

## **EVALUACIÓN DEL PELIGRO DE MOVIMIENTOS EN MASA MEDIANTE LA APLICACIÓN DE MODELO CONCEPTUAL EN LOS TALUDES DE ACCESO A CALETA TUMBES, COMUNA DE TALCAHUANO**

*C. Cid Moya<sup>1</sup>, C. Arias Tapia<sup>2</sup> y R. King St-Onge<sup>3</sup>*

### **RESUMEN:**

La localidad de Caleta Tumbes posee una única vía de acceso terrestre, la ruta O-480, proveniente de Talcahuano, que se encuentra rodeada de taludes de varios metros de altura. Por ello, ante la eventual ocurrencia de movimientos en masa de alto calibre, la localidad quedaría aislada. El objetivo de este estudio es evaluar el peligro de movimientos en masa de diez taludes de la ruta mediante la aplicación de un modelo conceptual. Se caracterizan los factores condicionantes de movimientos en masa a partir de información bibliográfica y observación en terreno para la generación de un mapa de peligro mediante el software QGIS. Se describen los factores geológico, geomorfológico, meteorológico, biológico y antrópico para cada talud, y son analizados mediante un proceso de análisis jerárquico. Como resultado de esto se evalúan dos taludes como de peligro medio, seis taludes con peligro alto y dos taludes con peligro muy alto. Los factores desencadenantes del movimiento son las precipitaciones y la intervención humana. Las principales medidas de mitigación son la realización de estudios geotécnicos y geofísicos en cada talud. En el caso de los taludes con peligro muy alto, urge el estudio, diseño y construcción de medidas estructurales de contención. Se debe mejorar la canalización de aguas proveniente desde la parte superior de los taludes. También es necesario aumentar la información y educación a la población sobre el peligro de movimientos en masa.

**PALABRAS CLAVES:** Movimientos en masa; Riesgos naturales; Estabilidad de laderas

### **ABSTRACT:**

The locality of Caleta Tumbes only has a single land access road, the route O-480, from Talcahuano, which is surrounded by slopes several meters high. For this reason, if a large size landslide occurred, the town would be isolated. The objective of this study is to evaluate landslide hazard in ten slopes along the route through the application of a conceptual model. Landslide conditioning factors are characterized using bibliographical information and field observations in order to generate a hazard map using QGIS software. Geological, geomorphological, meteorological, biological and anthropic factors are described for each slope, and they are analysed through and analytic hierarchy process. As result, two slopes are evaluated as medium hazard, six as high hazard and two slopes as very high hazard. Rainfall and human intervention are indicated as triggering factors. Important mitigation measures includes execution of geotechnical and geophysical studies for each slope. In the case of very high danger slopes, it is urgent to study, design and build structural containment works. Canalization of waters must be improved. It is also necessary to increase information and education of the population about landslide hazard.

**KEYWORDS:** Landslides; Natural hazards; Slope stability

---

<sup>1</sup> Estudiante, Carrera de Ingeniería Civil Geológica, Universidad Católica de la Santísima Concepción, CHILE, [ccid@ing.ucsc.cl](mailto:ccid@ing.ucsc.cl)

<sup>2</sup> Profesor Guía, Departamento de Ingeniería Civil, Universidad Católica de la Santísima Concepción, CHILE, [cesar.arias@ucsc.cl](mailto:cesar.arias@ucsc.cl)

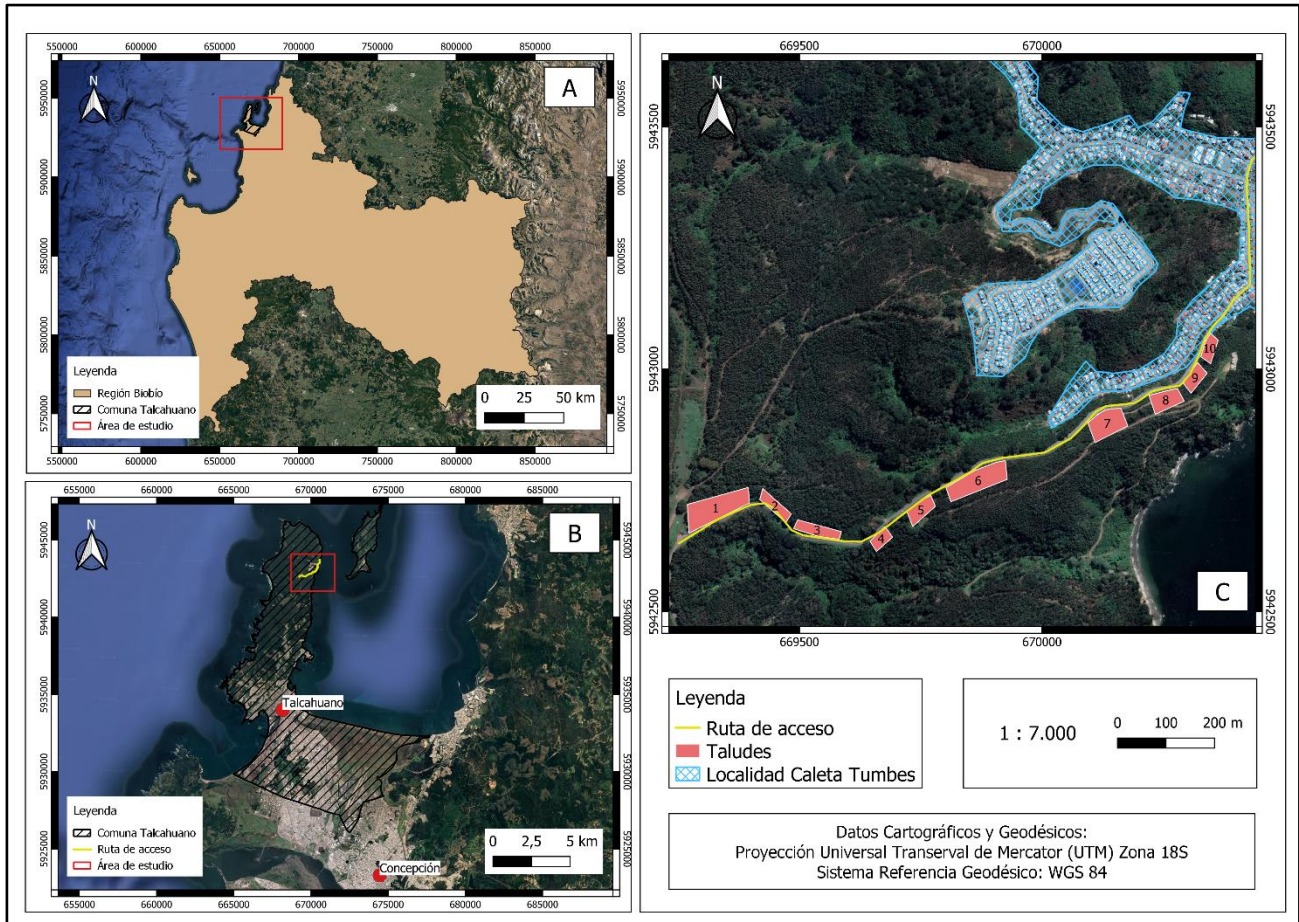
<sup>3</sup> Profesor Informante, Departamento de Ingeniería Civil, Universidad Católica de la Santísima Concepción, CHILE, [rking@ucsc.cl](mailto:rking@ucsc.cl)

## 1. INTRODUCCIÓN

Los movimientos en masa se definen como todos aquellos movimientos ladera abajo de una masa de roca, detritos o tierras por acción de la gravedad (Cruden, 1991). Estos son generados por la combinación de una serie de factores internos y externos, tales como geología, geomorfología, características geotécnicas, físico-químicas, meteorológicas, biológicas o antrópicas (Arias *et al.*, 2018). Este fenómeno, a pesar de tender a ser menos recordados que otros, es uno de los riesgos geológicos más destructivos que afectan a los seres humanos y es muy común en nuestro país (Arias *et al.*, 2018). Muy a menudo, movimientos en masa son responsables de pérdidas o daños materiales y afectan directamente la vida de las personas que habitan en lugares donde sus viviendas son susceptibles a ser dañadas.

Caleta Tumbes, ubicada en la comuna de Talcahuano, Región del Biobío (Figura 1A), posee registros de movimientos en masa ocurridos en los últimos años, principalmente en temporadas invernales debido a las intensas precipitaciones. En el año 2013, un desprendimiento de tierra cortó el camino de acceso a un campamento del sector, y ocasionó que viviendas quedaran cubiertas exteriormente por más de un metro de lodo. En julio del 2014 un deslizamiento de tierra destruyó completamente una casa ubicada en el faldeo de un cerro, y otras dos viviendas resultaron con daños, dejando un total de 18 personas damnificadas.

Caleta Tumbes se encuentra a 514,9 km al sur de Santiago y a 25,6 km al noroeste de la ciudad de Concepción, capital de la Región de Biobío (Figura 1B), posee una población de 1880 habitantes (Instituto Nacional de Estadísticas, 2019) con un total de 605 viviendas. Además, los fines de semana y en época estival concurre una gran cantidad de visitantes debido a que es un centro gastronómico reconocido a nivel regional. La localidad posee una única vía de acceso terrestre, la ruta O-480, proveniente de Talcahuano, que se encuentra rodeada de taludes de varios metros de altura en sus últimos 1300 m de trayecto (Figura 1B). Por ello, ante la eventual ocurrencia de movimientos en masa de alto calibre, la localidad quedaría aislada. El área de estudio corresponde a dicho tramo final de la ruta O-480, y se divide en diez taludes de interés numerados en orden creciente desde el más lejano a la zona urbana, hacia el suroeste, hasta el más cercano, al noreste (Figura 1C). Las coordenadas iniciales y finales de los 10 taludes de estudio se encuentran en la Tabla 1.



