los diferentes factores condicionantes del macizo rocoso. Dado que el trabajo realizado se enfoca netamente en caídas de rocas se ocupa la tabla propuesta por Muñoz (2013), que consiste en el desglose de los factores condicionantes y el peso asignado a cada rango en caídas de rocas (Tabla 6). Debido a la similitud del área de estudio propuesta por Muñoz (2013) y la del presente trabajo no se realizó una variación en la ponderación de factores condicionantes.

Para realizar el cálculo del Índice de Susceptibilidad (IS) se debe tener en cuenta que cada remoción en masa posee porcentajes determinados, los cuales corresponden al peso asignado a cada factor condicionante. Para el caso de caídas de rocas se realiza una sumatoria de las ponderaciones realizadas en los factores condicionantes y se multiplica por el tipo de material presente en el macizo rocoso (Fórmula 8). El material puede corresponder a suelo o roca, si corresponde a suelo se le asigna un valor de 0 y si corresponde a roca se le asigna un valor de 1.

$$IS_{caida\ de\ rocas} = \left(\sum f(n) \right) \times f_{tipo\ de\ material} \quad (8)$$

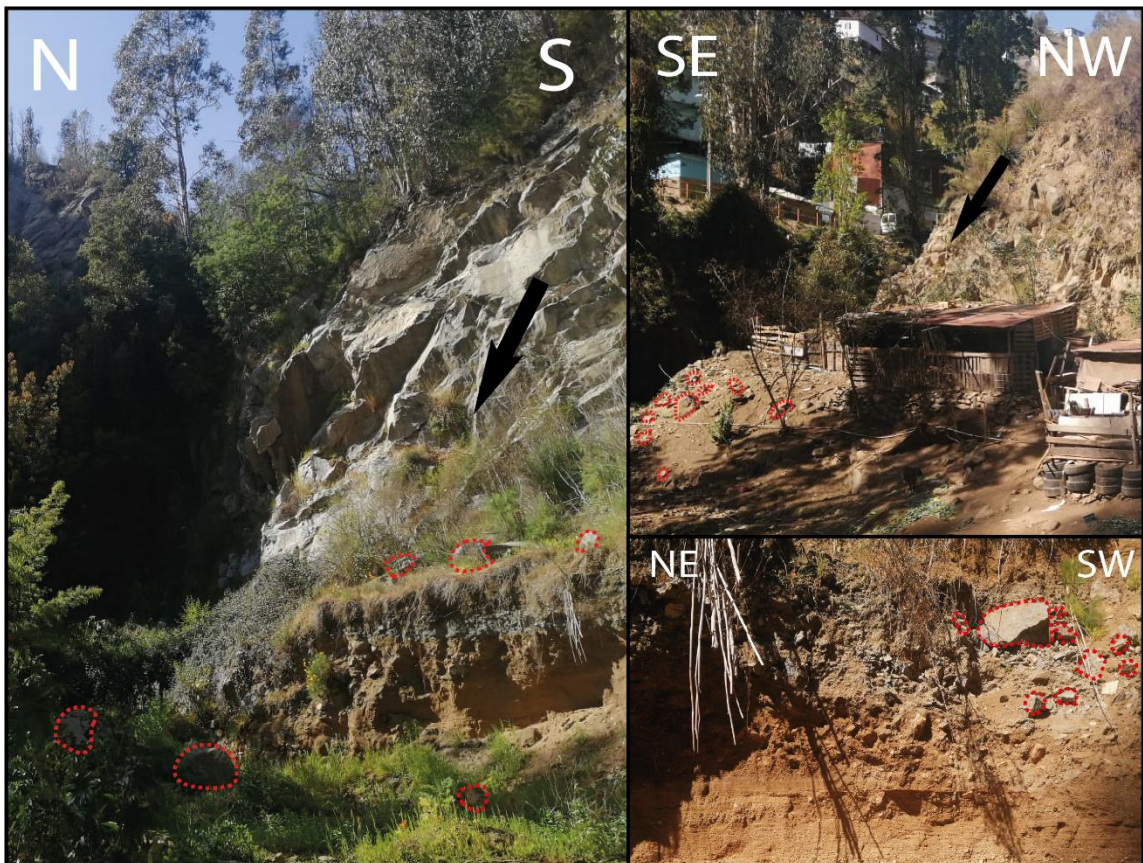
Tabla 6. Factores condicionantes de caídas o desprendimientos de rocas desglosados en peso (%) para cada rango utilizados en el presente trabajo (Muñoz, 2013).

FACTOR	% máx.	DESGLOSE DE FACTORES	% máx.	ESPECIFICACIONES	RANGOS	%		
GEOMORFOLOGIA (F1)	35	Pendiente Promedio de la unidad	15	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		
		Altura máxima de la unidad	10	Considerar la altura máxima de la unidad	> 60°	15		
					0m - 5m	0		
					5m - 10m	1		
					10m - 15m	3		
					15m - 20m	4		
					20m - 30m	5		
		Forma	10	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	30m - 50m	7		
					50m - 100m	8		
					> 100m	10		
					muy favorable	0		
GEOLOGÍA Y GEOTECNIA (F2)	20	Características Geológicas - Geotécnicas de la unidad	15	Considerar la calidad del macizo rocoso, mediante estimación o determinación de Rock Mass Rating (RMR). Rangos utilizan valores de RMR	favorable	1		
					media	4		
					poco favorable	7		
					muy poco favorable	10		
					80-100	3		
		Cercanía a una falla mayor y/o zona de cizalle	5	Definir si la zona analizada está cerca de la falla mayor	15	Unidad a más de 100 metros de falla mayor Unidad a menos de 100 metros de falla mayor Unidad es atravesada por una falla mayor	60-80	6
							40-60	9
							20-40	12
							0-20	15
							Unidad a más de 100 metros de falla mayor	0
INTERVENCIÓN ANTRÓPICA (F3)	25	Presencia de Desestabilización/ Estabilización artificial. Se evalúa la condición de la unidad respecto al mecanismo analizado	25	Obra de estabilización mayor (por ejemplo, muros hormigón) Sistema de bancos y/o Soporte robusto Unidad no intervenida (ladera natural) soporte insuficiente o intervención menor Regular desestabilización o intervención Desestabilización evidente	Unidad a menos de 100 metros de falla mayor	3		
					Unidad es atravesada por una falla mayor	5		
					condición muy favorable	-10		
					condición favorable	-2		
					inexistente ambas (no intervenida)	0		
					condición medianamente favorable	15		
ANTECEDENTES (F4)	10	Caídas de rocas reconocidas en la ladera	10	Ver si existen registros o evidencias de caídas de roca en la ladera	condición desfavorable	19		
					condición muy desfavorable	25		
CLIMA Y VEGETACIÓN (F5)	10	Condición de Humedad en la ladera	5	Ver si hay humedad en la ladera y/o vegetación intensa	Presente	10		
					no observado	0		
		Presencia Vegetación	5	Ver si existe vegetación y si es favorable o no a la ocurrencia del mecanismo	Presente	5		
					no observado	0		
TIPO MATERIAL (F6)				Si el tipo de material dominante en la ladera es compatible con el tipo de mecanismo	No Favorable a la ocurrencia del mecanismo	0		
					Favorable a la ocurrencia del mecanismo	5		
					No compatible (suelos)	0		
					Si compatible (rocas)	1		

Capítulo 4. RESULTADOS

4.1 Inventario de caídas de rocas

En el área de estudio se identificaron diversos sectores con caídas de rocas (Fotografía 1), dentro de los cuales se identifican bloques que alcanzan dimensiones de $1 \times 0,5 \times 0,7$ y poseen formas subangulosas-angulosas y de baja esfericidad. En cuanto a la distancia de recorrido de los bloques varían desde los 0,1 metros hasta 4 metros de distancia desde el pie del talud.



Fotografía 1. Fotografías de caídas de rocas en el sector La Cantera, Región de Valparaíso.

En base a los lugares con presencia de caídas de rocas se plotearon los diversos puntos para poder generar un inventario de detalle del área de estudio (Figura 7). Además, se complementan con los antecedentes bibliográficos de remociones en masa publicados por SERNAGEOMIN (2012) y el Ministerio de Obras Publicas (2019).

Se identifica que gran parte de los antecedentes se concentran en las zonas urbanas principalmente en las cercanías de la calle La Cantera. Los antecedentes recopilados son netamente en sectores urbanos que son afectados por una remoción, es decir los sectores no intervenidos no poseen un catastro de remociones en masa tipo caída de rocas.

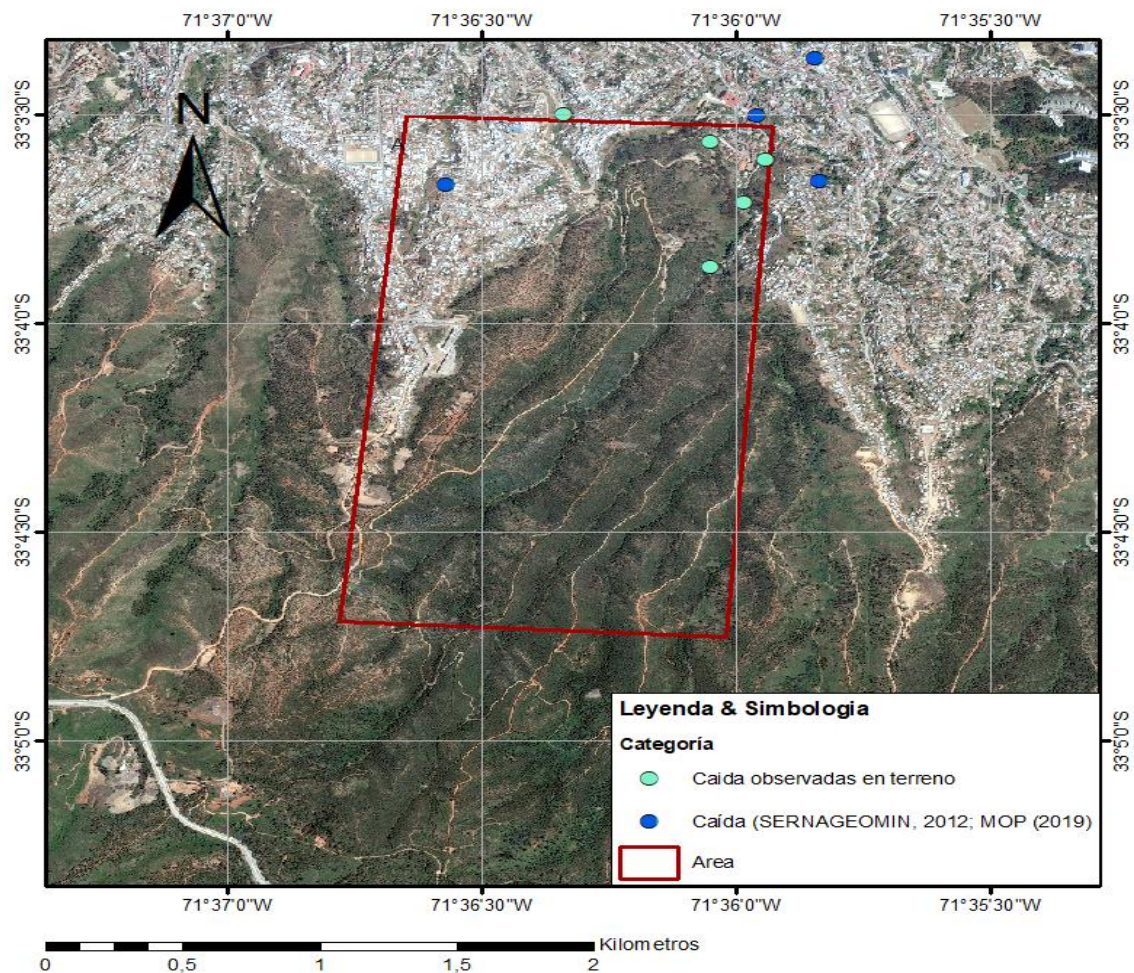


Figura 7. Mapa Inventario de las caídas de rocas. Elaboración propia

4.2 Geomorfología

En el área de estudio, los cerros presentan una disposición preferencial NW-NNW y en menor cantidad disposiciones NE. Las laderas por su lado presentan formas que varían a lo largo de su perfil longitudinal siendo las más predominantes las formas convexas y regulares. Para lograr una mayor comprensión de la geomorfología del sector, se aborda cada rasgo geomorfológico: hipsometría, pendientes, exposición de laderas y curvaturas.

4.2.1 Hipsometría

En base a la metodología de Muñoz (2013) se clasifican ocho rangos de cotas con una diferencia de 54 metros cada una, siendo el valor con mayor altitud de 410 m.s.n.m., ubicado en el sector suroeste del área de estudio y el de menor altitud corresponde a 45 m.s.n.m, ubicado en el sector noroeste del área de estudio (Figura 9). Se reconocen, en base a las terrazas identificadas por Castro y Brignardello (1997), dos terrazas observadas a través del perfil A-A' ubicadas entre los rangos 275-300 m.s.n.m y 330-350 m.s.n.m. (Figura 8).

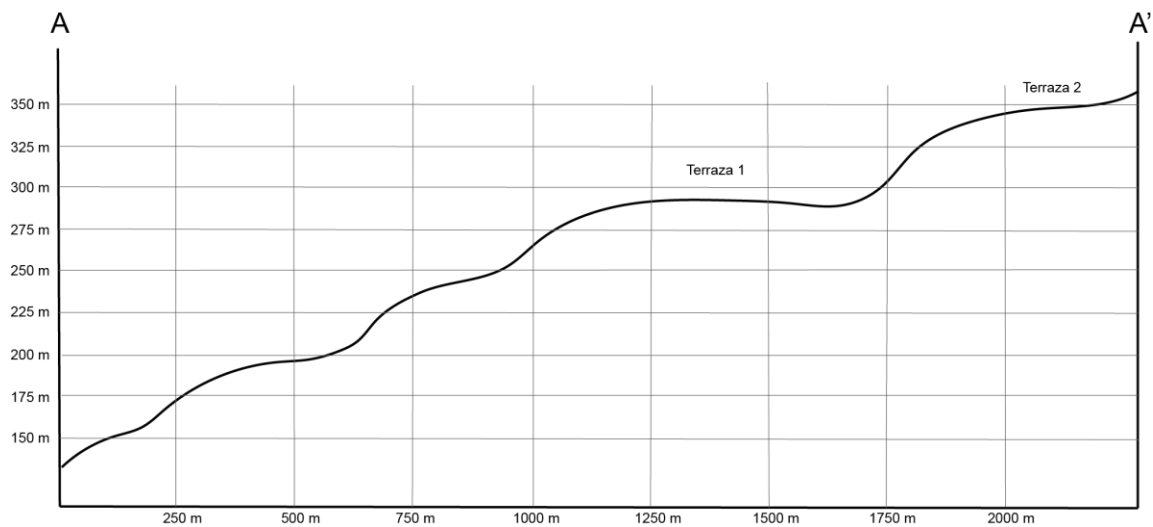


Figura 8. Perfil geomorfológico identificando los niveles aterrazados correlacionados con otros trabajos. Elaboración propia.

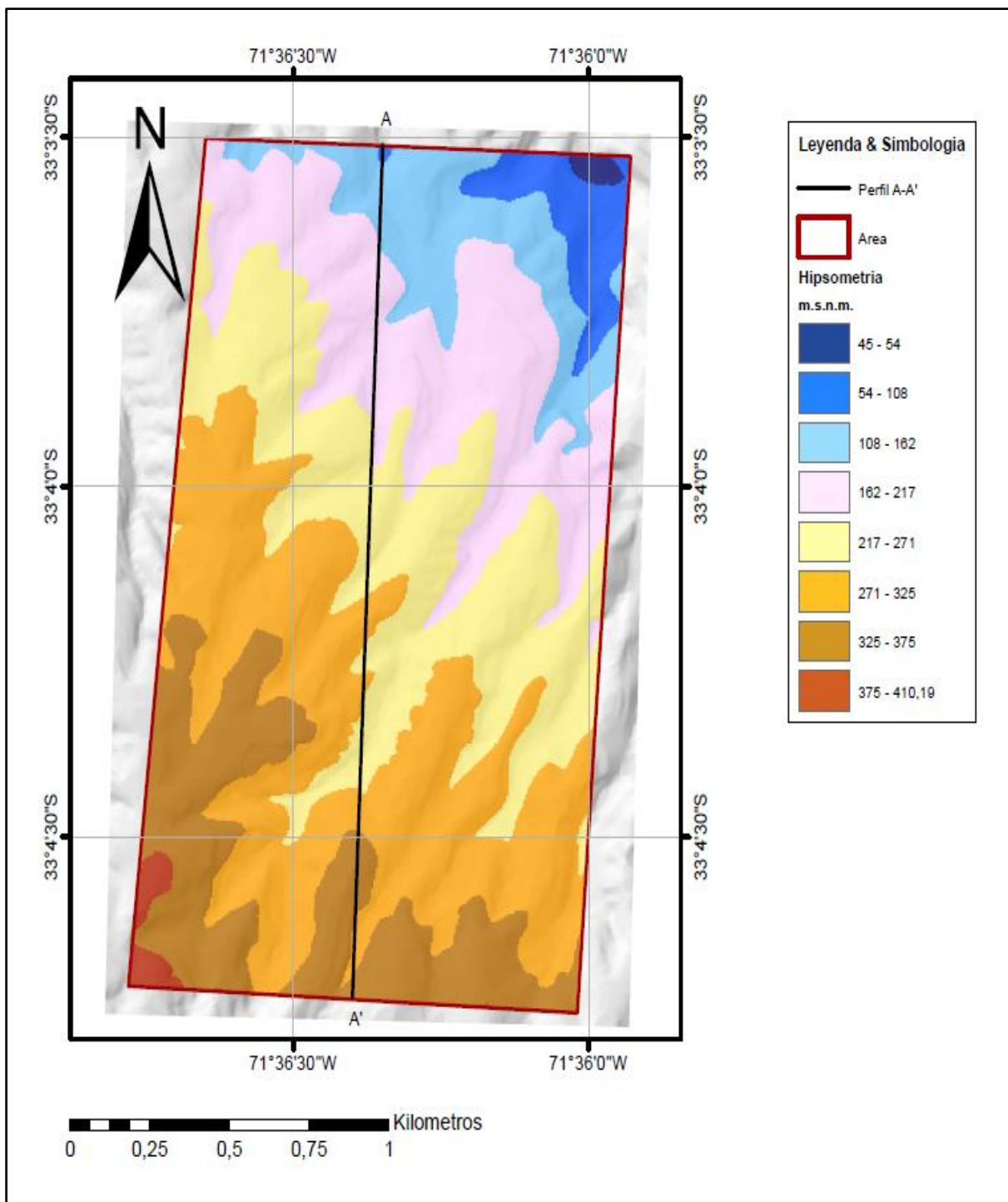


Figura 9. Mapa Hipsométrico del área de estudio, escala 1:15.000. Elaboración propia

4.2.2 Pendientes

El área de estudio presenta pendientes pronunciadas alcanzando valores sobre 88° de inclinación, los que se concentran principalmente en las cercanías del cerro Ramaditas (sector noreste). Además, se identifican sectores de pendientes moderadas a fuertes correspondientes a flancos de quebradas (Figura 10). Por otra parte, se identifican sectores de pendiente suave a nulas asociadas a niveles aterrizados correlacionados con la elevación del sector (Fotografía 2).