**Figura 1:** Ubicación del área de estudio. A) Área de estudio ubicada en la Región del Biobío. B) Ruta de acceso a Caleta Tumbes ubicada en la comuna de Talcahuano. C) Imagen satelital de la ruta de acceso a Caleta Tumbes, destacando los 10 taludes de estudio. Elaboración propia.

**Tabla 1:** Coordenadas de taludes de estudio. Elaboración propia (2023).

| Talud    | Coordenada inicial              | Coordenada final                |
|----------|---------------------------------|---------------------------------|
| Talud 1  | 669272.76 m E<br>5942662.58 m S | 669397.12 m E<br>5942724.16 m S |
| Talud 2  | 669417.89 m E<br>5942729.64 m S | 669471.39 m E<br>5942681.94 m S |
| Talud 3  | 669487.47 m E<br>5942670.94 m S | 669581.26 m E<br>5942648.61 m S |
| Talud 4  | 669645.21 m E<br>5942642.59 m S | 669675.18 m E<br>5942673.83 m S |
| Talud 5  | 669721.37 m E<br>5942702.02 m S | 669771.13 m E<br>5942739.56 m S |
| Talud 6  | 669801.31 m E<br>5942752.41 m S | 669924.01 m E<br>5942810.76 m S |
| Talud 7  | 670093.88 m E<br>5942888.11 m S | 670162.95 m E<br>5942913.94 m S |
| Talud 8  | 670220.01 m E<br>5942942.70 m S | 670278.77 m E<br>5942960.12 m S |
| Talud 9  | 670290.86 m E<br>5942968.38 m S | 670321.01 m E<br>5943013.40 m S |
| Talud 10 | 670326.62 m E<br>5943024.77 m S | 670347.01 m E<br>5943074.45 m S |

El objetivo de este estudio es evaluar el peligro de movimientos en masa de 10 taludes que rodean el acceso a la localidad de Caleta Tumbes, mediante la aplicación de un modelo conceptual y un análisis jerárquico. Se busca caracterizar los factores condicionantes de movimientos en masa mediante información bibliográfica y visitas a terreno para la generación de un mapa de peligro de movimientos en masa mediante el uso del software QGIS y recomendar medidas de mitigación apropiadas.

## 2. MARCO TEÓRICO

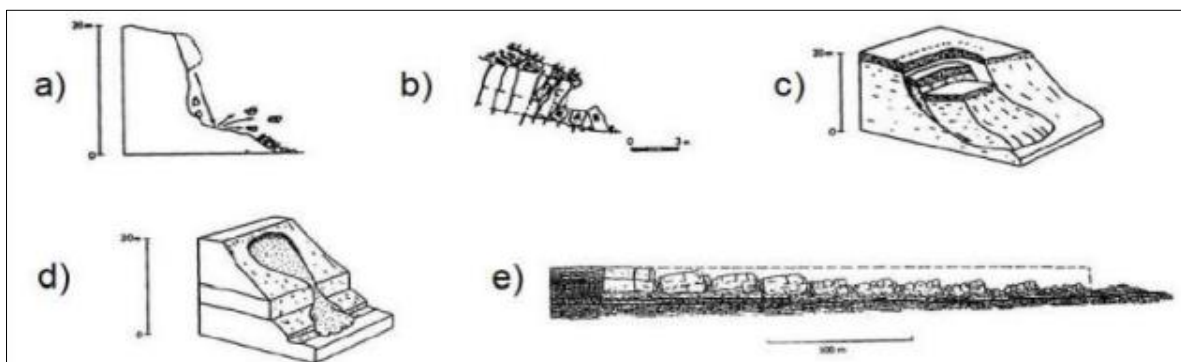
### 2.1 Conceptos asociados al riesgo

Es importante precisar la diferencia entre los términos peligro y riesgo, los cuales pueden prestarse a confusión. Un peligro es un evento o proceso natural, generado por la dinámica interna o superficial del planeta, que pueden ocasionar daño a la sociedad o al ambiente; entre ellos, se llama peligros geológicos a aquellos relacionados a procesos tectónicos o geomorfológicos (Hyndman & Hyndman, 2011). Por otro lado, se llama vulnerabilidad a la forma y cantidad en que el ser humano puede verse afectado por un peligro, ya sea en su integridad física y psicológica, en sus actividades o en sus bienes materiales. Finalmente, el riesgo se define como el grado esperado de pérdida en un grupo humano debido a un fenómeno natural particular, en función del peligro y de la vulnerabilidad (Hyndman & Hyndman, 2011).

### 2.2 Movimiento en masa

El término movimiento en masa, o también llamado remoción en masa, hace referencia a todos aquellos movimientos ladera abajo de una masa de roca, detritos o tierras por acción de la gravedad (Cruden, 1991). Estos procesos gravitacionales pueden ser generados por la combinación de una serie de factores, los cuales pueden ser de tipo geológico, geomorfológico, geotécnico, físico-químico, meteorológico, biológico o antrópico.

Cruden & Varnes (1996) emplean un criterio de clasificación para movimientos en masa en donde emplea dos factores a considerar: el tipo de movimiento y el tipo de material, generando así una clasificación binomial. Según el tipo de movimiento, los movimientos en masa se dividen en: caídas, vuelcos, deslizamientos, propagaciones y flujos (Figura 3). El tipo de material se divide en dos clases: rocas y suelos, siendo estos últimos subdivididos en detritos y tierra.



**Figura 3:** Tipos de movimientos en masa. a) Caída, b) Volcamiento, c) Deslizamiento, d) Flujo; e) Propagación lateral (Cruden & Varnes, 1996).

### 2.3 Modelo Conceptual

Un modelo conceptual consiste en la descripción, análisis y valoración de una serie de factores condicionantes que contribuyen a la ocurrencia de un fenómeno de movimiento en masa (Arias *et al.*, 2018). Ayuda a comprender el comportamiento de un talud o ladera a lo largo del tiempo según sus características físicas, químicas y ambientales (Arias *et al.*, 2018).

Uno de los primeros factores que se deben considerar son la geología y la geomorfología. La geología debe abarcar la litología, tipo de formación, estado de meteorización y estratigrafía de la zona. Se debe conocer la geología estructural, puesto que discontinuidades, fallas, planos de estratificación y demás estructuras, son responsables de generar debilidad que inducen al movimiento (Arias *et al.*, 2018). En cuanto a la

geomorfología, es importante considerar el grado de las pendientes, la orientación de las laderas y las redes de drenaje.

Las características geotécnicas como permeabilidad, granulometría, humedad y plasticidad son importantes entender el comportamiento del suelo, y para determinar el tipo de movimiento (Arias *et al.*, 2018).

Otro factor importante que considerar en un modelo conceptual es la meteorología. Los principales factores que generan erosión de laderas son las precipitaciones, temperaturas, viento y radiación solar, siendo las precipitaciones el más importante entre éstos (Sepúlveda & Lara, 2008). Las intensas precipitaciones actúan como factor desencadenante de los procesos de remoción en masa, al incrementar aceleradamente la saturación de los suelos y su pérdida de cohesión (Naranjo *et al.*, 2006).

La cobertura vegetal es un factor que contribuye a la estabilidad de taludes y laderas pues actúa como refuerzo y protección contra la erosión. La existencia de árboles en las laderas permite la absorción de agua por parte de sus raíces disminuyendo el grado de saturación del suelo (Sepúlveda & Lara, 2008). Sin embargo, un aumento excesivo de cobertura vegetal puede tener un efecto negativo debido al sobrepeso que ejerce sobre las laderas, o al efecto de meteorización provocado por las raíces que crecen entre las fracturas de un macizo rocoso (Sepúlveda & Lara, 2008).

El control que ejerce el factor humano sobre la estabilidad de laderas o taludes es muchas veces primordial en la generación de eventos de remoción en masa (Sepúlveda & Lara, 2008). Actividades antrópicas como excavaciones, construcción de obras civiles, urbanización y deforestación influyen considerablemente en el comportamiento un talud, provocando su inestabilidad.

## 2.4 Análisis jerárquico multivariado

El proceso de análisis jerárquico es un método de origen estadístico, desarrollado por Saaty (1980) para resolver problemas complejos de criterios múltiples. Este análisis consiste en comparar un conjunto de variables que intervienen juntas en un proceso, individualmente entre sí y en su conjunto, otorgándoles un peso y ponderación (Tabla 2).

**Tabla 2:** Escala fundamental de preferencias. Modificado de Saaty, 1980.

| Valor | Definición             |
|-------|------------------------|
| 1     | Igual importancia      |
| 3     | Importancia moderada   |
| 5     | Importancia grande     |
| 7     | Importancia muy grande |
| 9     | Importancia extrema    |

Una vez definidos los valores para cada uno de los factores se realiza la denominada matriz de decisión (Tabla 3).

**Tabla 3:** Matriz de decisión. Modificado de Saaty, 1980.

| Variables | X1      | X2      | ... | Xn      |
|-----------|---------|---------|-----|---------|
| X1        | 1       | I1 / I2 | ... | I1 / In |
| X2        | I2 / I1 | 1       | ... | I2 / In |
| ...       | ...     | ...     | 1   | ...     |
| Xn        | In / I1 | In / I2 | ... | 1       |

Esta matriz cuadrada tiene como objetivo entregar un valor propio para cada factor. Para ello, primero se calcula la relación entre los valores propios para cada uno de los factores ( $W_n$ ) mediante la Ecuación (1).

$$W_n = \left( \frac{I_n}{I_1} * \frac{I_n}{I_2} * \dots * 1 \right)^{\frac{1}{n}} \quad (1)$$

Donde: “n” es el número de criterios que intervienen en el deslizamiento e “In” son los elementos de la matriz.

Una vez obtenido este valor, se calcula el valor propio para cada factor ( $C_n$ ) mediante la Ecuación (2).

$$C_n = \frac{W_n}{\sum W_n} \quad (2)$$

Teniendo el valor propio de cada uno de los factores, se debe analizar su consistencia. Para realizar este análisis primeramente se debe tener el valor de los pesos parciales ( $P_n$ ), los cuales se obtienen mediante la Ecuación (3).

$$P_n = 1 + \frac{I_1}{I_n} + \frac{I_2}{I_n} + \frac{I_3}{I_n} + \dots + 1 \quad (3)$$

Con este valor se calcula la valoración relativa ( $\lambda_n$ ) para cada uno de los resultados, mediante la Ecuación (4).

$$\lambda_n = C_n * P_n \rightarrow \lambda_{m\acute{a}x} = \sum \lambda_n \quad (4)$$

Obtenido el valor de  $\lambda_{m\acute{a}x}$ , se procede a los valores del índice de consistencia ( $C_i$ ) y el índice de consistencia aleatorio ( $R_{ci}$ ), presentes en la Ecuación (5) y Ecuación (6) respectivamente, para obtener con ambos el valor de consistencia de la matriz ( $CR$ ) mediante la Ecuación (7).

$$C_i = \frac{\lambda_{m\acute{a}x} - n}{n - 1} \quad (5)$$

$$R_{ci} = \frac{1,98 * (n - 2)}{n} \quad (6)$$

$$CR = \frac{C_i}{R_{ci}} \quad (7)$$

Los porcentajes máximos de radio de consistencia según el tamaño de la matriz se observan en la Tabla 4.

**Tabla 4:** Porcentajes máximos de radio de consistencia ( $CR$ ). Modificado de Saaty, 1980.

| Tamaño de la matriz (n) | Radio de consistencia |
|-------------------------|-----------------------|
| 3                       | 5%                    |
| 4                       | 9%                    |
| 5 o más                 | 10%                   |

Finalmente, mediante los resultados obtenidos; y considerando que la matriz es consistente, se obtiene el valor de la peligrosidad ( $Y$ ) de movimientos en masa mediante la Ecuación (8).

$$Y = C_1 * X_1 + C_2 * X_2 + \dots + C_n * X_n \quad (8)$$

## 2.5 Marco Geológico

La geología del área de estudio se compone de rocas metamórficas, pertenecientes a la Serie Occidental del Basamento Metamórfico, y rocas sedimentarias, pertenecientes a la Formación Curanilahue.

La Serie Occidental, de edad Carbonífero Superior, está compuesta por pizarras, filitas, esquistos, esquistos micáceos y metacherts (Mendoza, 2001). Posee una foliación penetrativa de rumbo E-NE y manteos entre 40° y 70° al N (Quezada *et al.*, 1997).

La Formación Curanilahue, de edad Eoceno Inferior, se compone por areniscas y arcillas con mantos de carbón (Mendoza, 2001). Esta formación sobreyace en discordancia a las rocas metamórficas y graníticas (Quezada *et al.*, 1997). El rumbo de las capas fluctúa entre N30°E y N60°E y manteos entre 5° y 15° al NW (Quezada *et al.*, 1997). La máxima cobertura sedimentaria corresponde a 80m, y la meteorización de estas origina limonita bandeada, la cual disminuye su cohesión (Quezada *et al.*, 1997).

Para la evaluación del grado de meteorización de las rocas se utilizan los índices propuestos por la Sociedad Internacional de Mecánica de Rocas (ISRM) presentes en la Tabla 5, siendo comparados con la observación directa del afloramiento (González de Vallejo *et al.*, 2004).

**Tabla 5:** Evaluación del grado de meteorización según ISRM, 1981. Modificado de González de Vallejo, 2004.

| Grado de meteorización | Tipo                      | Descripción  |
|------------------------|---------------------------|--|
| I                      | Fresco                    | No aparecen signos de meteorización  |
| II                     | Ligeramente meteorizado   | La decoloración indica alteración del material rocoso y de las superficies de discontinuidad. Todo el conjunto rocoso está decolorado por meteorización                      |
| III                    | Moderadamente meteorizado | Menos de la mitad del macizo rocoso aparece descompuesto y/o transformado en suelo. La roca fresca o decolorada aparece como una estructura continua o como núcleos aislados |
| IV                     | Altamente meteorizado     | Más de la mitad del macizo rocoso aparece descompuesto y/o transformado en suelo. La roca fresca o decolorada aparece como una estructura continua o como núcleos aislados.  |
| V                      | Completamente meteorizado | Todo el macizo rocoso aparece descompuesto y/o transformado en suelo. Se conserva la estructura original del macizo rocoso.  |
| VI                     | Suelo residual            | Todo el macizo rocoso se ha transformado en un suelo. Se ha destruido la estructura del macizo y la fábrica del material   |

## 2.6 Marco Geomorfológico

La comuna de Talcahuano se emplaza en una llanura litoral de aproximadamente 10 km de ancho, al pie de la vertiente húmeda del macizo costero (Mardones, 1979). La península de Tumbes constituye bloques solevados y compartimentados por un doble sistema de fallas ortogonales de dirección noroeste-sureste y noreste-suroeste (Mardones, 1979). El viento, el mar, la corrosión salina y la humedad del aire son factores activos en esta unidad que ocasionan una alteración superficial importante en el sector donde aflora la roca metamórfica. Las fuertes pendientes impiden el desarrollo completo de los suelos, y, en consecuencia, de una vegetación densa protectora de este manto de descomposición (Mardones, 1979).

Hauser (1993) en Sepúlveda (1998) señala que pendientes mayores a 25° en las cabeceras de las hoyas hidrográficas son favorables para el desarrollo de flujos, mientras que Sauret (1987) en Sepúlveda (1998) señala que pueden generarse en pendientes muy débiles que no sobrepasan los 15°.

## 2.7 Características Meteorológicas

La región del Biobío marca una transición entre los climas templados secos de la zona central y los climas templados lluviosos que se desarrollan al sur del río Biobío. En la franja costanera y en los sectores altos y laderas occidentales de la Cordillera de la Costa se presenta un clima templado húmedo, con una humedad constante con precipitaciones que fluctúan entre 1.200 mm y 2.000 mm anuales de norte a sur de la región (Biblioteca del Congreso Nacional de Chile, 2017).

La provincia de Concepción se caracteriza por un régimen templado mediterráneo, con una estación invernal lluviosa, una estación estival seca y cálida, y una fuerte variación interanual de la intensidad pluvial (Romero, 1985, en Mardones *et al.*, 2004).

## 3. METODOLOGÍA

Para cumplir con el desarrollo de cada uno de los objetivos planteados en este estudio, se desarrolla una metodología compuesta por tres partes: trabajo en gabinete, investigación en terreno y trabajo en software.

### 3.1 Trabajo en gabinete

Esta primera etapa de investigación se basa en la revisión de mapas ya existentes para la zona. Para tener una idea general del peligro de remoción en masa en la zona se analiza el mapa “Evaluación preliminar de peligros geológicos: Área de Concepción-Talcahuano-Hualpén-Chiguayante”, realizado por Falcón *et al.* (2010) para el Servicio Nacional de Geología y Minería (SERNAGEOMIN). Para el estudio de la geología, se utiliza la información proporcionada por el “Mapa geológico de la VIII Región costera entre Coliumo y Los Alamos” escala 1:250.000 de Mendoza (2001) junto con el Mapa Geológico de Chile a escala 1:1.000.000, publicado por el Servicio Nacional de Geología y Minería (SERNAGEOMIN, 2003).

Se obtienen imágenes satelitales del sector, obtenidas a partir del software Google Earth, para el estudio de factores como topografía, vegetación, pendientes y orientación de laderas; y tesis de pregrado con información al respecto.

Se obtienen datos de precipitaciones diarias y mensuales, proporcionados el Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INA), para la estación meteorológica Carriel Sur (-36.78055°, -73.06639°) ubicada en la provincia de Concepción.

### 3.2 Investigación en terreno

La etapa de investigación en terreno consiste en observar y realizar el reconocimiento de la morfología y geología de la zona, con el fin de corroborar la información presente en los mapas e imágenes obtenidas.

Con GPS se obtienen las coordenadas de los puntos inicial y final de cada talud. Se observa algún indicio de movimiento en masa ocurrido anteriormente. Se miden rumbo y manto de los planos con el uso de una brújula geológica. Se extraen muestras de cada talud. Se mide altura de talud en los casos que sean accesibles con el uso de una cinta métrica. Se describe la vegetación, se observa la influencia del factor antrópico y se toman fotografías en cada talud. De esta manera se reconocen in situ los factores que condicionan los movimientos en masa.