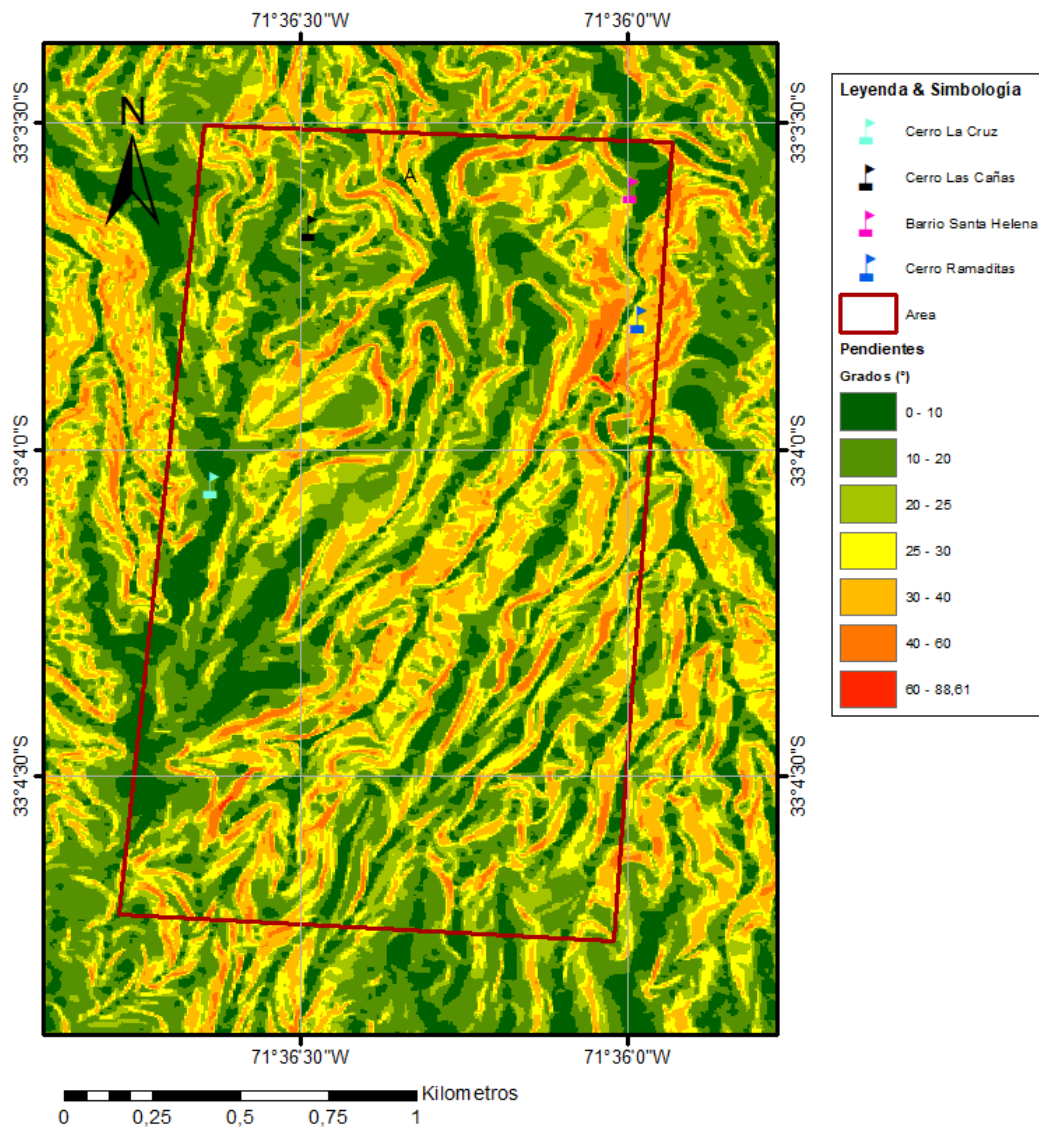


Figura 10. Mapa de pendientes, escala 1:15.000. Realizado a partir de una imagen DEM de la Ilustre Municipalidad de Valparaíso. Elaboración propia.

Específicamente las mayores pendientes se concentran en el sector de la calle La Cantera, donde se encuentran pendientes de aproximadamente 70° en su mayoría (Figura 11).



Figura 11. Fotografías esquemáticas de pendientes en diversos sectores de la zona de estudio. Arriba zona correspondiente a vista en dirección NW desde el Pajonal. Abajo sector La Cantera con pendientes pronunciadas.

4.2.3 Exposición de Laderas

Se identifican, a través del modelo de elevación digital (DEM), las orientaciones de laderas principales del sector, las que se clasifican en tres clases: norte, sur y este-oeste (Figura 12). Los sectores con orientación norte poseen mayor exposición solar y por el contrario los sectores con orientación sur poseen menor exposición solar. Se puede identificar a través del mapa que el 70% de los eventos se concentran en los sectores con orientación norte principalmente.

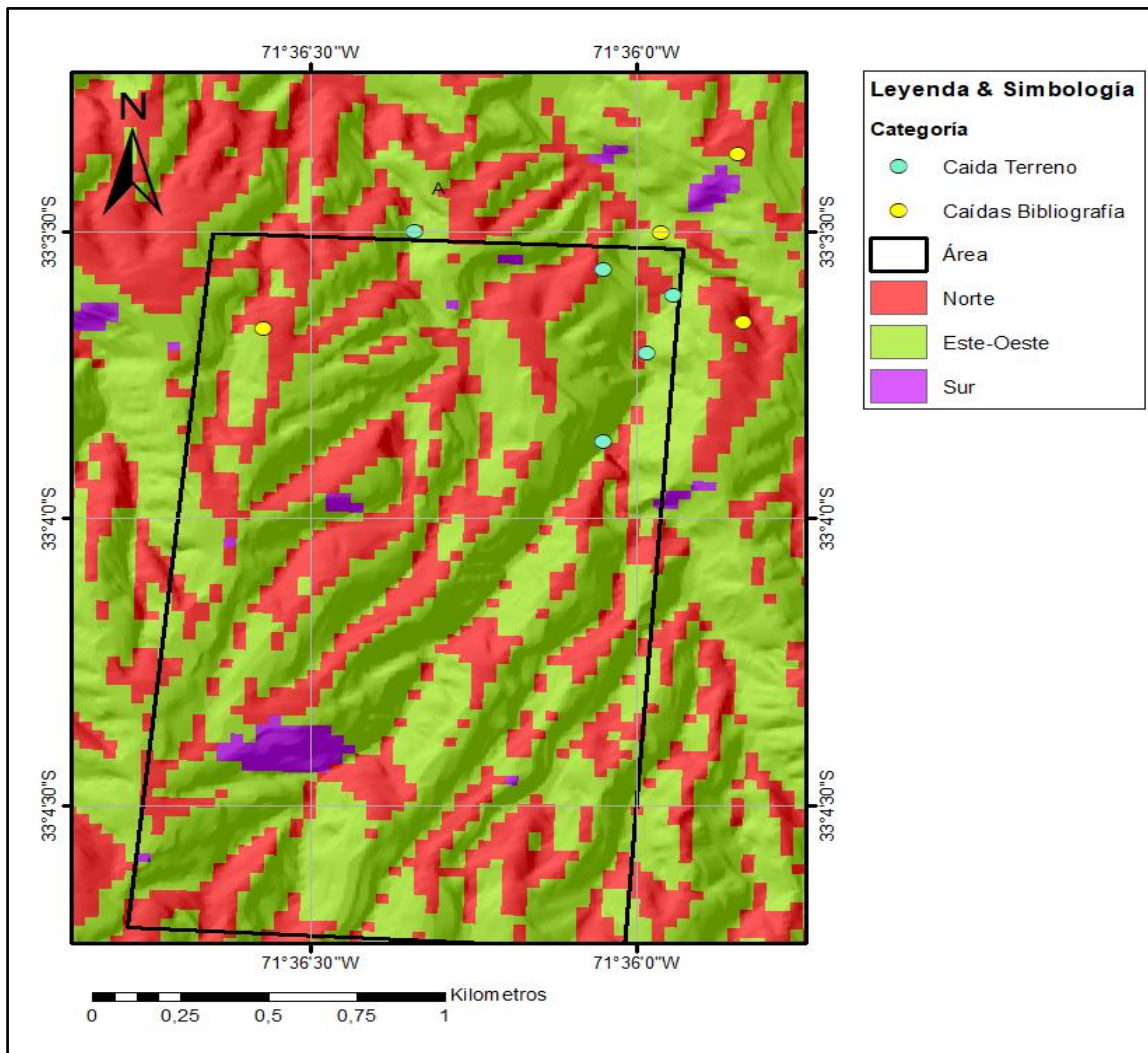


Figura 12. Mapa de orientaciones principales de laderas en el área de estudio, escala 1:15.000.
Elaboración propia

4.2.4 Curvatura

Las curvaturas presentes en el área de estudio se relacionan a las geometrías que pueden presentar los diversos (Figura 13). A través de estas geometrías, es posible identificar sectores con mayor susceptibilidad de una remoción en masa. Los taludes con curvaturas convexas son más propensos a fallar por corte en relación con los taludes con curvaturas cóncavas, debido a la concentración de esfuerzos en la parte baja del talud (Camacho S. & Garzón A., 2014). En el área de estudio se identifican varias combinaciones de geometrías (Figura 14) que afectan a la generación de caída de rocas. Debido a esto se analiza el modelo de elevación digital (DEM) para identificar las diversas curvaturas en perfil y planta de los taludes.

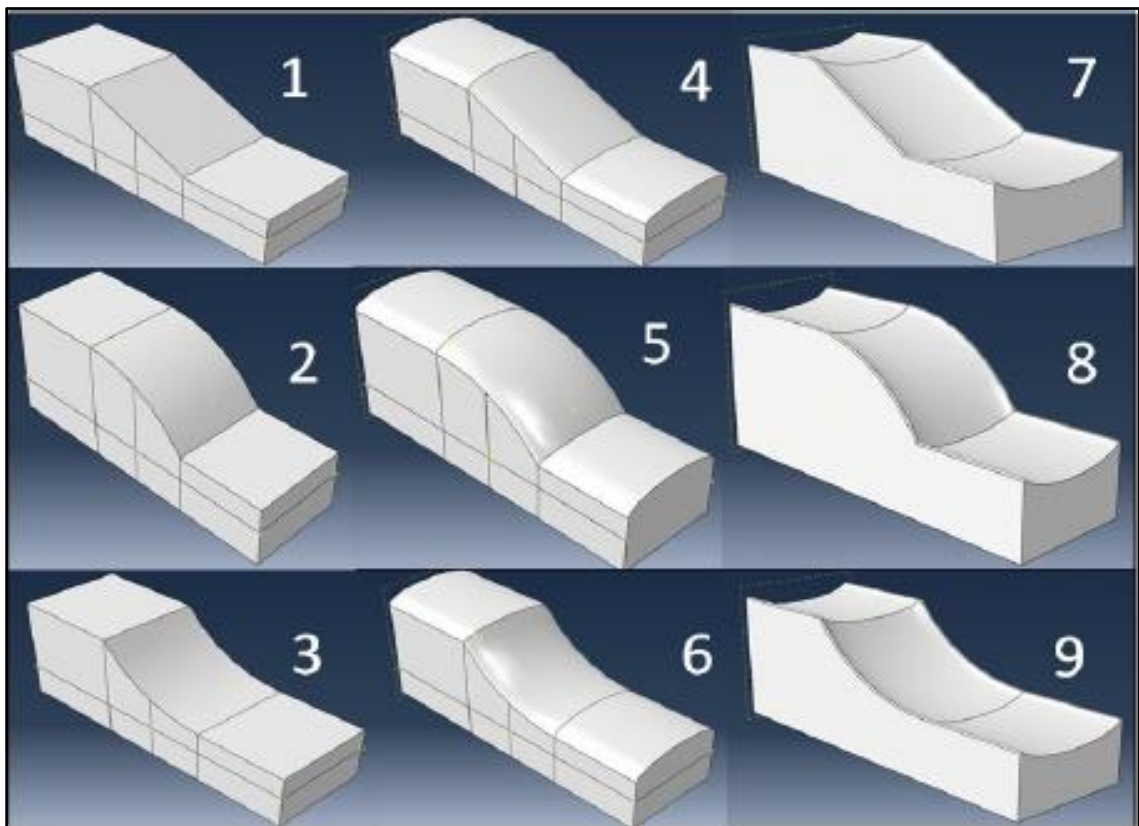


Figura 13. Nueve combinaciones posibles de geometrías en taludes tridimensionales. Fuente: Camacho S. & Garzón A., 2014

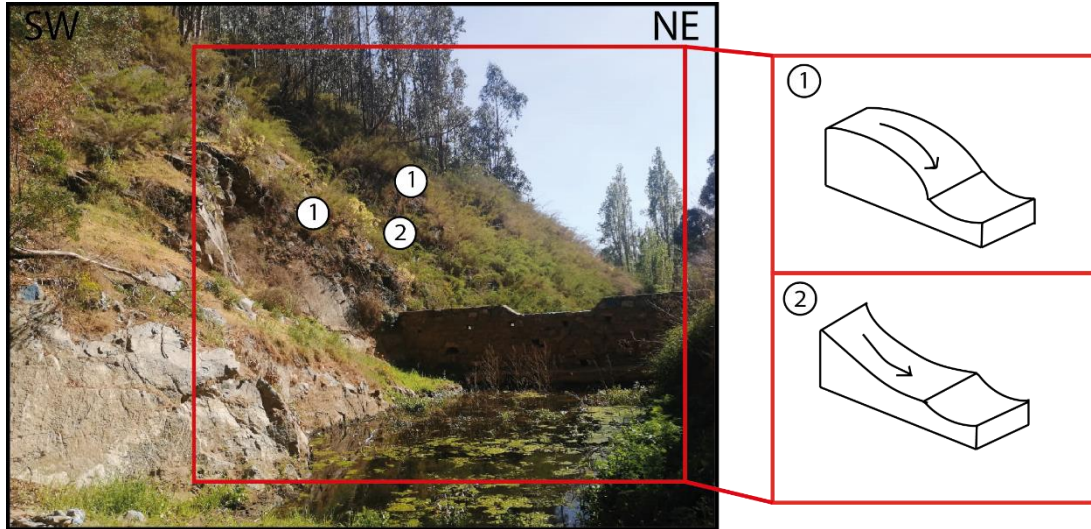


Figura 14. Geoformas identificadas en el sector Quebrada los Lavados, Valparaíso.
 Coordenadas: 33°03'42,5" S 71°35'58" W.

En los perfiles longitudinales de los taludes se clasifican tres clases de curvaturas: cóncavo, convexo y plano (Figura 15). Las curvaturas con alto valor corresponden a zonas cóncavas, por el contrario, las zonas con bajo valor corresponden a zonas convexas. Las zonas cóncavas se asocian principalmente a canales o arroyos y las zonas convexas a montañas.

Por otra parte, la perspectiva en planta de los taludes se clasifica en tres clases: cóncavo, convexo y plano (Figura 15). Sin embargo, en este caso las curvaturas con alto valor corresponden a zonas convexas y por el contrario las zonas con bajo valor a zonas cóncavas.

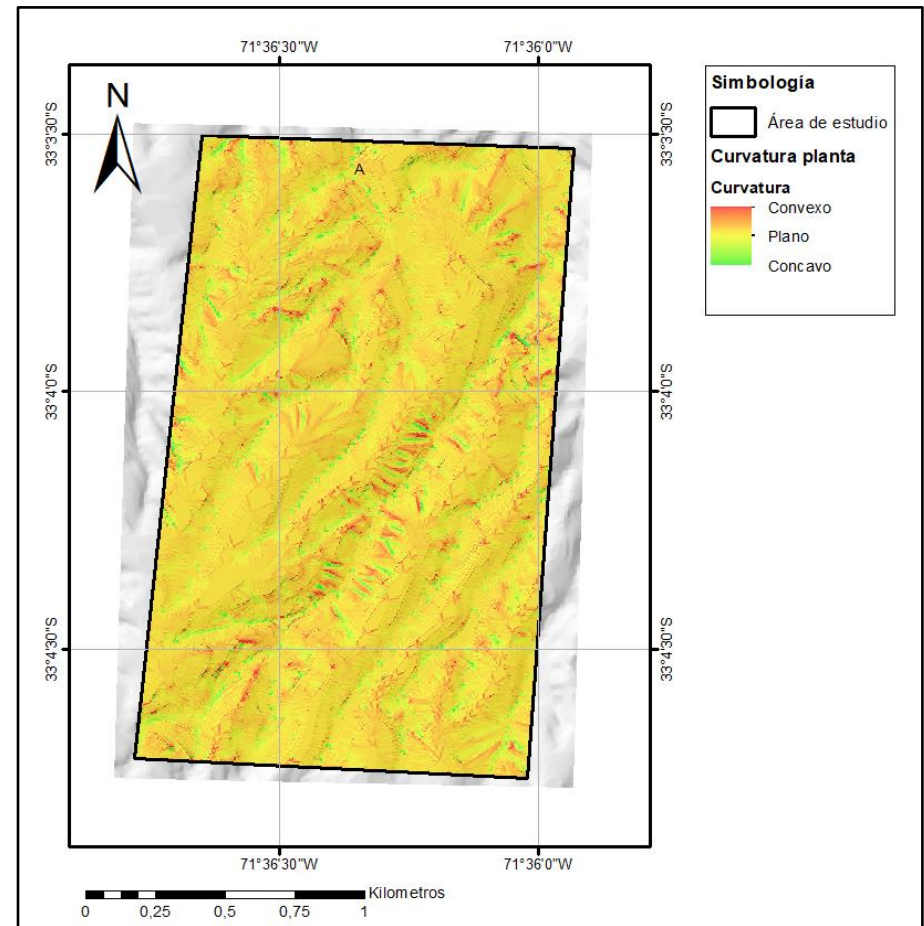
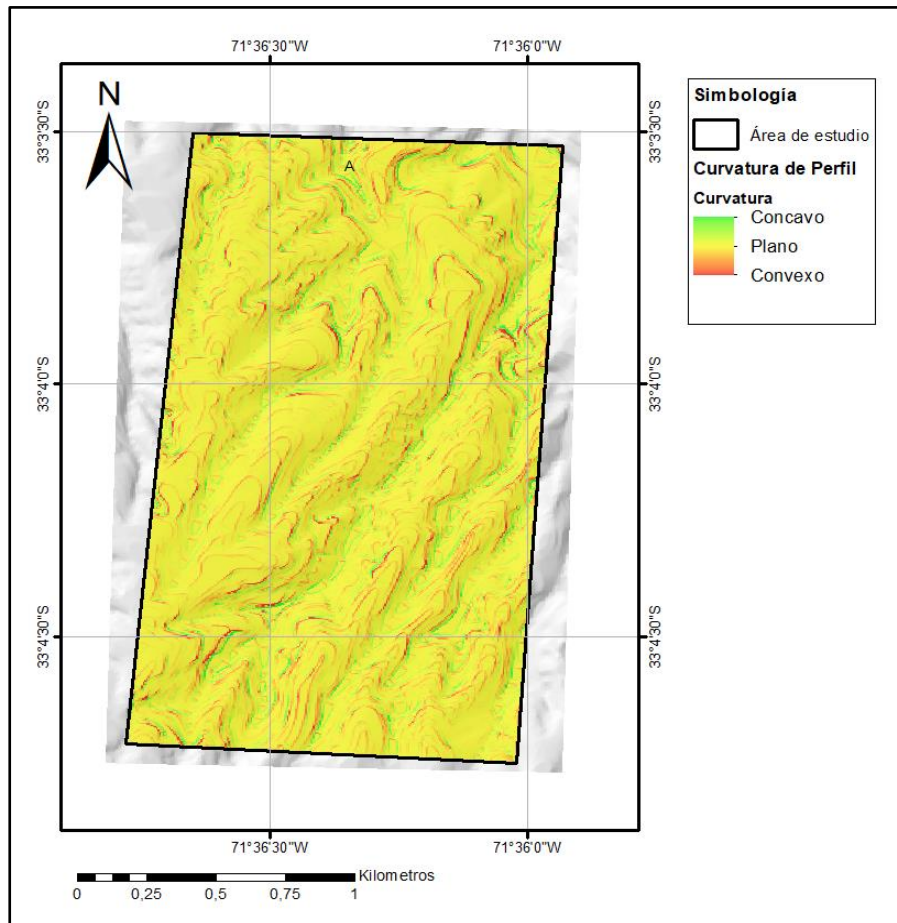


Figura 15. A la izquierda mapa de curvaturas en perfil de las laderas, escala 1:15.000. A la derecha mapa de curvaturas en planta de las laderas, escala 1:15.000. Elaboración propia.

4.2.5 Unidades de Análisis

Se delimitaron en total 90 unidades de análisis, las cuales se dividieron en base a valores similares de pendiente, altura, orientación de laderas, curvaturas de laderas y características geológicas-geotécnicas (Figura 16). Las zonas con pendientes menores a 10° se dejaron fuera del análisis a caídas de rocas debido a la incapacidad de generar esta remoción en masa, en base a la metodología propuesta por Muñoz (2013).

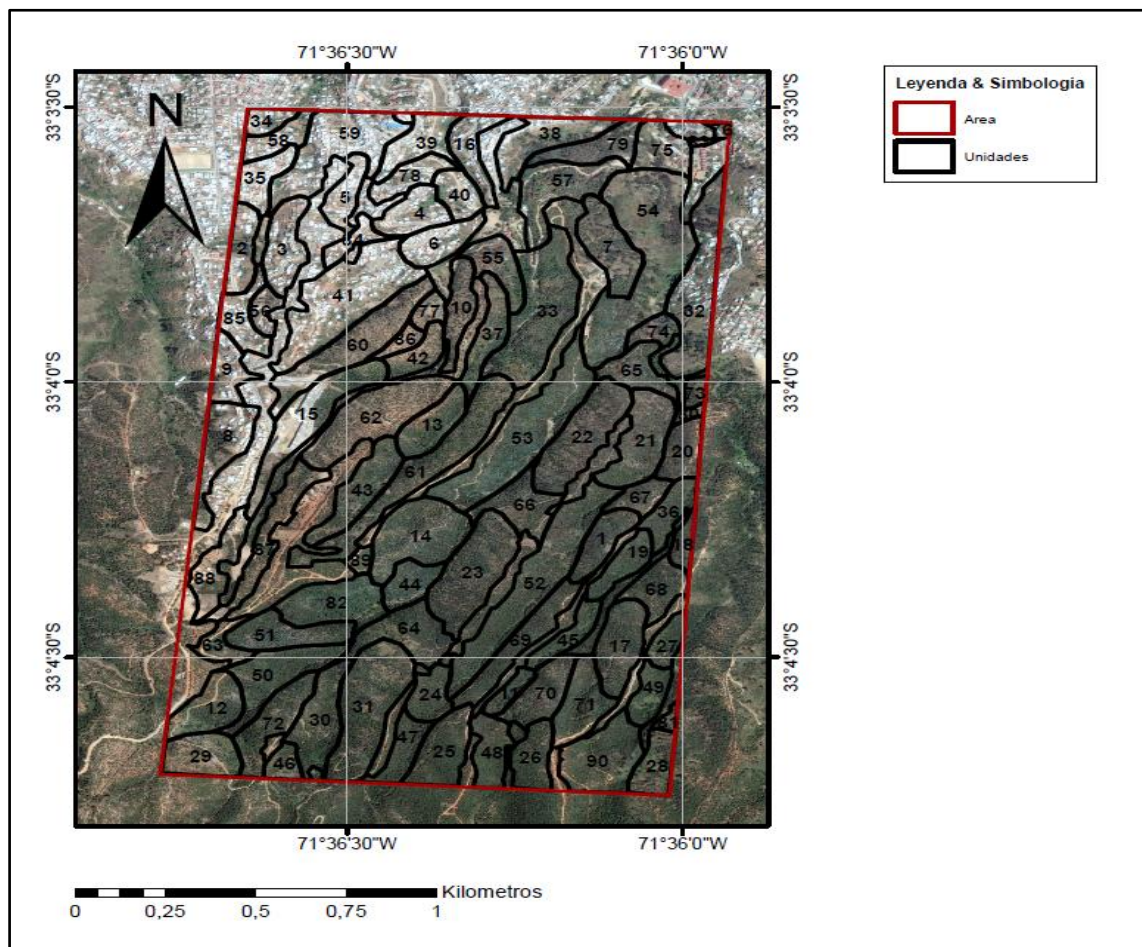


Figura 16. Mapa de Unidades de Análisis, escala 1:15.000. Elaboración propia.

4.3 Vegetación

Se identifica de manera general, en base a un análisis de imagen satelital del Landsat 8, las zonas con presencia de vegetación (Figura 17). El análisis corresponde a un Índice de Vegetación Diferencial Normalizada (NDVI) el cual indica zonas con valores altos y bajos, donde los valores altos indican una mayor densidad de vegetación en el sector y los sectores bajos indican zonas con escasa vegetación. Los sectores con mayor vegetación se asocian a una mayor humedad y por ende aumenta el índice de susceptibilidad.

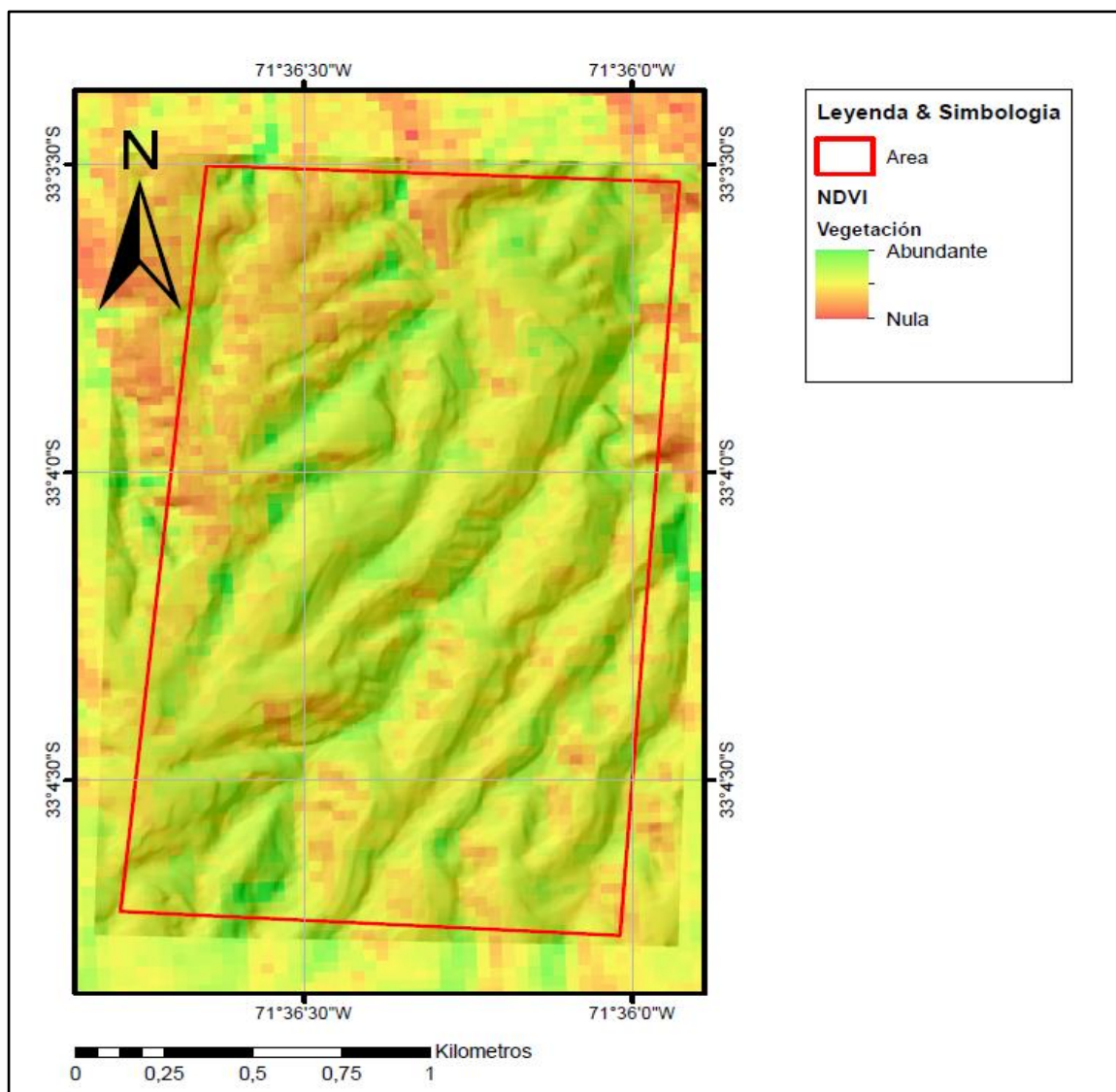


Figura 17. Mapa sobre el Índice de Vegetación Diferencial Normalizado, escala 1:15.000. Elaboración propia.

Dentro del área de estudio existe vegetación herbácea, arbustiva y arbórea. La vegetación arbórea puede generar problemas dependiendo del crecimiento de las raíces en sectores fracturados del macizo rocoso (Fotografía 2). Por otro lado, la vegetación herbácea y arbustiva cumplen un rol en la estabilidad de taludes (Gonzales de Vallejo, et al., 2002). Dentro de las especies arbóreas que se encuentran en el área de estudio están *Eucalyptus globulus* (Eucalipto), *Pinus radiata* (Pino) y *Acacia melanoxylon* (Aromo), dichas especies son introducidas en este sector, es decir no pertenecen al ecosistema natural del área. La presencia de dicha vegetación favorece a la ocurrencia de caídas de rocas, por ende, aumenta el índice de susceptibilidad.



Fotografía 2. Fotografías de *Eucalyptus globulus* afectando al macizo rocoso mediante la interacción de sus raíces y las discontinuidades presentes.

4.4 Geología-Geotecnia Local

La información geológica se obtiene a través de las visitas a terreno y se complementa con los trabajos de Gana et al. (1996) y Álvarez (1964) para poder generar un mapa geológico-geotécnico a la escala 1:15.000 (Figura 18).

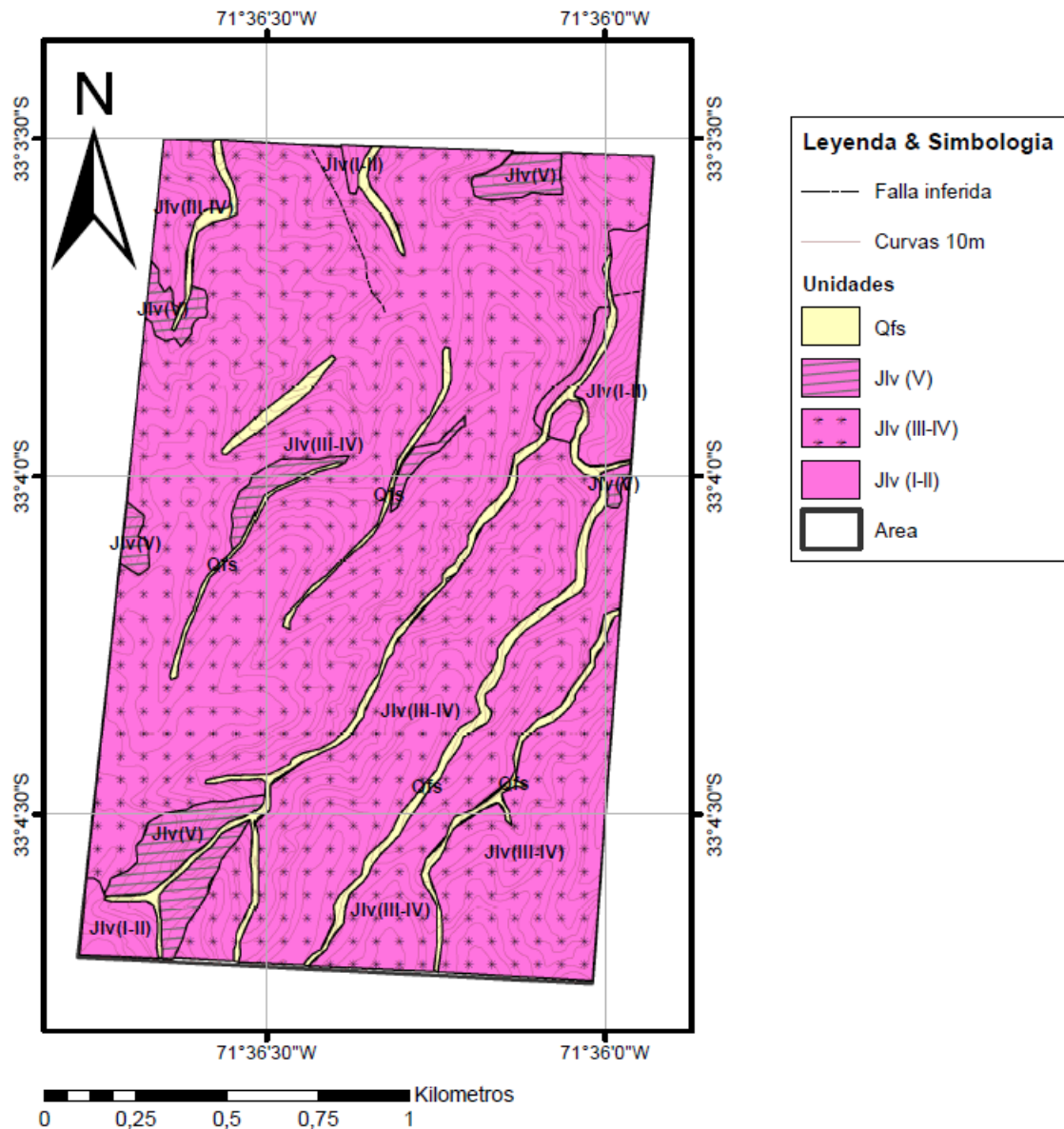
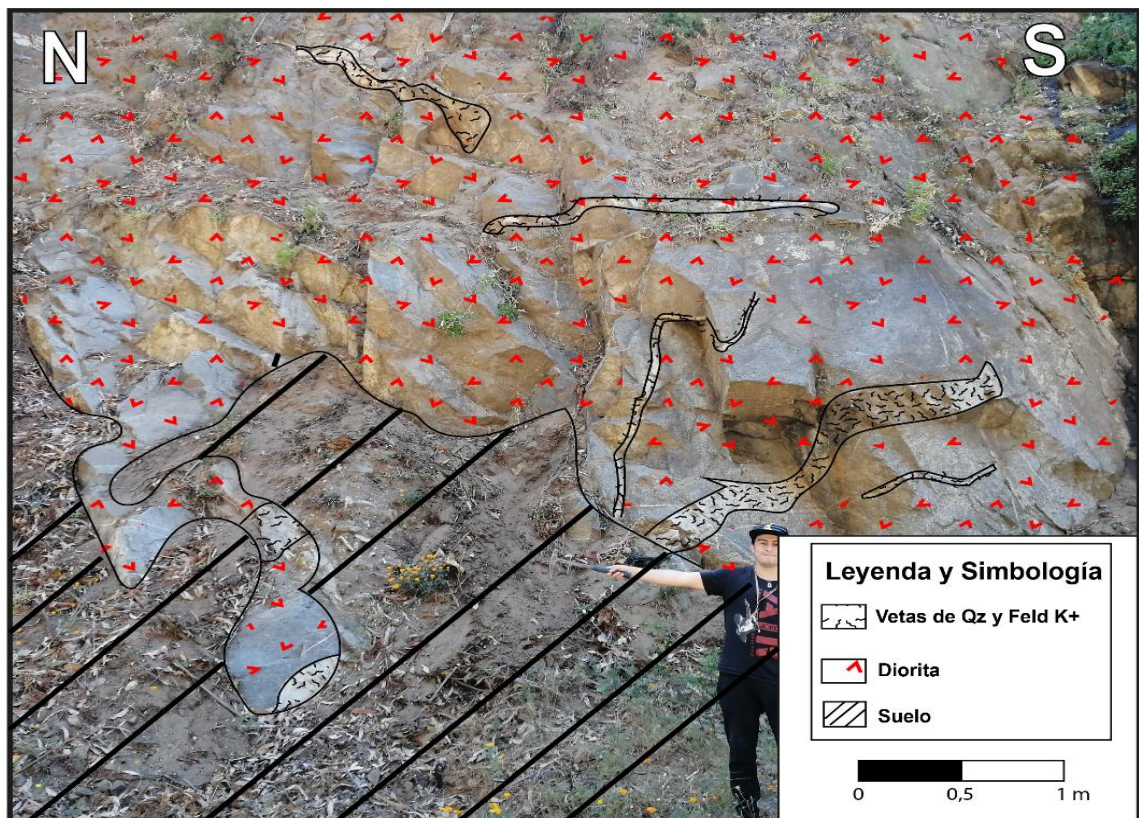