### 3.3 Trabajo en software

El trabajo en software requiere la realización de mapas y gráficos con los correspondientes programas. Se realiza el mapa de ubicación del área de estudio y el mapa de pendientes a través del software QGIS 3.16.1., para tener una idea general de la topografía. Se mide la pendiente de cada talud con el uso de Google Earth. Se analizan en Excel los datos de precipitaciones mensuales y diarias de la estación meteorológica Carriel Sur, y se realizan los correspondientes gráficos de cada uno.

Se realiza en Excel la matriz de decisión de Saaty con los valores correspondiente de importancia para cada uno de los factores estudiados para obtener el valor de peligrosidad (Y) para movimientos en masa

Finalmente, con todos los cálculos y mapas realizados, se genera en el software QGIS 3.16.1 el mapa de peligro de remoción en masa en los taludes de acceso a Caleta Tumbes para identificar las zonas con mayor susceptibilidad y recomendar medidas de mitigación

## 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1 Indicios de Movimiento en Masa

En el área de estudio se detectaron algunos indicios de movimientos en masa anteriores en los taludes 1, 7, 8 y 10. El Talud 1 posee una altura de 7,2 metros y presenta indicios de la ocurrencia de un movimiento (Figura 4). Se observa un pequeño crecimiento de vegetación en el lugar del movimiento, lo cual indicaría que ha ocurrido hace menos de un año.



**Figura 4:** A) Talud 1 con evidencia de movimiento. B) Movimiento en masa anterior en Talud 1. Elaboración propia (2022).

En el Talud 7 se observa la ocurrencia de un movimiento en masa anterior que ocasionó la caída de árboles (Figura 5). De todos los taludes estudiados es el que posee una mayor inclinación. Aunque se observa un crecimiento de vegetación menor en el lugar del movimiento, los árboles caídos aún mostraban restos de verdor, por lo cual se asume que el movimiento ocurrió dentro del mismo año.



**Figura 5:** A) Evidencia de movimiento en masa anterior en Talud 7. B) Caída de árboles en talud ocasionado por un movimiento anterior en el Talud 7. Elaboración propia (2022).

El Talud 8 presenta evidencias de un flujo ocurrido. La barrera protectora fue completamente destruida en esa zona, y se observa material depositado a los pies del talud (Figura 6). Por el tamaño de la vegetación que

crece en el lugar se puede deducir que han ocurrido movimientos desde hace al menos 5 años; el material reciente depositado en la zanja de aguas lluvias indica que se sigue moviendo material hasta la actualidad.



**Figura 6:** A) Evidencia de movimiento en masa anterior en Talud 8. B) Material depositado en la zanja a los pies del Talud 8. Elaboración propia (2022).

En el Talud 10 se evidencia la ocurrencia de movimientos anteriores y los pobladores han instalado mallas para evitar su avance a la carretera. La barrera instalada ha sido rota por el avance del movimiento, observándose el material depositado en la zanja a los pies del talud (Figura 7). Al igual que en el punto anterior, la vegetación que crece con distintos tamaños permite deducir que han ocurrido varios movimientos al menos en los últimos 5 años.



**Figura 7:** Registro de movimiento en masa anterior en Talud 10. A) Malla instalada por pobladores. B) Barrera rota. C) Material depositado en la zanja a los pies del talud. Elaboración propia (2022).

## 4.2 Modelo Conceptual

Para el desarrollo del modelo conceptual se consideran seis factores a estudiar: geología, pendientes, orientación, precipitaciones, cobertura vegetal y antrópico. A cada factor se le asignan diferentes pesos relativos, los cuales permiten definir el nivel de peligro (Tabla 6).

**Tabla 6:** Nivel de peligro según peso relativo. Elaboración propia.

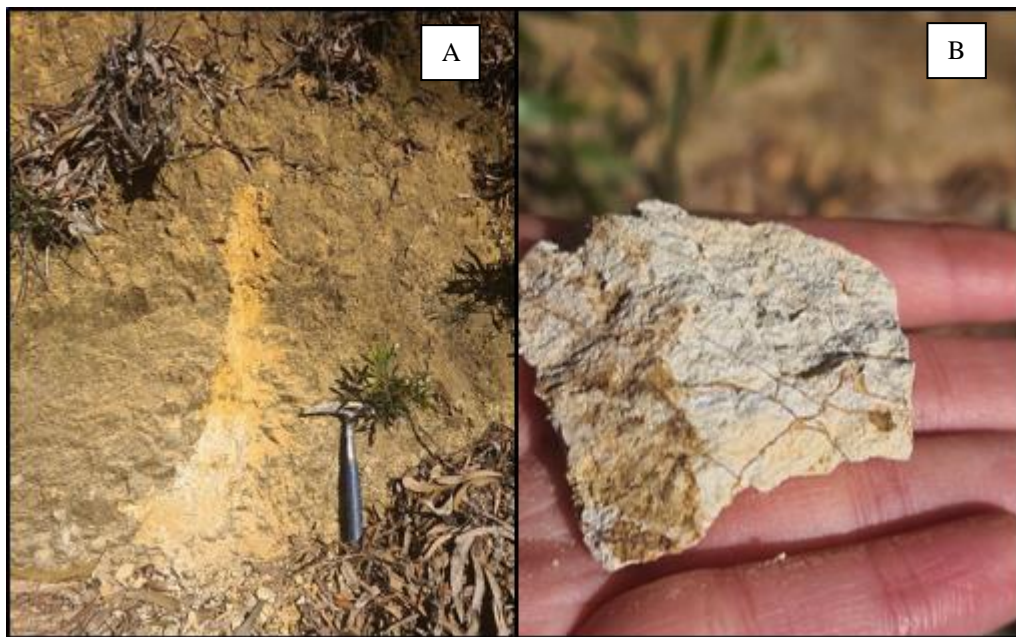
| Peso Relativo | Nivel de Peligro |
|---------------|------------------|
| 1             | Bajo             |
| 2             | Medio            |
| 3             | Alto             |

### 4.2.1 Factor Geológico

En la zona de estudio se encuentran muestras del Basamento Metamórfico en los taludes 4, 5, 6, 7, 8 y 10, con un grado de meteorización II, es decir, ligeramente meteorizado (Figura 8), y con un fracturamiento moderado ayudado por el crecimiento de raíces de pino. Se encuentran muestras de la Formación Curanilahue en los taludes 1, 2, 3 y 9 con un grado de meteorización IV, es decir, altamente meteorizado (Figura 9).



**Figura 8:** A) Afloramiento del Basamento Metamórfico en el área. B) Muestra del Basamento Metamórfico. Elaboración propia (2022).



**Figura 9:** A) Afloramiento de la Formación Curanilahue en el área. B) Muestra de la Formación Curanilahue. Elaboración propia (2022).

Según las observaciones se proponen los pesos relativos expuestos en la Tabla 7, basados en el tipo de roca y el estado de meteorización de esta. De esta manera, los taludes del área de estudio reciben la clasificación que se observa en la Tabla 8.

**Tabla 7:** Peso relativo según litología. Elaboración propia.

| Litología                                 | Peso Relativo |
|---|---------------|
| Roca sana                                 | 1             |
| Roca metamórfica con meteorización ligera | 2             |
| Roca sedimentaria con meteorización alta  | 3             |

**Tabla 8:** Peso relativo para cada talud según litología. Elaboración propia.

| Talud | Peso relativo |
|-------|---------------|
| 1     | 2             |
| 2     | 2             |
| 3     | 2             |
| 4     | 3             |
| 5     | 3             |
| 6     | 3             |
| 7     | 3             |
| 8     | 3             |
| 9     | 2             |
| 10    | 3             |

#### 4.2.2 Factor Geomorfológico

Según observaciones en terreno se realiza una clasificación (Tabla 9), considerando las pendientes menores o igual a 15° como baja susceptibilidad a movimientos en masa. Las pendientes entre los 15° y 25° poseen una susceptibilidad moderada a movimientos en masa. Las pendientes mayores a 25° son pendientes abruptas y por lo tanto son consideradas como alta susceptibilidad a movimientos en masa. En la Tabla 10 se presentan los grados de pendiente para cada talud, obtenidos a partir de Google Earth, con su respectivo peso relativo.

**Tabla 9:** Peso relativo según grado de pendiente. Elaboración propia.

| Pendiente | Peso Relativo |
|-----------|---------------|
| 0° - 15°  | 1             |
| 15° - 25° | 2             |
| > 25°     | 3             |

**Tabla 10:** Grado de pendiente con su valor de peso relativo para cada talud. Elaboración propia.

| Talud | Pendiente (°) | Peso relativo |
|-------|---------------|---------------|
| 1     | 14            | 1             |
| 2     | 14            | 1             |
| 3     | 17            | 2             |
| 4     | 13            | 1             |
| 5     | 8             | 1             |
| 6     | 19            | 2             |
| 7     | 24            | 2             |
| 8     | 17            | 2             |
| 9     | 14            | 1             |
| 10    | 19            | 2             |

La dirección de la pendiente está determinada por la orientación de las laderas, la cual a su vez influye en los efectos erosivos y meteorización del material debido a la acción del viento y exposición al sol, además de disminuir la presencia de vegetación producto de la sequedad (Sepúlveda & Lara, 2008).

El talud 1 posee una orientación SE, los taludes 2 y 3 poseen una orientación SW, y los taludes del 4 al 10 poseen una orientación NW. Para analizar las zonas expuestas a erosión se utilizaron las orientaciones de la Tabla 11. Los taludes ubicados al lado SE de la ruta poseen una orientación NW y presentan una alta susceptibilidad a movimientos en masa puesto que reciben con mayor intensidad las acciones erosivas. Los taludes ubicados al lado NW de la ruta poseen una orientación SE o SO y presentan una baja susceptibilidad. La clasificación de cada talud con sus pesos relativos se muestra en la Tabla 12.

**Tabla 11:** Peso relativo según orientación de laderas. Elaboración propia.

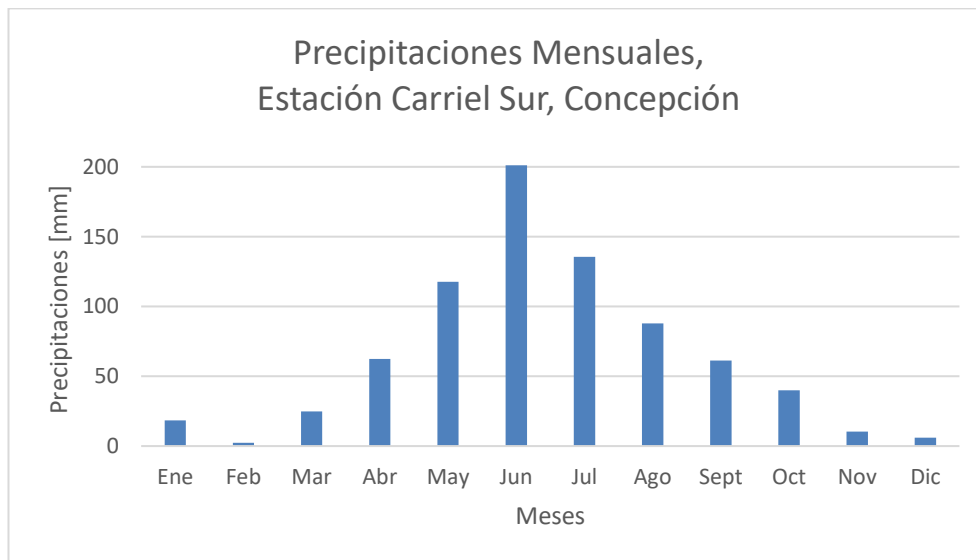
| Orientación              | Peso Relativo |
|--------------------------|---------------|
| 135° - 225° (SE – SW)    | 1             |
| 45° - 135° / 225° - 315° | 2             |
| 315° - 45° (NW – NE)     | 3             |

**Tabla 12:** Peso relativo para cada talud según orientación de laderas. Elaboración propia.

| Talud | Orientación | Peso relativo |
|-------|-------------|---------------|
| 1     | SE          | 1             |
| 2     | SW          | 1             |
| 3     | SW          | 1             |
| 4     | NW          | 3             |
| 5     | NW          | 3             |
| 6     | NW          | 3             |
| 7     | NW          | 3             |
| 8     | NW          | 3             |
| 9     | NW          | 3             |
| 10    | NW          | 3             |

#### 4.2.3 Factor Meteorológico

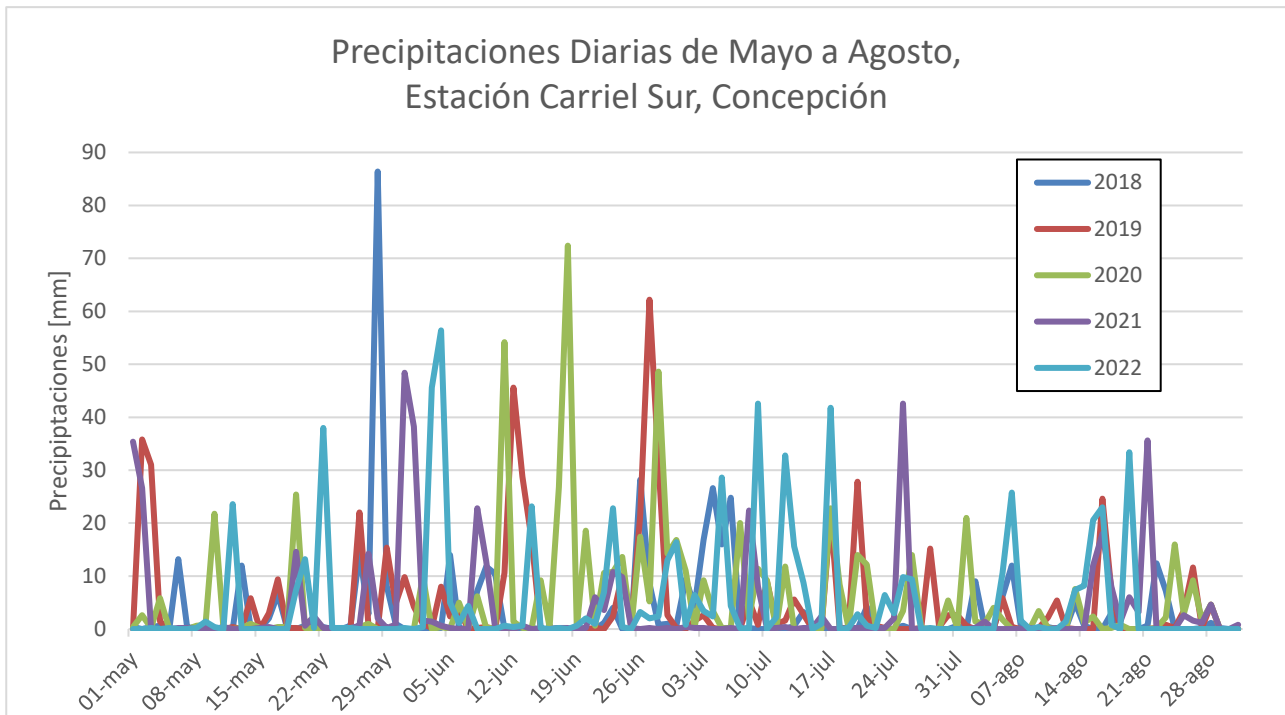
Se analizaron los datos de precipitaciones mensuales en el período de 2018-2022 obtenidos a través del Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA) para la estación Carriel Sur de la provincia de Concepción, puesto que no se encuentran datos vigentes en alguna estación de la comuna de Talcahuano. Los resultados se muestran en la Figura 10, donde se observa que los meses de mayo a agosto se concentra la mayor cantidad de precipitaciones, siendo junio el mes con mayor cantidad de lluvias sobrepasando los 200 mm.



**Figura 10:** Precipitaciones mensuales de la Estación Carriel Sur en la provincia de Concepción para el período 2018-2022. Elaboración propia (2023).

Históricamente se ha observado que en el Gran Concepción, una precipitación diaria de superior a 80 mm y/o una acumulación de lluvias en tres días consecutivos sobre los 100 mm genera consecuentes procesos de movimiento en masa (Mardones *et al.*, 1994). Por otro lado, Pradenas (2014) señala que el umbral de precipitaciones en la provincia de Concepción para generar movimientos en masa en taludes de roca metamórfica corresponde a una acumulación superior a 44 mm en 30 días.

El gráfico de la Figura 11 muestra las precipitaciones diarias entre los días 1 de mayo al 31 de agosto, para el período de años 2018-2022 en la estación Carriel Sur. Se observa que el máximo registro ocurrió en el año 2018 superando el umbral establecido por Mardones *et al.* (1994). En los años 2018, 2019 y 2022 se registran acumulaciones de lluvias superiores a 100 mm en tres días, con valores de 103,6 mm, 115,2 mm y 107 mm respectivamente. Esto se correspondería con algunas observaciones hechas en terreno de movimientos en masa con una antigüedad estimable menor a 5 años.



**Figura 11:** Precipitaciones diarias de mayo a agosto, desde el año 2018 al 2022, en la estación Carriel Sur. Elaboración propia (2023).

De acuerdo con lo planteado por Mardones *et al.* (1994) se proponen los pesos relativos expuestos en la Tabla 13 según los niveles de precipitación diaria. De tal manera, los taludes del área de estudio quedan clasificados con un peso relativo de 3, es decir, con un alto nivel de peligro.

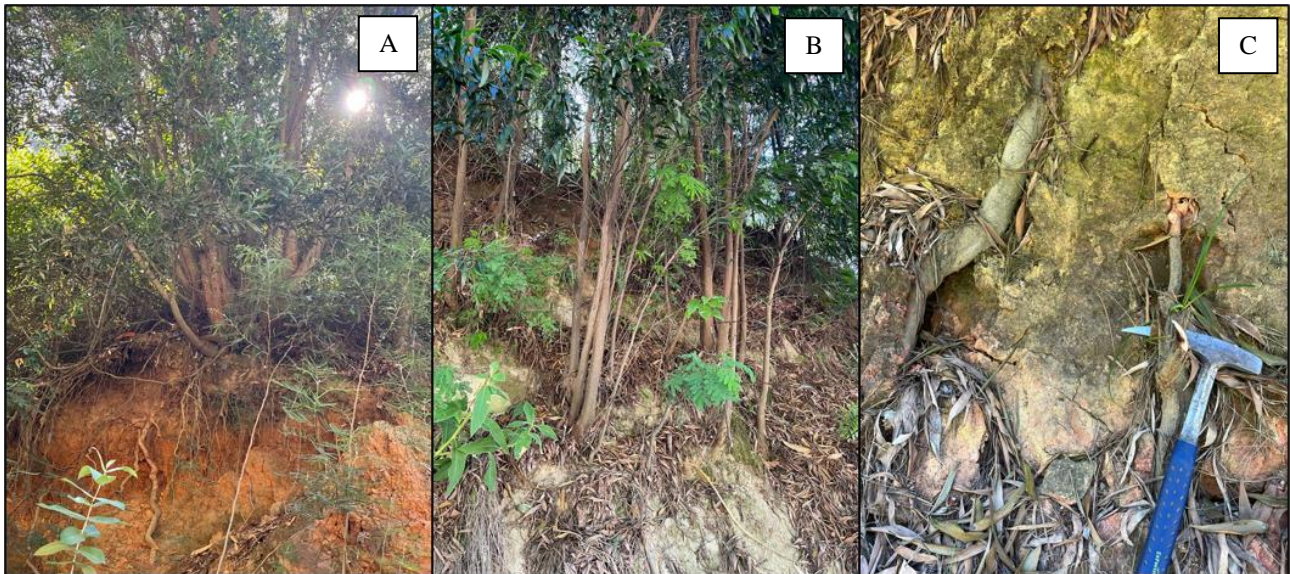
**Tabla 13:** Peso relativo según P24. Elaboración propia.