Figura 18. Mapa geológico detallado del área de estudio. Elaboración propia a partir de Gana et al. (1996).

4.3.1 Unidad Jlv

Se identifica un plutón que abarca gran parte del área de estudio, correspondiente a la unidad Jlv propuesta por Gana et al. (1996). La unidad corresponde a dioritas-monzodioritas de grano medio levemente foliadas (muestra VAL-4) y ortoanfibolitas de textura nemato-granoblástica (muestras VAL-1 y VAL-2). Se encuentran asociadas a un metamorfismo dinámico y presencia de foliación magmáticas en algunos sectores (Gana et al., 1996).

Estas rocas se encuentran intruídas por vetas de hasta 50 cm de ancho y vetillas de entre 0,3-2 cm de ancho, compuestas principalmente por cuarzo y feldespato potásico (Fotografía 3).



Fotografía 3. Vetas de cuarzo y feldespato potásico cortando al macizo rocoso Jlv (I-II). Coordenadas: 33°03'42.5" S 71°35'58"W.

4.3.2 Unidad Fluvial (Qfs)

Corresponde a depósitos fluviales y coluviales compuestos por gravas, arenas y limos ubicados en zonas de baja pendiente a la falda de las laderas que conectan con las redes de drenaje del sector. Se identifican depósitos fluviales consolidados matriz soportado con clastos subredondeados-subesféricos en contacto con depósitos gravitacionales con clastos angulosos-subangulosos (Fotografía 4).



Fotografía 4. Unidad fluvial-aluvial con presencia de laminación paralela. Coordenadas: 33°03'50''S
71°36'03'' W.

4.3.3 Geotecnia

Se realizó un cálculo cuantitativo de la resistencia a la compresión uniaxial sobre las diversas muestras extraídas en los afloramientos identificados en terreno (Figura 20), con el fin de poder utilizar dichos resultados en la clasificación de calidad Rock Mass Rating (RMR).

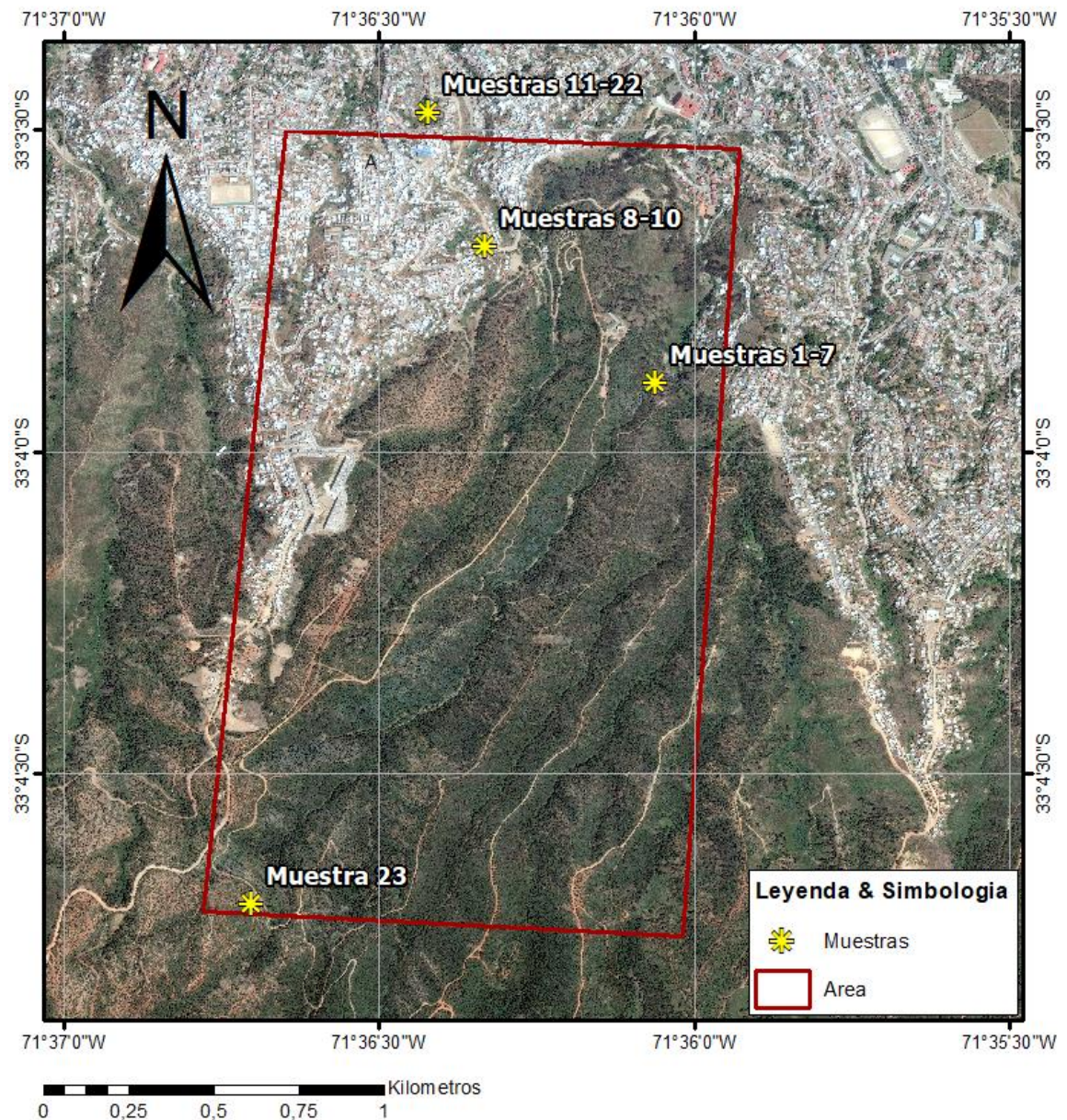


Figura 20. Mapa de ubicación muestras extraídas para ensayos de carga puntual. Escala 1:10.000. Elaboración propia.

El cálculo se realizó mediante un ensayo de carga puntual (Anexo D), donde se obtienen diversas resistencias de las rocas ante un esfuerzo uniaxial (Tabla 7). Sin embargo, al momento de realizar el ensayo, algunas muestras no resultaron ser efectivas debido a que algunas se fracturaban por medio de discontinuidades o se fracturaban en un tiempo menor al estándar (Anexo E).

*Tabla 7. Tabla de valores de resistencia a la compresión uniaxial mediante un ensayo de carga puntual.
W: Ancho (mm); D: Diámetro (mm); P: Fuerza (N); Is: Índice de carga puntual (MPa); Is (50): Índice corregido (MPa); UCS: Fuerza de compresión uniaxial.*

Muestra	Grupo	W	D	De ²	De	P	Is	Is (50)	UCS (MPa)
1	1	32,5	26	1076,43	32,81	300	0,28	0,21	4,78
2	1	58	20	1477,71	38,44	1040	0,70	0,47	10,72
3	1	55	50	3503,18	59,19	8030	2,29	2,29	52,72
4	1	51,5	50	3280,25	57,27	4390	1,34	1,34	30,78
5	1	58	20	1477,71	38,44	10300	6,97	4,62	106,15
6	1	17,5	29	646,50	25,43	2700	4,18	3,27	75,17
7	1	20	28	713,38	26,71	3800	5,33	4,10	94,38
8	3	57,5	38,5	2820,06	53,10	500	0,18	0,16	3,63
9	3	33,5	35,5	1514,97	38,92	350	0,23	0,20	4,55
10	3	55	44	3082,80	55,52	520	0,17	0,16	3,66
11	1	60	26	1987,26	44,58	1500	0,75	0,56	12,93
12	1	60	55,5	4242,04	65,13	20200	4,76	4,99	114,79
13	1	35	26	1159,24	34,05	10300	8,89	6,62	152,26
14	1	65	23	1904,46	43,64	1600	0,84	0,59	13,62
15	1	27,5	28,5	998,41	31,60	5000	5,01	3,89	89,44
16	1	40	27,5	1401,27	37,43	4570	3,26	2,49	57,32
17	1	40	23	1171,97	34,23	7460	6,37	4,49	103,23
18	1	55	28	1961,78	44,29	4800	2,45	1,88	43,35
19	1	57,5	38	2783,44	52,76	13400	4,81	4,25	97,86
20	1	40	20,7	1054,78	32,48	6600	6,26	4,21	96,77
21	1	56,5	51,5	3706,69	60,88	17800	4,80	4,87	111,93
22	1	41	35	1828,03	42,76	7300	3,99	3,40	78,23
23	1	66,5	43	3642,7	60,4	20400	5,6	5,233	120,4

Estos resultados se correlacionan con la clasificación Rock Mass Rating (RMR) y se clasifican 3 grupos de calidad de roca del macizo rocoso (Jlv) (Figura 18) correspondiendo a:

Grupo 1: Corresponde a un macizo rocoso de clase I-II, es decir de calidad muy buena – buena con una valoración de RMR entre 61-100 (Anexo F). Se ubican principalmente en el sector NE del área de estudio y en menor cantidad en el sector SW.

Grupo 2: Corresponde a un macizo rocoso de clase III-IV, es decir de calidad media – mala con una valoración de RMR entre 21-60 (Anexo F). Abarcan la mayor parte del área de estudio.

Grupo 3: Corresponde a un macizo rocoso de clase V, es decir de calidad muy mala con una valoración de RMR entre 0-20. Se encuentran en los sectores con una mayor meteorización generando suelos.

4.5 Estructuras

4.5.1 Estructuras Generales

La ciudad de Valparaíso presenta lineamientos asociados a fallas mayores ubicadas paralelas a la avenida Argentina. Estas fueron identificadas por Gana (1996) y Álvarez (1964), las cuales poseen una orientación preferencial NW (Figura 21). Sin embargo, se encuentran a más de 100 metros del área de estudio.

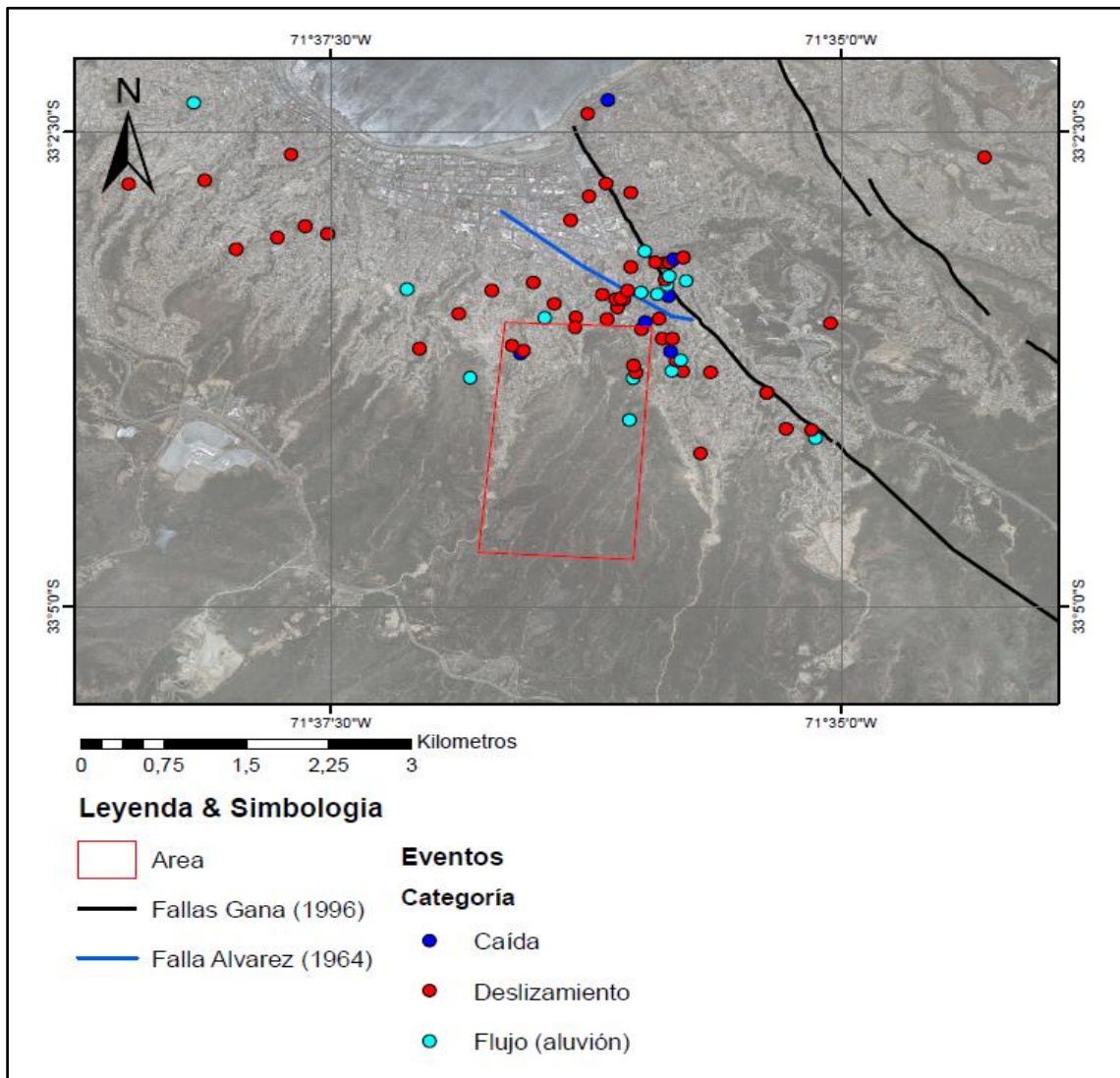
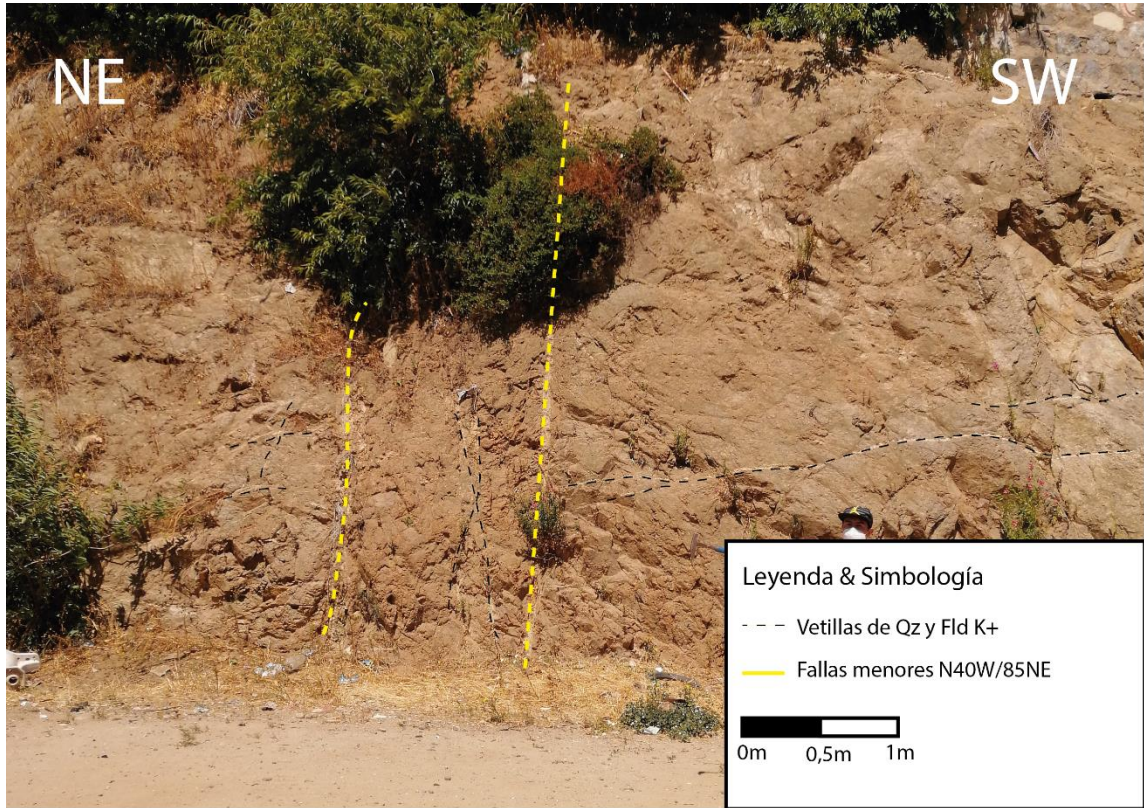