| P24 (precipitación máxima en 24 hrs) | Peso Relativo |
|--------------------------------------|---------------|
| 0 – 30 mm                            | 1             |
| 30 mm – 80 mm                        | 2             |
| > 80 mm                              | 3             |

#### 4.2.4 Factor Biológico

La vegetación en el área de estudio corresponde principalmente a zona forestal de árboles como aramo, pino y eucalipto, y bosque nativo, con plantas como el boldo, litre, maqui, copihue, avellano, peumo, chagual, etc. (GUCA, 2022). La mayor parte del recinto natural está protegido de forma privada por la Armada de Chile. (GUCA, 2022).

En la Figura 12 se observa la vegetación en el Talud 3 con presencia de grandes raíces a causa del crecimiento de los árboles. A pesar de que las raíces jueguen un rol de estabilidad, en este caso en particular ocasiona una inestabilidad de puesto que fracturan las rocas a causa de la meteorización.



**Figura 12:** Talud 3. A) Presencia de vegetación con grandes raíces. B) Presencia de vegetación densa. C) Grandes raíces que producen meteorización. Elaboración propia (2022).

Los taludes 6, 7, 8, 9 y 10 poseen una vegetación densa, con una gran cantidad de arbustos y árboles de gran tamaño, sin embargo, no se observa la presencia de grandes raíces como en el caso del Talud 3. En la Figura 13 se observa la vegetación de los taludes 7, 8 y 10 respectivamente.



**Figura 13:** A) Vegetación en Talud 7. B) Vegetación en Talud 8. C) Vegetación en Talud 10. Elaboración propia (2022).

Los taludes 1, 2, 4 y 5 poseen una vegetación dispersa, puesto que los árboles y arbustos se encuentran de manera espaciada, dejando su superficie más expuesta a erosión y precipitaciones. En la Figura 14 se observa la vegetación de los taludes 2 y 5 respectivamente.



**Figura 14:** A) Vegetación dispersa en Talud 2. B) Vegetación dispersa en Talud 5. Elaboración propia (2022).

El análisis de peligro para el factor de vegetación se presenta en la Tabla 14, donde se considera que a mayor vegetación menor es la inestabilidad de los taludes, pero en lo casos que esta ocasiona meteorización se considera un peligro alto. De tal forma los taludes del área de estudio quedan clasificados con sus respectivos pesos relativos según se muestra en la Tabla 15.

**Tabla 14:** Peso relativo según nivel de vegetación. Elaboración propia.

| Nivel de vegetación                                | Peso Relativo |
|--|---------------|
| Vegetación nativa, densa y sana                    | 1             |
| Vegetación dispersa o forestal                     | 2             |
| Ausencia de vegetación o que produce meteorización | 3             |

**Tabla 15:** Peso relativo para cada talud según nivel de vegetación. Elaboración propia.

| Talud | Peso relativo |
|-------|---------------|
| 1     | 2             |
| 2     | 2             |
| 3     | 3             |
| 4     | 2             |
| 5     | 2             |
| 6     | 1             |
| 7     | 1             |
| 8     | 1             |
| 9     | 1             |
| 10    | 1             |

#### 4.2.5 Factor Antrópico

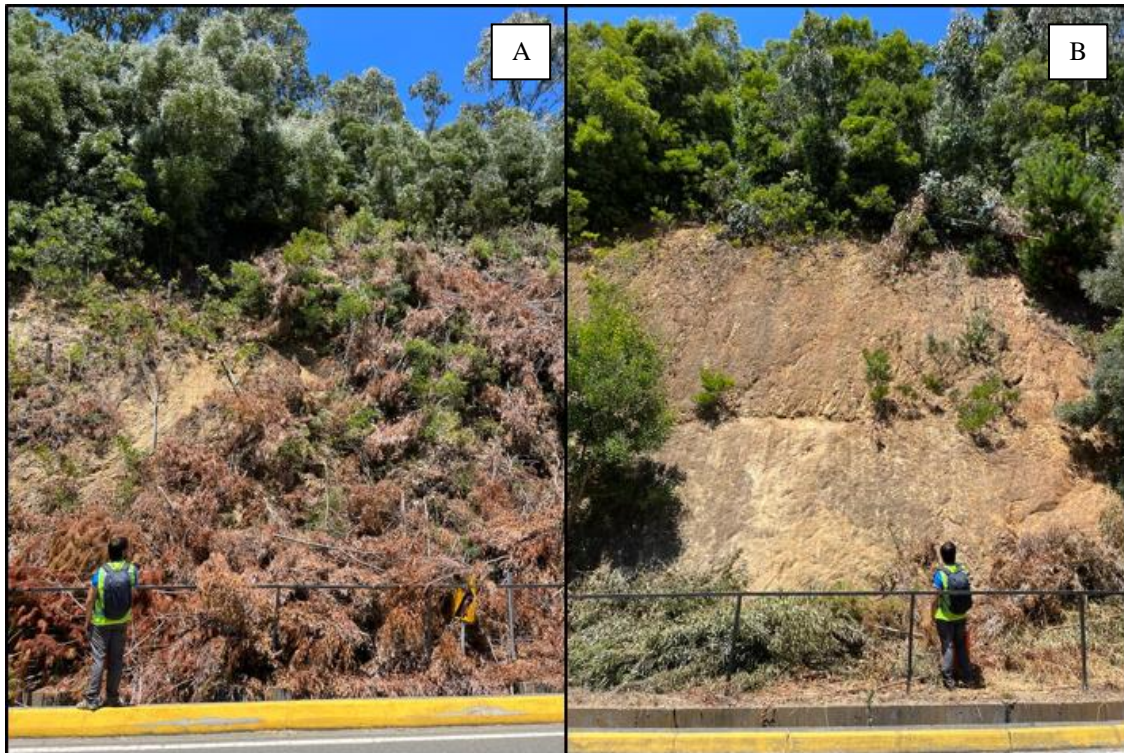
Debido a que el área corresponde a una zona forestal, los pobladores de la caleta realizan la extracción de leña en algunos sectores. Junto con las lluvias y la actividad humana se han erosionado senderos que sirven como conexión entre el acceso principal a la caleta y el camino forestal que se ubica en la parte superior del talud. Los taludes 8, 9 y 10 son los más afectados por la actividad humana.

Otra contribución significativa a los movimientos en masa son las vibraciones inducidas al terreno de parte del tráfico vehicular. La ruta de acceso a Caleta Tumbes es transitada de manera constante por vehículos menores y microbuses, así como en menor medida por camiones. Todos los taludes del área de estudio se encuentran expuestos a este factor, con poca variación entre ellos.

En el Talud 8 se observa la formación de un sendero que los pobladores utilizan como conexión para la extracción de leña (Figura 15), puesto que, junto a este talud y en el Talud 9 se realiza la tala de árboles (Figura 16).

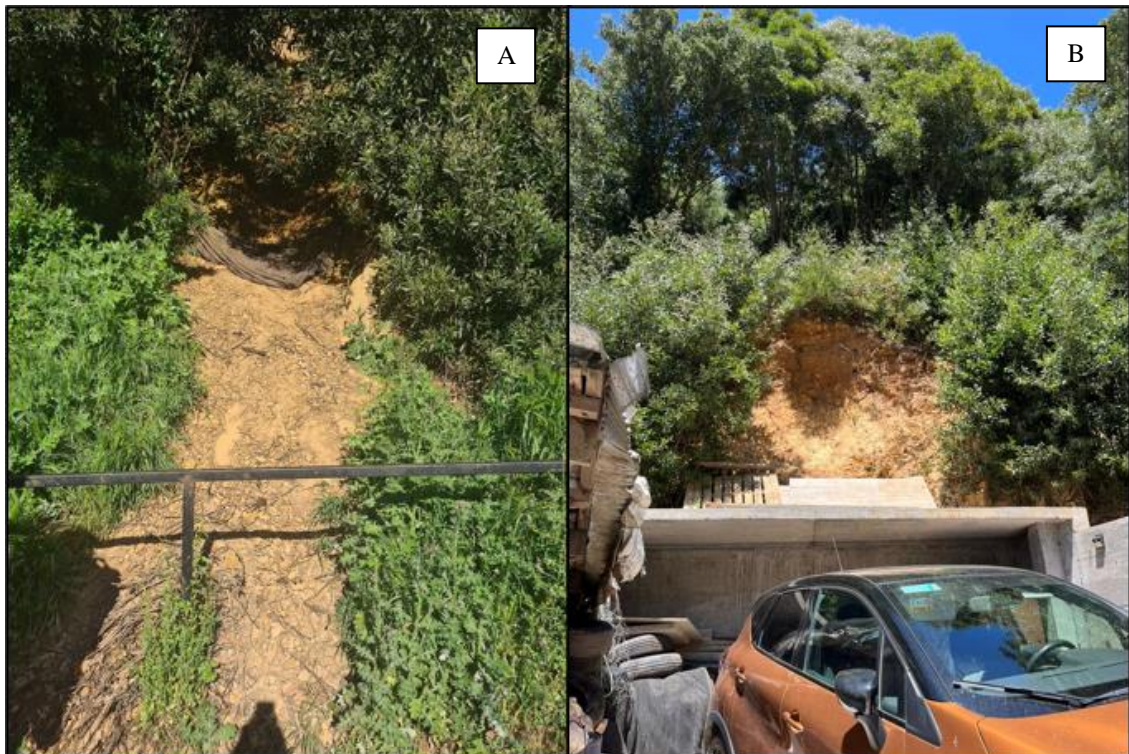


**Figura 15:** A) Sendero de conexión desde el acceso principal de la caleta hacia el camino forestal. B) Sendero de conexión en la parte superior del talud. Elaboración propia (2022).