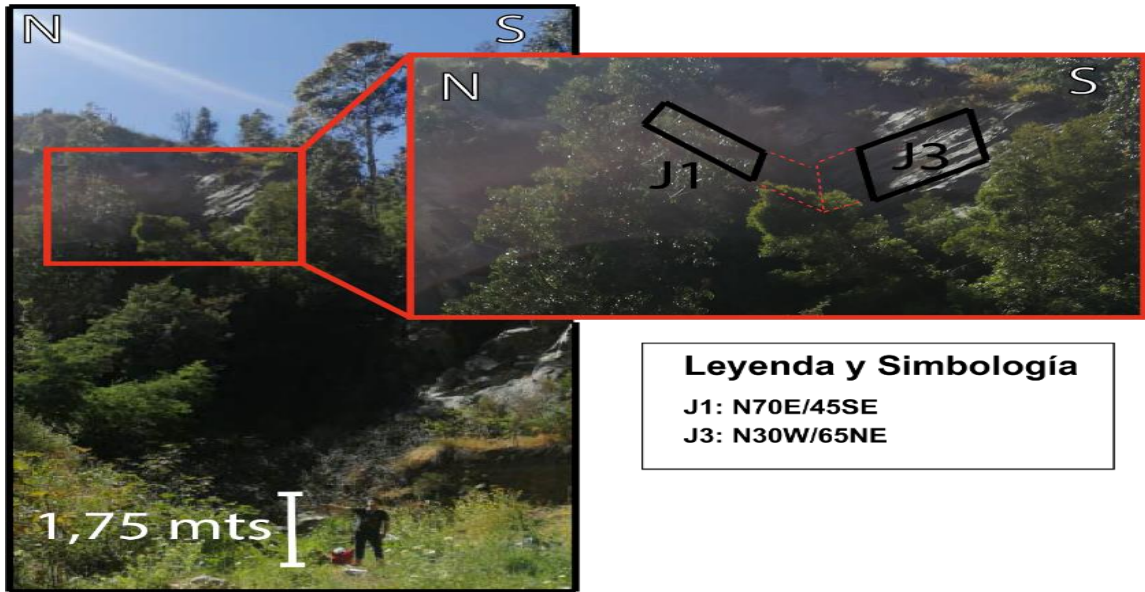
Figura 21. Mapa de estructuras generales reconocidos por Álvarez (1964) y Gana (1996). En rojo zona de estudio y en circunferencias la distribución de las remociones en masa. Escala 1:50.000.

En el sector de estudio se identifican fallas menores que afectan localmente al macizo rocoso (Fotografía 5), sin embargo, la metodología utilizada en el presente trabajo solo contempla fallas mayores activas o zonas de fallas para la evaluación de susceptibilidad de caídas de rocas.



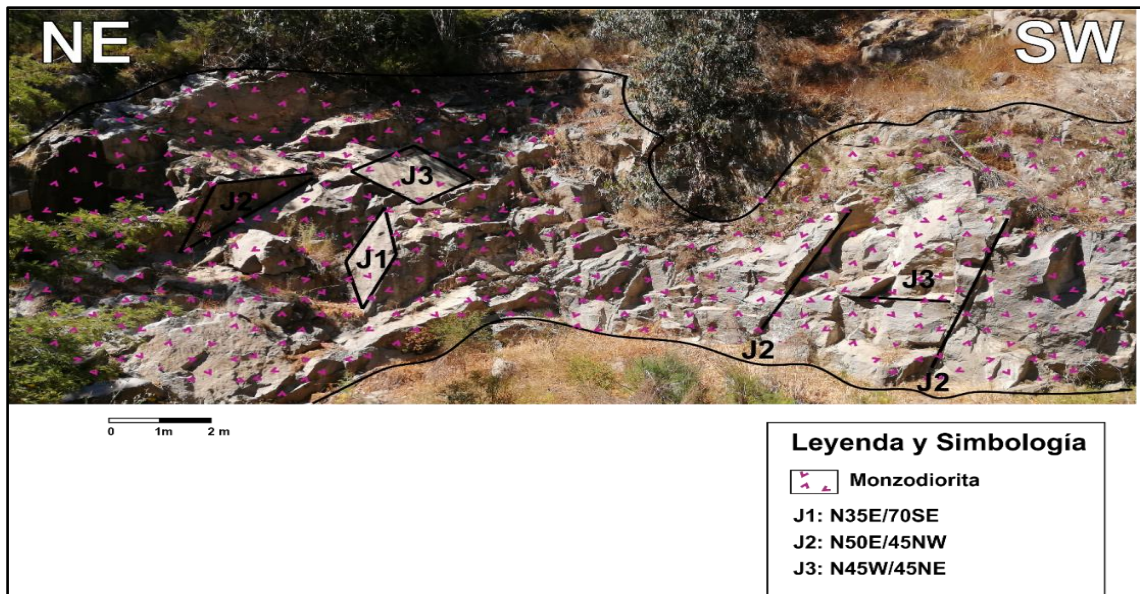
Fotografía 5. Fallas menores presentes en la unidad Jlv (III-IV). Coordenadas: 33°03'33''S 71°36'26'' W.

Por otro lado, en el sector de La Cantera se identifican dos planos de discontinuidades aflorando en superficie las cuales se interceptan formando una rotura en cuña con orientaciones de N70E/45SE y N30W/65NE (Fotografía 6) afectando al macizo rocoso.



Fotografía 6. Rotura en forma de cuña identificada en la unidad Jlv (I-II). Coordenadas: 33°03'55"S 71°36'00" W.

El macizo rocoso se encuentra afectado principalmente por diversas discontinuidades tipo diaclasas (Fotografía 7) las cuales se identifican principalmente en los afloramientos de los sectores NE y SW del área de estudio.



Fotografía 7. Tres familias de diaclasas identificadas en el macizo rocoso Jlv (I-II). Coordenadas: 33°03'52"S 71°36'03"W.

En total se plotearon 17 familias de diaclasas (Tabla 8) de diferentes afloramientos en un diagrama de roseta (Figura 22), donde se puede apreciar una preferencia en las familias con orientación NE y en menor medida con orientación NW.

Tabla 8. Número de familias identificadas con su respectiva notación en formato Dip/Dip dirección.

Familias de diaclasas	Dip	DipDir	Familias de diaclasas	Dip	DipDir
1	70	125	10	35	20
2	45	320	11	52	88
3	75	10	12	85	50
4	55	215	13	65	120
5	70	100	14	72	125
6	80	350	15	50	315
7	30	220	16	40	310
8	65	150	17	60	10
9	63	335			

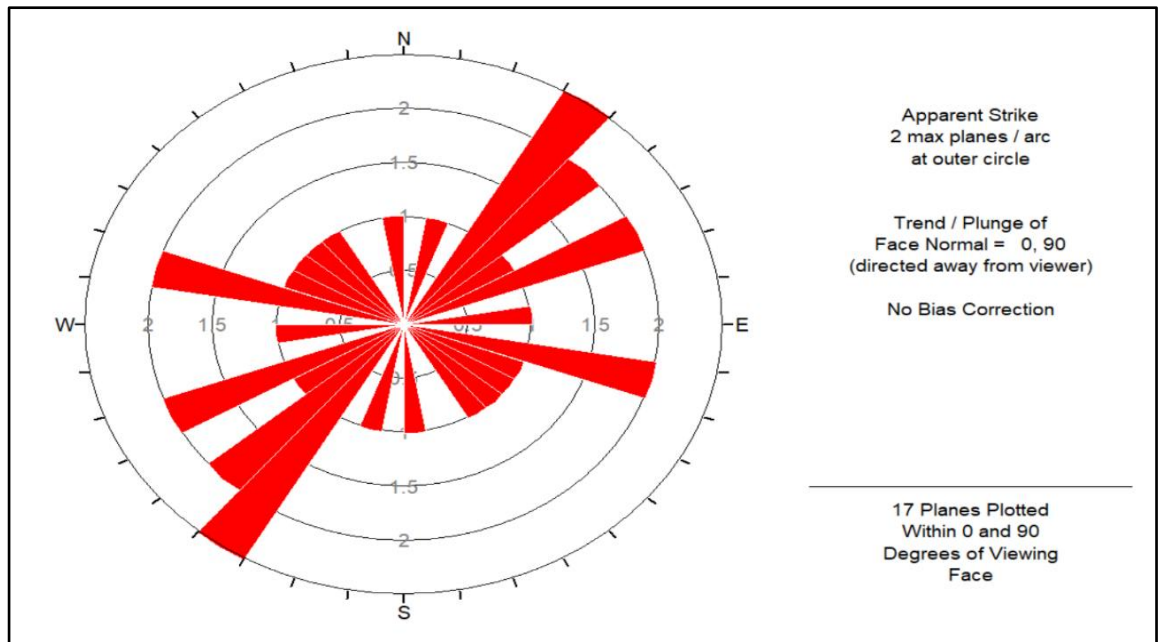


Figura 22 Diagrama de roseta con las 17 familias identificadas en terreno. Elaboración mediante Dips 5.0 Rock science.

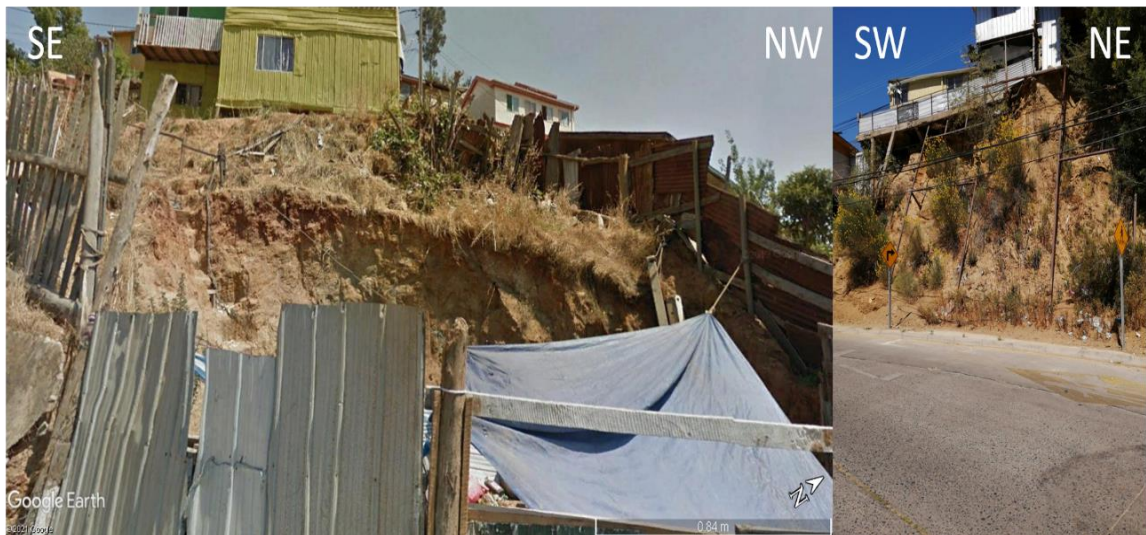
4.6 Actividad Antrópica

Se identifican diversas medidas de mitigación a lo largo de la zona de estudio, estas corresponden principalmente a mallas, muros de contención, shotcrete y pernos. Las medidas están orientadas a ayudar a controlar la estabilidad de los taludes, sin embargo, gran cantidad de estas no se encuentran asociadas a un estudio o análisis geotécnico del sector, es decir se realizan de manera independiente. Debido a lo anterior es común encontrar sectores fortificados con shotcrete a lo largo del sector NW del área de estudio (Fotografía 8). Por otro lado, existen medidas de mitigación basadas en estudios geotécnicos y análisis de estabilidad en los taludes, tal es el caso de la fortificación realizada en la avenida Alemania (Fotografía 8) donde se realizó un muro de contención en escalón con orientación NE. Además, existen casos donde se opta por medidas naturales mediante la plantación de *Carpobrotus chilensis* (docas) para estabilizar el talud mediante sus raíces (Fotografía 8).



Fotografía 8. Fotográficas de diversas medidas de mitigación. Superior izquierda: Shotcrete realizado de manera independiente. Inferior Izquierda: Estabilización natural con docas. Derecha: Muro de contención realizado por estudios geotécnicos-geomecánicos de manera particular.

En base a la clasificación propuesta por Muñoz (2013), se encuentran obras de estabilización mayor y soporte robusto (Fotografía 9). Por el contrario, existen medidas antrópicas que desestabilizan a los taludes, como por ejemplo los cortes artificiales de laderas (Fotografía 9), los que distribuyen de diferente manera los esfuerzos efectivos del macizo rocoso. Además, existen medidas de estabilización de infraestructuras (Fotografía 9) las cuales no aportan en la estabilización del macizo rocoso, dado que las infraestructuras generan un peso en los taludes. En estos sectores no se identifican medidas de mitigación correspondientes a las necesidades de los taludes, tales como shotcrete, mallas o pernos para su debida estabilización.



Fotografía 9. Izquierda: corte artificial de talud. Derecha: Corte artificial de talud sumado a estabilización de infraestructura mediante un set de fierros.

4.7 Susceptibilidad de caídas de rocas

En base a los factores analizados se realiza un mapa de susceptibilidad de caídas de rocas en el área de estudio mediante el uso de la metodología propuesta por Muñoz (2013). Acorde a esto se utilizan las ponderaciones propuestas por Muñoz (2013), sin realizar modificaciones debido a la similitud del área de estudio con su propuesta.

Se analizaron 90 unidades, en cada una de las cuales se calculó el índice de susceptibilidad (IS) en base a las ponderaciones y factores condicionantes propuestos por Muñoz (2013) (anexo G). Se debe considerar que los sectores con material poco consolidado ponderan un F6 (factor correspondiente al tipo de material) con valor 0, en este caso corresponde a las zonas de alta meteorización debido a la incapacidad de generar caídas de rocas. Los valores de IS obtenidos para cada unidad de análisis se clasifican en: 0-25 muy poco susceptible; 25-50 poco susceptible; 50-70 susceptibles; 70-77 muy susceptibles (Figura 23). En el mapa de susceptibilidad se identifica que las unidades 54 y 74, ambas ubicadas en la calle La Cantera presentan una alta susceptibilidad de caídas de rocas (Figura 23). Las rocas de esta unidad de análisis corresponden a la unidad Jlv con un valor de calidad RMR buena a muy buena. Por otro lado, 14 unidades son susceptibles (IS=50-70) y se encuentran asociadas a la roca Jlv con un valor de calidad RMR regular a mala, junto a una notoria desestabilización antrópica. Los factores a los que se le atribuyen el aumento de susceptibilidad corresponden a la intervención antrópica, geomorfología y vegetación. La Intervención antrópica posee lugares con desestabilización o intervención regulares hasta desestabilizaciones evidentes. En la geomorfología se encuentran zonas con pendientes abruptas ($>60^\circ$), alturas de laderas elevadas (>50 metros) y geometrías de laderas desfavorables para la estabilización. Por último, la vegetación que favorece a la ocurrencia de caídas de rocas y la presencia de humedad aumentan el IS de diversos sectores.