**Figura 16:** A) Tala de árboles junto al Talud 8. B) Tala de árboles en Talud 9. Elaboración propia (2022).

Como se menciona anteriormente, el Talud 10 posee una malla instalada por parte de los pobladores para evitar el avance de material a la carretera. Junto a este talud se encuentra la construcción de una vivienda. (Figura 17).



**Figura 17:** A) Malla instalada por pobladores. B) Vivienda junto al Talud 10. Elaboración propia (2022).

Conforme al nivel de intervención antrópica, se proponen los pesos relativos expuestos en la Tabla 16. De tal manera, los taludes del área de estudio quedan clasificados con los pesos relativos según se muestra en la Tabla 17.

**Tabla 16:** Peso relativo según factor antrópico. Elaboración propia.

| Factor Antrópico                                    | Peso Relativo |
|---|---------------|
| Tala de árboles de excesiva y formación de senderos | 3             |
| Tala de árboles moderada                            | 2             |
| Escasa actividad                                    | 1             |

**Tabla 17:** Peso relativo para cada talud según intervención antrópica. Elaboración propia.

| Talud | Peso relativo |
|-------|---------------|
| 1     | 1             |
| 2     | 1             |
| 3     | 1             |
| 4     | 1             |
| 5     | 2             |
| 6     | 1             |
| 7     | 1             |
| 8     | 3             |
| 9     | 3             |
| 10    | 3             |

### 4.3 Proceso de análisis jerárquico multivariado

Una vez definido cada factor se construye la matriz de decisión (Tabla 19), comparando cada variable según su grado de importancia. Se considera las precipitaciones como la variable de mayor importancia puesto que es el factor que mayormente afecta a la zona, siendo un peligro alto en todos los taludes. En segundo lugar, se encuentran las pendientes debido a que los indicios de movimiento en masa en el área son, en su mayoría, en pendientes sobre los 15°. Luego sigue la litología ya que los taludes están formados por rocas pertenecientes al Formación Curanilahue, con un alto grado de meteorización, y al Basamento Metamórfico, con grado de meteorización moderado. La vegetación tiene una importancia menor dado que el área presenta mayormente una vegetación abundante y escasa en algunos puntos. Finalmente se encuentra la orientación seguida del factor antrópico, puesto que sus efectos son menores en comparación con las variables anteriores.

**Tabla 19:** Matriz de decisión. Elaboración propia (2022).

| Variables              | Precipitaciones | Pendiente | Litología | Vegetación | Orientación | Antrópico |
|------------------------|-----------------|-----------|-----------|------------|-------------|-----------|
| <b>Precipitaciones</b> | 1,00            | 2,00      | 3,00      | 3,00       | 4,00        | 5,00      |
| <b>Pendiente</b>       | 0,50            | 1,00      | 2,00      | 3,00       | 4,00        | 5,00      |
| <b>Litología</b>       | 0,33            | 0,50      | 1,00      | 2,00       | 3,00        | 4,00      |
| <b>Vegetación</b>      | 0,33            | 0,33      | 0,50      | 1,00       | 2,00        | 4,00      |
| <b>Orientación</b>     | 0,25            | 0,25      | 0,33      | 0,50       | 1,00        | 2,00      |
| <b>Antrópico</b>       | 0,20            | 0,20      | 0,25      | 0,25       | 0,50        | 1,00      |

En base a los resultados de la matriz de decisión se obtienen los resultados de valor propio para factor (Tabla 20), donde se observa que las precipitaciones obtienen un 35% de importancia sobre las demás variables, la pendiente obtiene un 26%, litología un 17%, vegetación un 11%, orientación un 7% y finalmente el factor antrópico un 4%.

**Tabla 20:** Valores propios y pesos obtenidos. Elaboración propia (2022).

| Variab <span>l</span> es | Valor propio (Wi) | Valor propio normalizado (Ci) | Peso parcial (Pi) | Valorización relativa (λi) |
|--------------------------|-------------------|-------------------------------|-------------------|----------------------------|
| Precipitaciones          | 2,67              | 0,35                          | 2,62              | 0,91                       |
| Pendiente                | 1,98              | 0,26                          | 4,28              | 1,11                       |
| Litología                | 1,26              | 0,17                          | 7,08              | 1,17                       |
| Vegetación               | 0,87              | 0,11                          | 9,75              | 1,12                       |
| Orientación              | 0,52              | 0,07                          | 14,50             | 1,00                       |
| Antrópico                | 0,33              | 0,04                          | 21,00             | 0,90                       |
| Σn                       | 7,63              |                               |                   | 6,21                       |

Obtenidos los valores propios de cada factor se comprueba que la matriz sea consistente, presentando una relación de consistencia (Cr) menor a 0,10 (Tabla 21).

**Tabla 21:** Valores de consistencia. Elaboración propia (2022).

|  |         |
|--|---------|
| Índice de consistencia (Ci)            | 0,04199 |
| Índice de consistencia aleatorio (Rci) | 1,32    |
| Relación de consistencia (CR)          | 0,03181 |

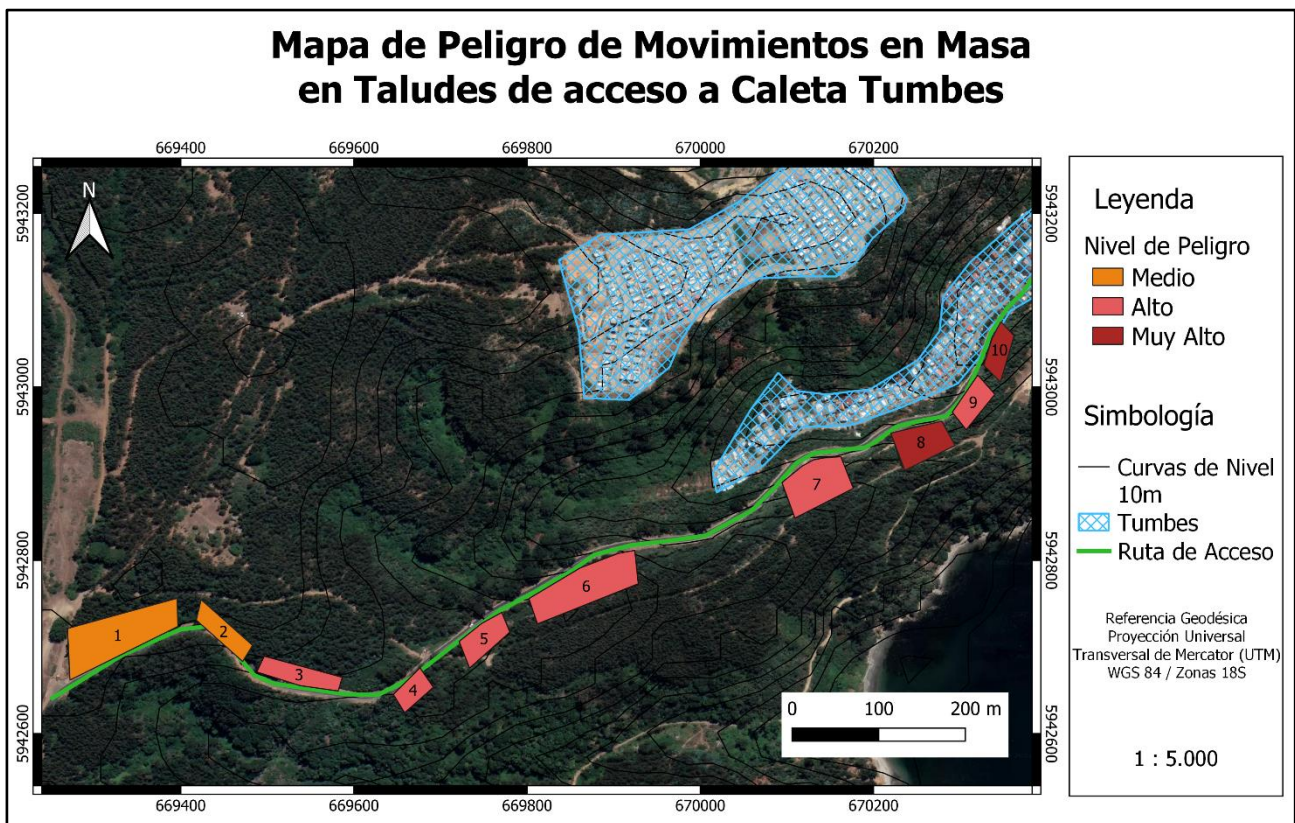
Con los valores de consistencia obtenidos y considerando los pesos relativos para cada factor, se obtiene el valor de la peligrosidad (Y) de movimientos en masa para cada talud (Tabla 22).