Mapa de Susceptibilidad a caídas de rocas

Escala 1:10.000

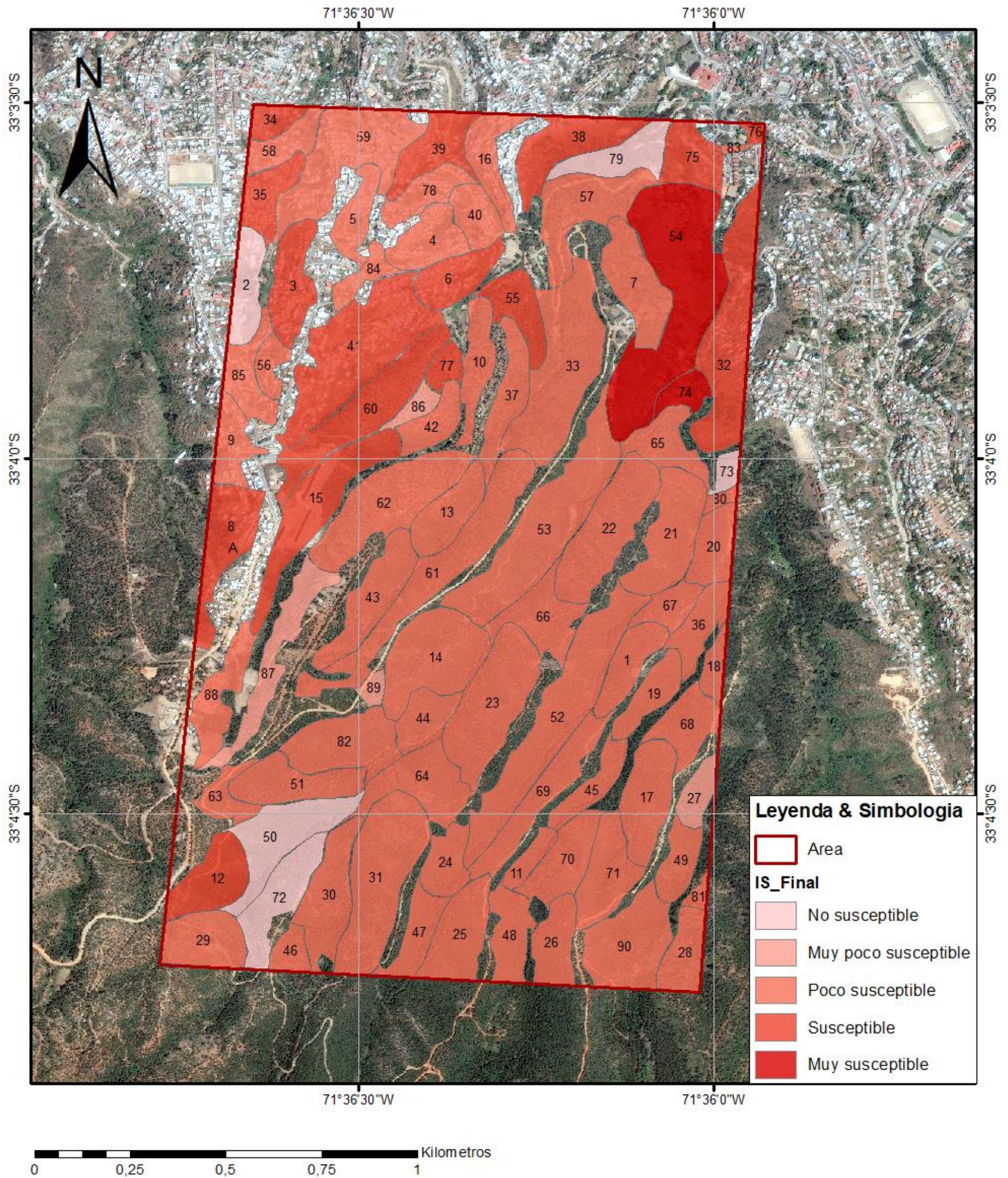


Figura 23, Mapa de susceptibilidad ante caídas de rocas en el área de estudio. Elaboración propia

Capítulo 5. DISCUSIONES

5.1 Metodología

La metodología utilizada en el presente trabajo correspondiente a la propuesta de Muñoz (2013) posee la finalidad de obtener un mayor detalle de la susceptibilidad en un sector urbano. Sin embargo, para la obtención de dicha susceptibilidad se debe trabajar a una escala de detalle de 1:5.000 – 1:10.000 y por ende cada factor condicionante debe estar acorde a dicha escala. Para obtener los datos tales como geología-geotecnia, antecedentes de remoción en masa e intervención antrópica, resulta complicado debido a la dificultad de acceder a los sectores, específicamente la zona SE del presente estudio donde además presenta vegetación abundante, debido a esto se extrapolaron los datos obtenidos en sectores accesibles con características similares observadas mediante análisis satelital.

La metodología propuesta por Muñoz (2013) es acorde al detalle de la escala de trabajo y se utilizan las mismas ponderaciones propuesta por dicha metodología dada la similitud de áreas analizadas, por ende, los valores de índice de susceptibilidad son válidos según dicha metodología.

5.2 Inventario caídas de rocas

Los antecedentes recopilados sobre caída de rocas en el área de estudio corresponden a observaciones de terreno sumado a bibliografía. Sin embargo, existen sectores fuera del límite urbano que no poseen un registro de antecedentes sobre remociones en masa. Esto es debido a la inaccesibilidad de dichos sectores, sumado a que no afectan de manera directa a las infraestructuras o áreas urbanas del área de estudio. Por lo tanto, se debe actualizar las ponderaciones sobre inventario a medida que se obtengan registros válidos sobre caídas de rocas con la finalidad de generar un mayor detalle en la susceptibilidad del sector ante caídas de rocas.

5.3 Vegetación

La vegetación identificada en el área de estudio corresponde a especies introducidas a mediados de 1970 con la finalidad de detener la erosión del suelo, es decir, corresponde a una medida de mitigación propuesta en la época. Sin embargo, estas especies no son flora nativa del sector y hoy presentan una problemática en la estabilidad y calidad de los suelos debido a la necesidad hídrica que poseen, junto a los cambios en el pH del suelo provocando su acidez, eliminando los componentes naturales que lo componen. Sumado a esto, las especies presentan una gran altitud y sus raíces crecen favorablemente ante discontinuidades presentes en la roca provocando una desestabilización de los taludes (Fotografía 3).

5.4 Geomorfología y Geología-geotecnia

Dentro del área de estudio Gana et. al. (1996) reconoce dos unidades intrusivas. La Unidad Sauce (Js) y la Unidad Laguna Verde (Jlv). Sin embargo, en el presente trabajo se reconoce únicamente la unidad Jlv a lo largo del área de estudio. No se identificó un contacto entre unidades, ni diferencias litológicas notables para evidenciar la presencia de la Unidad Sauce (Js).

La calidad del macizo rocoso varía dependiendo del grado de meteorización que presente la unidad Jlv. En base al estudio realizado en laboratorio se puede inferir una variación en la competencia de rocas frescas, esto se puede relacionar al grado metamórfico y a la facies metamórfica asociada a la unidad geológica (Figura 19). El metamorfismo identificado genera foliación espaciada orientando minerales máficos como anfíboles y biotitas, de los cuales se generan planos de debilidad permitiendo zonas más susceptibles a fracturarse. Por otra parte, existen afloramientos (Muestra VAL-3) que presentan una silicificación provocando una mayor resistencia de la roca ante diversos esfuerzos.

5.5 Geología estructural

Las discontinuidades identificadas en terreno se relacionan a un régimen tectónico demarcado por presencia de fallas mayores con orientación NW-SE (Gana, et al., 1996). Sin embargo, existe un control estructural demarcado por las familias de diaclasas identificadas correspondiente a una tendencia NE-SW, estas se relacionan como evidencia de estructuras secundarias asociadas a la falla mayor con orientación NW-SE, las cuales se disponen de manera antitética o sintética. Si bien, el presente trabajo no considera las fallas menores involucradas en el macizo rocoso debido a la escala de trabajo, se recomienda definir y actualizar posibles estructuras que controlan a las discontinuidades menores del macizo rocoso, cuya finalidad es obtener un mayor detalle en la características geológicas-geotécnicas del sector, para incluir este aspecto en el cálculo del índice de susceptibilidad.

5.6 Actividad antrópica

Las diferentes medidas de mitigación se identifican en sectores específicos de cada unidad de análisis, por ende, no presentan un abarcamiento total de está, provocando que no sea posible mapear a la escala pertinente del trabajo. Debido a lo anterior, se realizó un promedio entre intervenciones antrópicas que favorecen e intervenciones que desfavorecen la estabilidad de los taludes presentes en las unidades. Por otra parte, existen medidas de mitigación realizadas sin estudios pertinentes, provocando en algunos casos una estabilización incompleta de algunos taludes, estas corresponden principalmente a mallas y shotcrete sobre taludes erosionados con alta pendiente.

5.7 Mapa de susceptibilidad

El mapa de susceptibilidad de caídas de rocas en el área de estudio corresponde a un análisis definido en el momento en que se realizó el presente trabajo, es decir sin considerar futuras intervenciones antrópicas, nuevos antecedentes de remociones en masa, cambios en la vegetación (por ejemplo, debido los incendios forestales), humedad del sector y/o cambios en la calidad geológica-

geotécnica del macizo rocoso. Por ende, se deben realizar actualizaciones cada cierto periodo de tiempo con el fin de contar con un análisis vigente de la susceptibilidad y que sea aplicable a la planificación territorial.

Por otro lado, el presente mapa no toma en cuenta la susceptibilidad asociada a otras remociones en masa, se remite netamente a caídas de roca. Por lo tanto, no implica que sectores con alto valor de susceptibilidad de caída de rocas sean sectores con igual susceptibilidad ante otra remoción en masa, sin embargo, se pueden utilizar las mismas unidades de análisis definidas en el presente trabajo para realizar un estudio sobre otras remociones en masa, tales como deslizamientos.

Capítulo 6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Los factores condicionantes de mayor influencia sobre la susceptibilidad a caída de rocas en la zona de estudio corresponden principalmente a intervención antrópica, geomorfología de los taludes (pendientes, formas y alturas) y ausencia de vegetación. Estos concuerdan con la hipótesis de trabajo propuesta, que corresponde a relacionar el índice de susceptibilidad con los sectores de mayores pendientes y mayor intervención antrópica.

Los valores de resistencia a la compresión uniaxial varían entre los 4 hasta los 150 MPa aproximadamente, dicha variación se relaciona a la alteración de minerales, foliación y presencia de discontinuidades en las diversas muestras.

El sector de La Cantera posee las unidades con mayor índice de susceptibilidad ($IS > 50$), alcanzando un $IS > 70$ principalmente por sus pendientes, altura, vegetación e intervención antrópica. Los sectores que continúan con un $IS > 50$ corresponden a áreas urbanas con una notoria intervención en los taludes, concentrándose principalmente en lugares de asentamientos informales (coloquialmente denominado “tomas”). Además, la gran mayoría de los sectores urbanos no contemplados para la construcción presentan medidas de mitigación independientes sin estudios previos de estabilidad y soporte de taludes. Todos los sectores que poseen un catastro de remociones en masa poseen un $IS > 50$.

La mayoría de los eventos de caídas de rocas se concentran en el sector de la Quebrada Los Lavados, según el mapa inventario generado a partir de datos obtenidos en terreno.

El sector de la Quebrada los Lavados cumple con las condiciones para ser una zona de extensión urbana, teniendo en consideración los diferentes estudios de estabilidad asociados a los lugares de mayor susceptibilidad.

Se recomienda realizar un mapeo estructural detallado, con el fin de delimitar la traza y actividad de las fallas mayores involucradas en la ciudad de Valparaíso. Sumado a lo anterior se recomienda una constante actualización de los mapas de susceptibilidad de caídas de rocas, con la finalidad de prevenir o reducir los

daños causados por estos fenómenos. Lo anterior es debido a que la susceptibilidad varía de manera importante con la intervención antrópica. En la misma índole, se recomienda generar un complemento con el presente trabajo, realizando un análisis de deslizamientos, volcamientos, flujos, o de diversas remociones en masa que pueden afectar a la zona de estudio utilizando los datos obtenidos.

Finalmente se recomienda realizar estudios de estabilidad de taludes en los sectores de susceptibilidad de caídas de rocas. Lo anterior cumple con el objetivo de generar medidas de mitigación adecuadas para prevenir y disminuir los riesgos ante un evento de caída de rocas.

REFERENCIAS

Álvarez, L. (1964). Geología del área Valparaíso – Curacaví. Instituto de Investigaciones Geológicas (IIG) Chile, Boletín N.º 16, p. 28 – 60.

Bieniawski, Z. T. (1989). Engineering Rock Mass Clasifications. John Wiley and sons, Inc.

Börgel, R. (1983). Geomorfología (Vol. Tomo II). Instituto geográfico militar de Chile.

Brown ET (1981). Rock characterization, testing and monitoring: ISRM suggested methods. Pergamon, New York
Brown ET (1981) Rock characterization, testing and monitoring: ISRM suggested methods. Pergamon, New York.

Brüggen (1944). Contribución a la geología sísmica de Chile. Santiago de Chile. Imprenta Universitaria.

Camacho, S. & Garzón A. (2014). Análisis en la variación de esfuerzos efectivos para distintas geometrías de taludes por efectos de filtración de agua. Pontificia Universidad Javeriana. Tesis Pregrado.

Castro, C., y Brignardello, L. (1997). Geomorfología aplicada a la ordenación territorial de la franja costera entre Concón y Quintay (32º55'S y 33º15'S). Revista de Geografía Norte Grande. p. 113-125.

Cruden, D.M (1991). A simple definition of a landslide. Bulletin of the international association of engineering geology N°43.

Cruden, D.M, and Varnes, D.J. (1996). Landslide types and processes, in Turner, A. Keith, and Schuster, Robert L. eds. Landslides—Investigation and mitigation: Transportation Research Board, Special report no. 247, National Research Council, National Academy Press, Washington, D.C., p. 36–75.

Dana, J.D. (1996). Manual de Mineralogía Vol. 1. Editorial Reverte, pp 392.

Deere et al. (1967). D.U. Deere, A.J. Hendron, F.D. Patton, E.J. Cording Design of surface and near surface construction in rock.

FAO, (2013). Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Captación y almacenamiento de agua de lluvia, opciones técnicas para la agricultura familiar en América Latina y el Caribe.

Farmer, I. W. (1968). Engineering properties of rocks. Spon Ltd. London.

Ferrer, M. y Ayala, F. (1996). Landslides climatic susceptibility map of Spain. En: Landslides. Proc. 8.a Int. Conf. and Field trip on Landslides. Chacón, Irigaray y Fernández Eds. pp. 323-333.

Fuenzalida, F. (2015). Susceptibilidad de Remociones en Masa en Cuenca Las Zorras, afectada por catástrofes incendiarias, comuna de Valparaíso, abril 2014. Tesis de pregrado. Universidad de Chile, Santiago de Chile.

Gana, P., Wall, R., & Gutiérrez, A. (1996). Mapa geológico del área de Valparaíso - Curacaví. Santiago: Sernageomin.

Garzón J. (2018). Análisis cinemático de la estabilidad de taludes en roca por rotura cuneiforme. Universidad Politécnica de Valencia.

González de Vallejo, L.; Ferrer, M.; Ortuño, L.; Oteo, C. (2002). Ingeniería Geológica. Editorial Pearson. 744pp.

Inzunza Juan (2004). "Meteorología Descriptiva". Climas de Chile. Universidad de Concepción.

ISRM (1981). Suggested methods for rock characterization, testing and monitoring. ISRM Suggested methods. Ed. E.T. Brown. Pergamon Press.

IUGS. (1997). Quantitative risk assessment for slopes and landslides — the state of the art. In: Cruden, D., Fell, R. (Eds.), Landslide Risk Assessment. Balkema, Rotterdam, pp. 3–12.

Lara, M. (2007). Metodología para la evaluación y zonificación de peligro de remociones en masa con aplicación en Quebrada San Ramón, Santiago oriente, Región Metropolitana. Santiago: Universidad de Chile.

Lépez, L., Wall, R., & Prat, M. (2005). Peligro de remociones en masas e inundaciones de las ciudades de Valparaíso, Viña del Mar y Concón, Región de Valparaíso. Santiago de Chile: Servicio Nacional de Ingeniería y minería.

Mateos, R.M. y Azañón, J.M. (2005). Los movimientos de ladera en la Sierra de Tramuntana de la Isla de Mallorca: tipos, características y factores condicionantes. Revista de la Sociedad Geológica de España, 18 (1-2): 89-99.

Ministerio de Obras Publicas (2019). Emergencias Históricas V Región desde el año 2015-2019.

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. Santiago de Chile.

Ogura y Soares-Macedo. (2000). Procesos y Riesgos Geológicos. Instituto de Investigaciones Tecnológicas de São Paulo- IPT.

Osuili A., Moradi B., Shafii I. & Singh K. (2014). Conversión de los resultados de la prueba de carga puntual a fuerza convencional pruebas de resistencia para esquisto, arcilla y rocas calizas. American Rock Mechanics Association 14-7424.

Palmstrom A. (1975). Characterization of degree of jointing and rock mass quality. Internal Report. Ing.A.B. Berdal A/S, Oslo, pp. 1-26.

Ramírez Oyanguren, Pedro y Alejano Monge, Leandro R. (2004). Mecánica de rocas: fundamentos e ingeniería de taludes. Red DESIR, Madrid.

Ramos A., Trujillo M., Prada F. (2015). Análisis descriptivos de procesos de remoción en masa en Bogota. Obras y Proyectos 18, 63-75.

Rivano, S.; Sepúlveda, P., et. al. (1993). Carta Geológica de Chile. Hojas Quillota Portillo V Región Escala 1:250.000. Sernageomin.

Scott, K. M. (2001). Catastrophic Debris Flows Transformed from Landslides in Volcanic Terrains: Mobility. Hazard Assessment and Mitigation Strategies. U.S. Geological Survey Professional Paper 1630.

SERNAGEOMIN (2012). Catastro de Remociones en Masa V Región, Valparaíso.

Subsecretaria de Desarrollo Regional y Administrativo (2012). Gobierno Regional de Valparaíso. <http://www.subdere.gov.cl/divisi%C3%B3n-administrativadechile/gobiernoregionaldevalpara%C3%ADso#:~:text=La%20poblaci%C3%B3n%20regional%20es%20de,1%2C1%25%20anual%20medio>.

Varnes, D.J, (1984). Landslide hazard zonation: a review of principles and practice. UNESCO.

Willis D. Weight. (2001). Manual of Applied Field of Hydrology, pp 608.







Winter, J. (2001). An Introduction to Igneous and Metamorphic Petrology. Department of Geology, Whitman College. Prentice-Hall Inc 796 pp.

ANEXOS

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo A. Caracterización del macizo rocoso en función de los bloques basado en el espaciamiento y las condiciones de las juntas. Adaptada de Hoek (2006)	69
Anexo B. Clasificación geomecánica RMR (modificado de González de Vallejos et al. (2004).....	70
Anexo C. Catastro de remociones en masa tipo caída de rocas identificadas en la ciudad de Valparaíso. Fuente: MOP (2019); SERNAGEOMIN (2012); Terreno propio.....	71
Anexo D. Maquina ensayo de carga puntual 45-D0550. Rango de carga: 0 a 60KN; Pantalla digital: 2x16 caracteres, Exactitud: +/- 1%. Propiedad: Universidad Andrés Bello, sede Viña del Mar.....	72
Anexo E. Rocas ensayadas mediante el método de carga puntual, con sus mediciones y fotografías previas al ensayo y posterior al ensayo.	73
Anexo F. Tablas de RMR con sus respectivos valores acorde a los grupos asociados.....	81
Anexo G. Detalle de puntajes para unidades de análisis definidas. Susceptibilidad ante caída de rocas.	83
Anexo H. Tablas descriptivas de las muestras extraídas en terreno. Muestras Val-1 – 4.	85

Anexo A. Caracterización del macizo rocoso en función de los bloques basado en el espaciamiento y las condiciones de las juntas. Adaptada de Hoek (2006)

INDICE DE ESFUERZO GEOLOGICO PARA ROCAS UNIDAS (HOEK & MARINOS, 2000)		CONDICIONES DE SUPERFICIE				
<p>Desde la litología, estructura y condiciones de superficie de las discontinuidades, se estima el valor promedio del GSI. No intentar ser muy preciso. Un rango de 33 a 37 es mas real que tomar un GSI de 35. Note que la tabla no aplica a fallas controladas estructuralmente. Donde planos estructurales debiles estan presentes en una direccion desfavorable con respecto a la excavacion, estos dominaran el comportamiento del macizo rocoso. Las zonas de falla son propensas a la alteracion como resultado de cambios de humedad que puede reducirse cuando el agua esta presente. Cuando trabajamos en roca regular o mala calidad cambian las condiciones por el cambio de humedad. La presion del agua es tratada por analisis de esfuerzos efectivos.</p>		MUY BUENA	BUENA	REGULAR	POBRE	MUY POBRE
		Superficie muy rugosas, no meteorizadas, frescas	Superficies rugosas, ligeramente meteorizadas, manchadas con hierro	Superficies lisas, moderadamente meteorizadas y alteradas	Superficie con espejos de falla, alto grado de meteorización y rellenos compactos.	Superficie con espejos de falla, alto grado de meteorización y rellenos de arcillas suave.
ESTRUCTURA		DECRECE LA CALIDAD DE LA SUPERFICIE →				
	INTACTA O MASIVA Rocas intactas o masivas in-situ, rocas con discontinuidades amplias y espaciadas	90			N/A	N/A
	FRACTURADA Macizo rocos con bloques enclavados, bloques cubicos formados tres intersecciones de sistemas de dicontinuidades	80	70			
	MUY FRACTURADA Macizo perturbado con bloques entrabados y angulares formados por la interseccion de 4 o mas sistemas		60	50		
	FRACTURADA/PERTURBADA/SORDIDA Macizo plegado formado por bloques angulares productos de la interseccion de varios sistemas de discontinuidades. Persistencia de los planos de estratificacion			40	30	
	DISGREGADO Pobremente enclavado, macizo altamente fracturado con mezcla de fragmentos angulares y redondeados				20	
	LAMINADA/FOLIADA Se carece de bloques debido al debil material en los planos de esquistocidad y cizalla	N/A	N/A			10
		← DECRECE EL ENCLAVAMIENTO DE LOS BLOQUES				

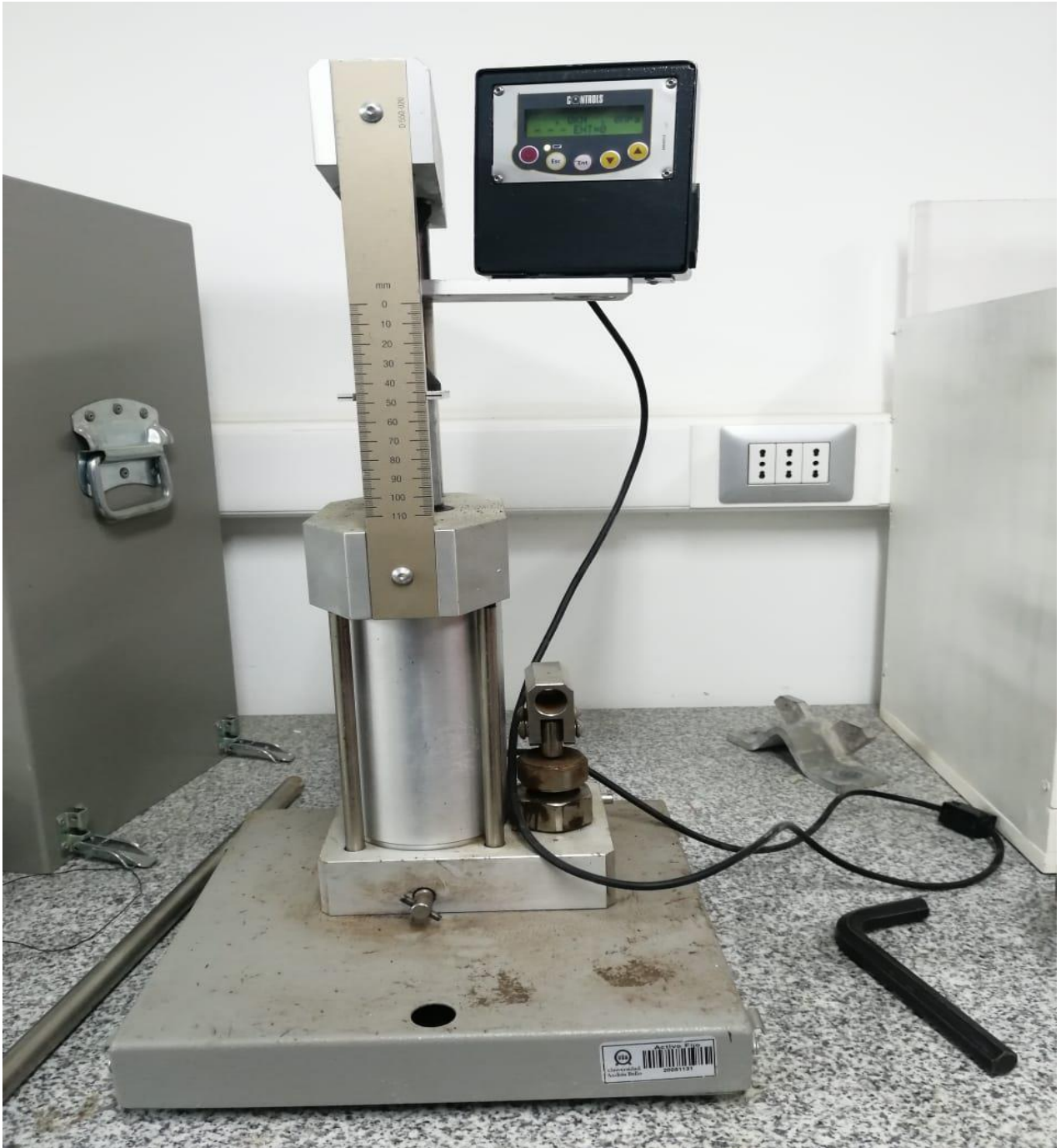
Anexo B. Clasificación geomecánica RMR (modificado de González de Vallejos et al. (2004))

Clasificación según parámetros y sus valores					
Resistencia a compresión uniaxial (MPa)					
	> 250	250-100	100-50	50-25	< 25
Valor	15	12	7	4	2
Índice de calidad RQD (%)					
	100-90	90-75	75-50	50-25	25-0
Valor	20	17	13	8	3
Espaciamiento de discontinuidades					
	> 2 m	2-0,6 m	0,6-0,2 m	0,2-0,06 m	< 0,06 m
Valor	20	15	10	8	5
Abertura de discontinuidades					
	> 5 mm	5-1 mm	1-0,1 mm	< 0,1 mm	0
Valor	0	1	4	5	6
Continuidad de discontinuidades					
	> 20 m	20-10 m	10-3 m	3-1 m	< 1 m
Valor	0	1	2	4	6
Rugosidad de discontinuidades					
	Muy rugosas	Rugosas	Ligeramente rugosas	Lisa	Plana (espejo de falla)
Valor	6	5	3	1	0
Relleno de discontinuidades					
	Blando > 5 mm	Blando < 5 mm	Duro > 5 mm	Duro < 5 mm	Ninguno
Valor	0	2	2	4	6
Alteración de discontinuidades					
	Descompuesta	Muy alterada	Moderadamente alterada	Ligeramente alterada	No alterada
Valor	0	1	3	5	6
Presencia de agua					
	Seco	Ligeramente húmedo	Húmedo	Goteando	Fluyendo
Valor	15	10	7	4	0

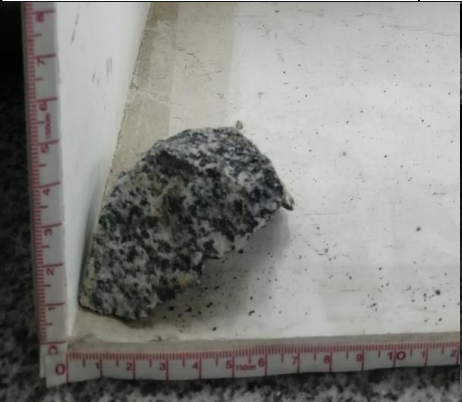

Anexo C. Catastro de remociones en masa tipo caída de rocas identificadas en la ciudad de Valparaíso. Fuente: MOP (2019); SERNAGEOMIN (2012); Terreno propio.

Punto	Este	Norte	Categoría	Proceso Secundario	Factor Desencadenante	Fecha Evento Principal
RVAL-20	256970	6341390	Caída	Deslizamiento	Precipitaciones	27 de agosto de 2002
RVAL-29	289690	6360637	Caída	Deslizamiento	Precipitaciones	12 de junio de 2012
RVAL-24	326949	6361871	Caída		Sismo	28 de marzo de 1965
RVAL-85	256363	6338906	Caída		Sismo	21 de diciembre de 2007
RVAL-126	257506	6338953	Caída		-	14 de mayo de 2005
RVAL-136	257305	6339237	Caída		-	-
RVAL-123	257479	6339496	Caída		-	4 de agosto de 2004
RVAL-44	257508	6339852	Caída		-	21 de junio de 2005
RVAL-84	262560	6341951	Caída		Precipitaciones	14 de julio de 2007
RVAL-59	265002	6342097	Caída		-	26 de agosto de 2008
RVAL-72	258764	6342839	Caída		-	21 de abril de 2004
RVAL-47	264820	6345375	Caída	Deslizamiento	-	27 de julio de 2006
RVAL-57	262030	6346908	Caída		-	19 de agosto de 2008
RVAL-62	262134	6349319	Caída	Deslizamiento	-	20 de junio de 2009
RVAL-60	265379	6354737	Caída	Deslizamiento	-	10 de junio de 2009
RVAL-34	266930	6337953	Caída	Deslizamiento	Sismo	27 de febrero de 2010
RVAL-14	380093	6355303	Caída		-	11 de mayo de 1981
RVAL-10	339303	6372587	Caída		-	27 de julio de 1979
RVAL-4	351080	6366370	Caída		Temporal de Nieve	30 de junio de 1947
RVAL-3	350847	6366112	Caída		Precipitaciones	15 al 20 de agosto de 1948
RVAL-99	373741,7257	6358990,944	Caída		-	-
RVAL-98	352523,9711	6401946,272	Caída		-	-
Terreno 1	257183,76	6338560,7	Caída			25 de noviembre de 2020
Terreno 2	257278,16	6338850,73	Caída		Sismo	28 de febrero 2010
Terreno 3	257339,85	6339039,08	Caída		Sismo	25 de noviembre de 2020
Terreno 4	257170,02	6339115,23	Caída			25 de noviembre de 2020
Terreno 5	256717	6339227	Caída			25 de octubre de 2020



Anexo D. Maquina ensayo de carga puntual 45-D0550. Rango de carga: 0 a 60KN;
Pantalla digital: 2x16 caracteres, Exactitud: +/- 1%. Propiedad: Universidad Andrés Bello,
sede Viña del Mar.





Anexo E. Rocas ensayadas mediante el método de carga puntual, con sus mediciones y fotografías previas al ensayo y posterior al ensayo.



Ensayo de carga puntual			
Muestra 1			
Coordenadas: 33°03'52" S 71°36'03" W			
Descripción	Ortoanfibilita	Previo a compresión	Posterior a compresión
Forma	Irregular		
W (mm)	32,5		
D (mm)	26		
De ² (mm ²)	1076,433121		
P (N)	300		
Is (MPa)	0,278698225		
Is(50) (MPa)	0,207651803		
UCS (MPa)	4,775991478		
Observación	Rellenos de arcilla, ruptura en discontinuidad		



Ensayo de carga puntual			
Muestra 2			
Coordenadas: 33°03'52" S 71°36'03" W			
Descripción	Ortoanfibilita	Previo a compresión	Posterior a compresión
Forma	Irregular		
W (mm)	58		
D (mm)	20		
De ² (mm ²)	1477,707006		
P (N)	1040		
Is (MPa)	0,703793103		
Is(50) (MPa)	0,465985071		
UCS (MPa)	10,71765663		
Observación	Rellenos de arcilla		

Ensayo de carga puntual			
Muestra 3			
Coordenadas: 33°03'52" S 71°36'03" W			
Descripción	Ortoanfibolita	Previo a compresión	Posterior a compresión
Forma	Irregular		
W (mm)	55		
D (mm)	50		
De ² (mm ²)	3503,184713		
P (N)	8030		
Is (MPa)	2,2922		
Is(50) (MPa)	2,2922		
UCS (MPa)	52,7206		
Observación	Meteorización leve		




Ensayo de carga puntual			
Muestra 4			
Coordenadas: 33°03'52" S 71°36'03" W			
Descripción	Ortoanfibolita	Previo a compresión	Posterior a compresión
Forma	Irregular		
W (mm)	51,5		
D (mm)	50		
De ² (mm ²)	3280,254777		
P (N)	4390		
Is (MPa)	1,33831068		
Is(50) (MPa)	1,33831068		
UCS (MPa)	30,78114563		
Observación	Rotura en dirección de foliación		

Ensayo de carga puntual			
Muestra 5			
Coordenadas: 33°03'52" S 71°36'03" W			
Descripción	Ortoanfibolita	Previo a compresión	Posterior a compresión
Forma	Irregular		
W (mm)	58		
D (mm)	20		
De ² (mm ²)	1477,707006		
P (N)	10300		
Is (MPa)	6,970258621		
Is(50) (MPa)	4,61504445		
UCS (MPa)	106,1460224		
Observación			

Ensayo de carga puntual			
Muestra 6			
Coordenadas: 33°03'52" S 71°36'03" W			
Descripción	Ortoanfibilita	Previo a compresión	Posterior a compresión
Forma	Irregular		
W (mm)	17,5		
D (mm)	29		
De ² (mm ²)	646,4968153		
P (N)	2700		
Is (MPa)	4,17635468		
Is(50) (MPa)	3,268435895		
UCS (MPa)	75,17402559		
Observación			

Ensayo de carga puntual			
Muestra 7			
Coordenadas: 33°03'52" S 71°36'03" W			
Descripción	Ortoanfibilita	Previo a compresión	Posterior a compresión
Forma	Irregular		
W (mm)	20		
D (mm)	28		
De ² (mm ²)	713,3757962		
P (N)	3800		
Is (MPa)	5,326785714		
Is(50) (MPa)	4,103456543		
UCS (MPa)	94,3795005		
Observación			

Ensayo de carga puntual				
Muestra 8 y 9				
Coordenadas: 33°03'39" S 71°36'19" W				
Descripción	Ortoanfibilita		Previo a compresión	Posterior a compresión
Forma	Irregular			
W (mm)	57,5	33,5		
D (mm)	38,5	35,5		
De ² (mm ²)	2820,00	1514,00		
P (N)	500	350		
Is (MPa)	0,18	0,23		
Is(50) (MPa)	0,16	0,2		
UCS (MPa)	3,63	4,55		
Observación	Rotura en dirección de foliación, roca muy meteorizada			

Ensayo de carga puntual			
Muestra 10			
Coordenadas: 33°03'39"S 71°36'19"W			
Descripción	Ortoanfibolita		
Forma	Irregular		
W (mm)	55		
D (mm)	44		
De ² (mm ²)	3082,802548		
P (N)	520		
Is (MPa)	0,168677686		
Is(50) (MPa)	0,159248312		
UCS (MPa)	3,66271117		
Observación	Roca muy meteorizada		
Ensayo de carga puntual			
Muestra 11			
Coordenadas: 33°03'52"S 71°36'03" W			
Descripción	Tonalita	Previo a compresión	Posterior a compresión
Forma	Irregular		
W (mm)	60		
D (mm)	26		
De ² (mm ²)	1987,261146		
P (N)	1500		
Is (MPa)	0,754807692		
Is(50) (MPa)	0,562390301		
UCS (MPa)	12,93497692		
Observación	Rotura en plano de discontinuidad		
Ensayo de carga puntual			
Muestra 12			
Coordenadas: 33°03'52"S 71°36'03" W			
Descripción	Tonalita	Previo a compresión	Posterior a compresión
Forma	Irregular		
W (mm)	60		
D (mm)	55,5		
De ² (mm ²)	4242,038217		
P (N)	20200		
Is (MPa)	4,761861862		
Is(50) (MPa)	4,990822601		
UCS (MPa)	114,7889198		
Observación			

Ensayo de carga puntual			
Muestra 13			
Coordenadas: 33°03'52"S 71°36'03" W			
Descripción	Tonalita	Previo a compresión	Posterior a compresión
Forma	Irregular		
W (mm)	35		
D (mm)	26		
De ² (mm ²)	1159,235669		
P (N)	10300		
Is (MPa)	8,885164835		
Is(50) (MPa)	6,620137255		
UCS (MPa)	152,2631569		
Observación			

Ensayo de carga puntual			
Muestra 14			
Coordenadas: 33°03'52"S 71°36'03" W			
Descripción	Tonalita	Previo a compresión	Posterior a compresión
Forma	Irregular		
W (mm)	65		
D (mm)	23		
De ² (mm ²)	1904,458599		
P (N)	1600		
Is (MPa)	0,840133779		
Is(50) (MPa)	0,59236511		
UCS (MPa)	13,62439753		
Observación	Rotura en plano de discontinuidad		



Ensayo de carga puntual			
Muestra 15			
Coordenadas: 33°03'52"S 71°36'03" W			
Descripción	Tonalita	Previo a compresión	Posterior a compresión
Forma	Irregular		
W (mm)	27,5		
D (mm)	28,5		
De ² (mm ²)	998,4076433		
P (N)	5000		
Is (MPa)	5,007974482		
Is(50) (MPa)	3,888712108		
UCS (MPa)	89,44037848		
Observación			



Ensayo de carga puntual			
Muestra 16			
Coordenadas: 33°03'52"S 71°36'03" W			
Descripción	Tonalita	Previo a compresión	Posterior a compresión
Forma	Irregular		
W (mm)	40		
D (mm)	27,5		
De ² (mm ²)	1401,273885		
P (N)	4570		
Is (MPa)	3,261318182		
Is(50) (MPa)	2,492047878		
UCS (MPa)	57,3171012		
Observación			

Ensayo de carga puntual			
Muestra 17			
Coordenadas: 33°03'52"S 71°36'03" W			
Descripción	Tonalita	Previo a compresión	Posterior a compresión
Forma	Irregular		
W (mm)	40		
D (mm)	23		
De ² (mm ²)	1171,974522		
P (N)	7460		
Is (MPa)	6,365326087		
Is(50) (MPa)	4,48809128		
UCS (MPa)	103,2260994		
Observación			

Ensayo de carga puntual			
Muestra 18			
Coordenadas: 33°03'52"S 71°36'03" W			
Descripción	Tonalita	Previo a compresión	Posterior a compresión
Forma	Irregular		
W (mm)	55		
D (mm)	28		
De ² (mm ²)	1961,783439		
P (N)	4800		
Is (MPa)	2,446753247		
Is(50) (MPa)	1,884841283		
UCS (MPa)	43,35134951		
Observación			

Ensayo de carga puntual			
Muestra 19			
Coordenadas: 33°03'52"S 71°36'03" W			
Descripción	Tonalita	Previo a compresión	Posterior a compresión
Forma	Irregular		
W (mm)	57,5		
D (mm)	38		
De ² (mm ²)	2783,43949		
P (N)	13400		
Is (MPa)	4,814187643		
Is(50) (MPa)	4,254897773		
UCS (MPa)	97,86264878		
Observación			

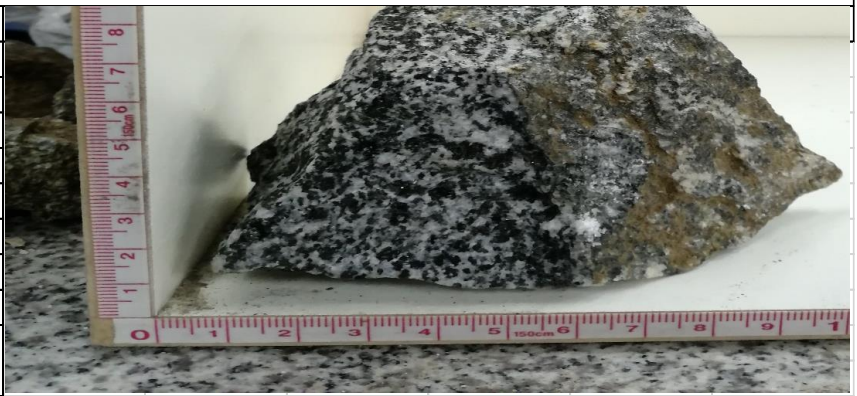
Ensayo de carga puntual			
Muestra 20			
Coordenadas: 33°03'52"S 71°36'03" W			
Descripción	Tonalita	Previo a compresión	Posterior a compresión
Forma	Irregular		
W (mm)	40		
D (mm)	20,7		
De ² (mm ²)	1054,77707		
P (N)	6600		
Is (MPa)	6,257246377		
Is(50) (MPa)	4,207589949		
UCS (MPa)	96,77456883		
Observación			

Ensayo de carga puntual			
Muestra 21			
Coordenadas: 33°03'52"S 71°36'03" W			
Descripción	Tonalita	Previo a compresión	Posterior a compresión
Forma	Irregular		
W (mm)	56,5		
D (mm)	51,5		
De ² (mm ²)	3706,687898		
P (N)	17800		
Is (MPa)	4,802130767		
Is(50) (MPa)	4,86643283		
UCS (MPa)	111,9279551		
Observación			

Ensayo de carga puntual	
Muestra 22	
Coordenadas: 33°03'52"S 71°36'03" W	
Descripción	Tonalita
Forma	Irregular
W (mm)	41
D (mm)	35
De ² (mm ²)	1828,025478
P (N)	7300
Is (MPa)	3,993379791
Is(50) (MPa)	3,401220075
UCS (MPa)	78,22806174
Observación	



Ensayo de carga puntual	
Muestra 23	
Coordenadas: 33°04'39"S 71°36'42" W	
Descripción	Diorita
Forma	Irregular
W (mm)	66,5
D (mm)	43
De ² (mm ²)	3642,675159
P (N)	20400
Is (MPa)	5,600279769
Is(50) (MPa)	5,232798677
UCS (MPa)	120,3543696
Observación	



Anexo F. Tablas de RMR con sus respectivos valores acorde a los grupos asociados.

Clasificación según parámetros y sus valores					
Resistencia a compresión uniaxial (MPa)					
	> 250	250-100	100-50	50-25	< 25
Valor		12	7	4	2
Índice de calidad RQD (%)					
	100-90	90-75	75-50	50-25	25-0
Valor	20		13	8	3
Espaciamiento de discontinuidades					
	> 2 m	2-0,6 m	0,6-0,2 m	0,2-0,06 m	< 0,06 m
Valor	20		10	8	5
Abertura de discontinuidades					
	> 5 mm	5-1 mm	1-0,1 mm	< 0,1 mm	0
Valor	0	1		5	6
Continuidad de discontinuidades					
	> 20 m	20-10 m	10-3 m	3-1 m	< 1 m
Valor	0		2	4	6
Rugosidad de discontinuidades					
	Muy rugosas	Rugosas	Ligeramente rugosas	Lisa	Plana (espejo de falla)
Valor	6	5		1	0
Relleno de discontinuidades					
	Blando > 5 mm	Blando < 5 mm	Duro > 5 mm	Duro < 5 mm	Ninguno
Valor	0	2	2	4	
Alteración de discontinuidades					
	Descompuesta	Muy alterada	Moderadamente alterada	Ligeramente alterada	No alterada
Valor	0	1	3	5	
Presencia de agua					
	Seco	Ligeramente húmedo	Húmedo	Goteando	Fluyendo
Valor	15		7	4	0

RMR= 79 Coordenadas: 33°03'52"S 71°36'03"W

Clasificación según parámetros y sus valores					
Resistencia a compresión uniaxial (MPa)					
	> 250	250-100	100-50	50-25	< 25
Valor	15	12		4	2
Índice de calidad RQD (%)					
	100-90	90-75	75-50	50-25	25-0
Valor	20	17		8	3
Espaciamiento de discontinuidades					
	> 2 m	2-0,6 m	0,6-0,2 m	0,2-0,06 m	< 0,06 m
Valor	20	15	10		5
Abertura de discontinuidades					
	> 5 mm	5-1 mm	1-0,1 mm	< 0,1 mm	0
Valor	0	1		5	6
Continuidad de discontinuidades					
	> 20 m	20-10 m	10-3 m	3-1 m	< 1 m
Valor	0	1		4	6
Rugosidad de discontinuidades					
	Muy rugosas	Rugosas	Ligeramente rugosas	Lisa	Plana (espejo de falla)
Valor	6		3	1	0
Relleno de discontinuidades					
	Blando > 5 mm	Blando < 5 mm	Duro > 5 mm	Duro < 5 mm	Ninguno
Valor	0		2	4	6
Alteración de discontinuidades					
	Descompuesta	Muy alterada	Moderadamente alterada	Ligeramente alterada	No alterada
Valor	0	1		5	6
Presencia de agua					
	Seco	Ligeramente húmedo	Húmedo	Goteando	Fluyendo
Valor	15		7	4	0

RMR= 54 Coordenadas: 33°03'36"S 71°35'55" W

Anexo G. Detalle de puntajes para unidades de análisis definidas. Susceptibilidad ante caída de rocas.

Unidad	F1_pend	F1_alt	F1_forma	F2_geotec	F2_falla	F3_antrop	F4_antece	F5_humedad	F5_vegeta	F6_mate	IS_Final
1	8	7	7	9	0	0	0	5	0	1	36
2	8	5	4	12	0	19	0	5	5	0	0
3	8	7	4	12	0	15	5	0	5	1	56
4	8	5	4	9	0	-2	0	0	5	1	29
5	8	5	4	9	0	-2	5	0	5	1	34
6	8	7	7	9	0	15	0	0	5	1	51
7	8	5	4	9	0	15	0	0	0	1	41
8	8	5	7	12	0	15	0	5	5	1	57
9	8	5	4	9	0	15	0	0	5	1	46
10	8	7	7	9	0	0	0	5	5	1	41
11	8	4	4	9	0	0	0	5	0	1	30
12	8	7	4	12	0	15	0	5	0	1	51
13	8	7	4	9	0	0	0	5	0	1	33
14	8	7	7	9	0	0	0	5	0	1	36
15	8	7	7	12	0	15	0	5	5	1	59
16	8	5	7	9	0	-2	5	5	5	1	42
17	8	5	7	9	0	0	0	5	0	1	34
18	8	5	4	9	0	0	0	5	5	1	36
19	8	5	4	9	0	0	0	5	0	1	31
20	8	7	7	9	0	0	0	5	0	1	36
21	8	7	7	9	0	0	0	5	0	1	36
22	8	8	7	9	0	0	0	5	5	1	42
23	8	8	7	9	0	0	0	5	5	1	42
24	8	5	1	9	0	0	0	5	0	1	28
25	8	7	1	9	0	0	0	5	0	1	30
26	8	5	4	9	0	0	0	5	0	1	31
27	8	7	1	9	0	0	0	0	0	1	25
28	8	7	1	9	0	0	0	0	5	1	30
29	8	7	4	6	0	15	0	0	5	1	45
30	8	7	1	9	0	0	0	5	0	1	30
31	8	8	7	9	0	0	0	5	5	1	42
32	8	8	10	6	0	19	5	5	5	1	66
33	8	7	4	9	0	15	0	5	0	1	48
34	10	7	7	9	0	15	0	0	5	1	53
35	10	5	7	9	0	19	0	0	5	1	55
36	10	7	7	9	0	0	0	5	0	1	38
37	10	5	7	9	0	0	0	5	5	1	41
38	10	7	7	12	0	15	0	0	5	1	56
39	10	7	7	9	0	19	5	0	5	1	62
40	10	5	7	9	0	-2	0	0	5	1	34
41	10	7	7	9	0	15	0	0	5	1	53
42	10	7	7	9	0	0	0	5	5	1	43
43	10	7	7	9	0	0	0	5	0	1	38
44	10	7	10	9	0	0	0	5	0	1	41
45	10	5	10	9	0	0	0	5	0	1	39

46	10	7	7	9	0	0	0	0	5	1	38
47	10	5	7	9	0	0	0	5	0	1	36
48	10	5	7	9	0	0	0	5	0	1	36
49	10	7	7	9	0	0	0	0	0	1	33
50	10	7	10	12	0	0	0	5	0	0	0
51	10	7	4	9	0	0	0	5	5	1	40
52	10	7	7	9	0	0	0	5	0	1	38
53	10	7	10	9	0	0	0	5	0	1	41
54	10	8	10	9	0	19	5	5	5	1	71
55	8	5	7	9	0	15	0	5	5	1	54
56	8	5	4	9	0	19	0	0	5	1	50
57	8	7	7	9	0	15	0	0	0	1	46
58	8	5	7	9	0	15	0	0	5	1	49
59	8	5	7	9	0	-2	5	0	5	1	37
60	8	8	7	9	0	15	0	0	5	1	52
61	8	5	4	9	0	0	0	5	0	1	31
62	8	7	7	9	0	0	0	0	5	1	36
63	8	4	7	9	0	0	0	5	0	1	33
64	8	7	10	9	0	0	0	5	0	1	39
65	8	5	10	9	0	0	0	5	0	1	37
66	8	7	7	9	0	0	0	5	0	1	36
67	8	5	10	9	0	0	0	5	0	1	37
68	8	7	4	9	0	0	0	5	0	1	33
69	8	4	4	9	0	0	0	5	0	1	30
70	8	5	7	9	0	0	0	5	0	1	34
71	8	7	7	9	0	0	0	0	0	1	31
72	8	7	7	12	0	0	0	5	0	0	0
73	8	5	10	12	0	0	0	5	0	0	0
74	15	7	10	6	0	19	5	5	5	1	72
75	15	7	7	9	0	15	5	0	5	1	63
76	15	7	10	9	0	15	5	0	5	1	66
77	10	7	7	9	0	15	0	0	5	1	53
78	10	7	7	9	0	-10	0	0	5	1	28
79	10	7	7	12	0	15	0	0	0	0	0
80	10	5	4	9	0	0	0	0	0	1	28
81	10	5	4	9	0	0	0	0	0	1	28
82	10	8	7	9	0	0	0	5	0	1	39
83	3	1	0	9	0	15	0	0	5	1	33
84	3	4	1	9	0	19	0	0	5	1	41
85	3	5	1	9	0	19	0	0	5	1	42
86	3	4	4	9	0	0	0	0	5	1	25
87	3	3	4	9	0	0	0	5	0	1	24
88	3	3	4	9	0	15	0	0	5	1	39
89	3	3	4	9	0	0	0	0	0	1	19
90	3	7	7	9	0	0	0	0	0	1	26

Anexo H. Tablas descriptivas de las muestras extraídas en terreno. Muestras Val-1 – 4.



TABLA DE DESCRIPCIÓN DE ROCAS METAMÓRFICAS				
Coordenadas: 33°03'52"S 71°36'03" W				
MUESTRA: VAL-1				
Textura	Nemato-granoblastica			Fotografía
Composición				
Mineralogía	%	Tamaño (mm)	Alteraciones (grado)	
Anfibolas	60	<1-15	Oxidos de Fe (leve)	
Cuarzo	5	<0,1-1		
Plagioclasas	35	<0,1-2		
Tipo de metamorfismo		Dinamico (Gana et al, 1996)		
Facies y grado metamórfico		Anfibolita		
Estructura(s)		Continua		
Protolito		Intrusivo (Diorita)		
Observaciones				
CLASIFICACIÓN		OrtoAnfibolita		
TABLA DE DESCRIPCIÓN DE ROCAS METAMÓRFICAS				
Coordenadas: 33°03'39"S 71°36'19" W				
MUESTRA: VAL-2				
Textura	Nemato-granoblastica			Fotografía
Composición				
Mineralogía	%	Tamaño (mm)	Alteraciones (grado)	
Anfibolas	50	<1-15	Oxidos de Fe (leve)	
Cuarzo	5	<0,1-1		
Plagioclasas	45	<0,1-2		
Tipo de metamorfismo		Dinamico (Gana et al, 1996)		
Facies y grado metamórfico		Anfibolita		
Estructura(s)		Continua		
Protolito		Intrusivo (Diorita)		
Observaciones				
CLASIFICACIÓN		OrtoAnfibolita		

TABLA DE DESCRIPCIÓN DE ROCAS ÍGNEAS				
Coordenadas: 33°03'52"S 71°36'03" W				
Muestra: VAL-3				
Textura		Fanerítica		
Fabrica				
Grado de Cristalinidad		Medio		
Tamaño de cristales		<0,1-3mm		
Distribución de tamaños				
Forma de los cristales		Subhedrales		
Índice de color		M= 38		
Composición				
Mineralogía	%	Forma y observaciones	Tamaño (mm)	Alteraciones (grado)
Plagioclasas	30	Euhedrales-Subhedrales	<0,1-1	Epidota (leve)
Biotita	30	Euhedrales	<0,5-5	
Qz	30	Anhedrales	<0,5	
Feld Alc	2	Euhedrales	<0,5	
Anfibol	8	Subhedrales	<0,5	
Normalización (%)		Q= 48	A=4	P= 48
Observaciones				
Enclaves				
CLASIFICACIÓN		Tonalita		
TABLA DE DESCRIPCIÓN DE ROCAS ÍGNEAS				
Coordenadas: 33°04'39"S 71°36'42" W				
Muestra: VAL-4				
Textura		Fanerítica		
Fabrica				
Grado de Cristalinidad		Medio		
Tamaño de cristales		<0,1-3mm		
Distribución de tamaños				
Forma de los cristales		Subhedrales		
Índice de color		M= 59		
Composición				
Mineralogía	%	Forma y observaciones	Tamaño (mm)	Alteraciones (grado)
Plagioclasas	40	Euhedrales-Subhedrales	<0,1-1	Epidota (leve)
Anfibol	30	Euhedrales	<0,5-5	
Qz	1	Anhedrales	<0,5	
Biotita	29	Euhedrales	<0,5-5	Oxidos de Fe
Normalización (%)		Q= 2	A=0	P= 98
Observaciones		Se identifica foliación leve - moderada		
Enclaves				
CLASIFICACIÓN		Diorita con leve foliación		