$$Y = (\text{Precipitaciones} * 0,35 + \text{Pendientes} * 0,26 + \text{Litología} * 0,17 + \text{Vegetación} * 0,11 + \text{Orientación} * 0,07 + \text{Antrópico} * 0,04)$$

**Tabla 22:** Valor de peligrosidad (Y) para cada talud. Elaboración propia.

| Talud | Y    | Nivel de Peligro |
|-------|------|------------------|
| 1     | 1,98 | Medio            |
| 2     | 1,98 | Medio            |
| 3     | 2,35 | Alto             |
| 4     | 2,29 | Alto             |
| 5     | 2,33 | Alto             |
| 6     | 2,44 | Alto             |
| 7     | 2,44 | Alto             |
| 8     | 2,52 | Muy Alto         |
| 9     | 2,09 | Alto             |
| 10    | 2,52 | Muy Alto         |

Finalmente, con los datos de la Tabla 22 se obtiene el mapa de peligro de movimientos en masa para los taludes de acceso a Caleta Tumbes (Figura 18). En base a los resultados obtenidos se observa que los taludes 1 y 2 poseen un peligro medio de movimiento en masa, los taludes 3, 4, 5, 6, 7 y 9 poseen un peligro alto de movimiento en masa y finalmente los taludes 8 y 10 poseen un peligro muy alto de movimiento en masa



**Figura 18:** Mapa de peligro de movimientos en masa en los taludes de acceso a Caleta Tumbes. Elaboración propia.

## 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Los factores condicionantes que generan una mayor susceptibilidad a los movimientos en masa a lo largo de la ruta en la zona de estudio son la litología, pendiente, orientación y vegetación. Los taludes con peligro alto y muy alto corresponden a zonas formadas por rocas con avanzado nivel de meteorización y fracturamiento, pendientes superiores a los 15° y cuya orientación las deja expuestas a la erosión.

Los factores desencadenantes del movimiento son las precipitaciones y la intervención humana. Puesto que el área posee una estación invernal con lluvias muy intensas, concentrado en los meses de mayo a agosto, sumando a antecedentes históricos de movimientos en masa que se tienen en la comuna en esos meses, se considera que las precipitaciones son el factor detonante más importante. El segundo factor detonante importante es la intervención del hombre, primero por medio de la construcción de la ruta, que requirió el corte de los taludes, y luego con el tránsito de vehículos que genera vibraciones continuas al terreno; se suma a esto la tala de árboles con el propósito de la obtención de leña, actividad que desprovee de cobertura vegetal a los taludes y laderas.

El peligro de remoción en masa en el área de estudio es evidente, y debido a que es el único acceso hacia a localidad de Caleta Tumbes y la única vía de evacuación en caso de tsunamis, se hace necesarios salvaguardar la integridad de esta ruta. Sin ir más lejos, el camino peatonal se encuentra obstruido en varios puntos, obligando a los peatones a usar la calzada vehicular. Si bien las precipitaciones son la causa de la mayoría de los movimientos en el sector, en la región se tiene registro de movimientos en masa debido a sismos, y si esto llegase a ocurrir a causa de un terremoto, podría obstruir este acceso.

Es importante notar que este estudio es una primera aproximación a este problema, permitiendo identificar los puntos que requieren más atención. Debido a que gran parte de los taludes han sido catalogados como de peligro alto o mayor, es importante implementar medidas para la realización de un monitoreo constante del movimiento en masa en el área. Se recomienda la realización de estudios geotécnicos y geofísicos en cada

punto para conocer de mejor manera el comportamiento del terreno. En el caso de los taludes con peligro muy alto, urge el estudio, diseño y construcción de medidas estructurales de contención. En todo el sector se debe mejorar la canalización de aguas proveniente desde la parte superior de los taludes, puesto que estas bajan por el sendero de conexión forestal. También es necesario implementar medidas para el control de la erosión de los taludes. Es recomendable realizar un estudio de medición y efecto de la vibración vehicular, especialmente de camiones y microbuses, puesto que es un área transitada de forma constante. Por último, nunca ha olvidarse el imperante deber de educar a la población sobre el peligro de movimientos en masa, tanto su naturaleza propia como la implicancia de la actividad humana en su desencadenamiento y la manera de actuar ante la ocurrencia de uno, pues reduciendo la exposición, se disminuye la probabilidad de tener que lamentar pérdidas humanas.

## 6. REFERENCIAS

- Arias, C., King, R., Montenegro, J.** (2018). “Modelo conceptual del movimiento en masa del talud ubicado en PK 28+400, ruta 160, comuna de Lota”. Tesis pregrado, Universidad Católica de la Santísima Concepción. Departamento de Ingeniería Civil. Concepción, Chile.
- Biblioteca del Congreso Nacional de Chile** (2017). “Clima y vegetación Región del Bio Bío, Chile Nuestro País”. Recuperado de: <https://www.bcn.cl/siit/nuestropais/region8/clima.htm>
- Centro Sismológico Nacional (CSN)** (2022). “Registro de eventos significativos”. Recuperado de: <http://evtdb.csn.uchile.cl/>
- Cruden, D.** (1991). “A Simple definition of landslides”. *Bulletin of the International Association of Engineering Geology*, v 43, p. 27-29.
- Cruden, D; Varnes, D.** (1996). “Landslides types and processes”. En *Landslides. Investigation and Mitigation* (Turner, A.K.; Schuster, R.L.; editores). Transportation Research Board, National Research Council. p. 36-75. Washington.
- Falcón, M., Ramírez, P., Arenas, M., Creixell, C., Huerta, S., Marín, M.** (2010). “Evaluación preliminar de peligros geológicos: Área de Concepción-Talcahuano-Hualpén-Chiguayante”. Servicio Nacional de Geología y Minería, Mapa 12-1: Peligro de Remoción en Masa escala 1: 25.000.
- González de Vallejo, L., Ferrer, M., Ortuño, L., Oteo, C.** (2004). “Ingeniería Geológica”. Pearson Prentice Hall. 715 p.
- GUCA.** (2022). “Guía técnica, Copa glorias navales Tumbes 2022, Clase XCO – Talcahuano”.
- Gutenberg, B.; Richter, C. F.** (1944). “Frequency of earthquakes in California”. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 34(4), 185-188.
- Hyndman, D.; Hyndman, D.** (2011). “*Natural hazards and Disasters, Third Edition*”. Brooks-Cole Cengage Learning. Canada.
- Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA)** (2023). “Red agrometeorológica de INIA”. Recuperado de: <https://agrometeorologia.cl/>
- Instituto Nacional de Estadísticas (INE)** (2019). “Ciudades, pueblos, aldeas y caseríos 2019”. Marzo 2019.
- Mardones, M.** (1979). “El sitio geomorfológico de las ciudades de Concepción y Talcahuano”. Universidad de Concepción, Instituto de Antropología, Historia y Geografía. Concepción, Chile.
- Mardones, M., Rodríguez, A., Soto, J.** (1994). “Los riesgos naturales en la Comuna de Talcahuano”. VII Congreso Geológico Chileno. Vol. 1, p. 653-656. Concepción.
- Mardones, M., Echeverría, F., & Jara, C.** (2004). “Una contribución al estudio de los desastres naturales en Chile Centro Sur: efectos ambientales de las precipitaciones del 26 de junio del 2005 en el área Metropolitana de Concepción”. *Investigaciones Geográficas*, (38), Pág. 1–24
- Mendoza, J.** (2001). “Mapa geológico de la VIII Región costera entre Coliumo y Los Alamos”. Memoria de título, Universidad de Concepción, Departamento de Ciencias de la Tierra. Concepción, Chile.



- Naranjo, J.; Arenas, M.; Ramírez, P.** (2006). “Remociones en masa causadas por las precipitaciones de los días 9 al 11 de Julio de 2006, en algunos sectores de la provincia de Concepción”. Informe Inédito, Servicio Nacional de Geología y Minería, 18 p.
- Pradenas, M.** (2014). “Umbral empírico de deslizamiento por precipitación, para la provincia de Concepción”. Proyecto de título, Universidad del Bio-Bío, Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental. Concepción.
- Quezada, J., Cecioni, A., Esterio, H., & Pineda, V.** (1997). “Geología urbana de Talcahuano”. En *Actas del VIII Congreso Geológico Chileno* (pp. 785-789).
- Saaty, T.** (1980). “*The Analytic hierarcky Pocess*”. Ed. McGrawhill.
- Sáez, P.** (2013). “Nuevo método propuesto para la estimación del peligro sísmico, en términos de la magnitud máxima, para las zonas de subducción”. Universidad de Concepción, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Departamento de Geofísica. Concepción, Chile.
- Sepúlveda, S.** (1998). “Metodología para Evaluar el Peligro de Flujos de Detritos en Ambientes Montañosos: Aplicación en la Quebrada Lo Cañas, Región Metropolitana”. Memoria para optar al Título de Geólogo, Departamento de Geología, Universidad de Chile.
- Sepúlveda, S.; Lara, M.** (2008). “Remociones en masa. Apuntes curso Remociones en masa”. Departamento de Geología, Universidad de Chile.
- SERNAGEOMIN.** (2003). “Mapa Geológico de Chile: versión digital”. Servicio Nacional de Geología y Minería, Publicación Geológica Digital, No. 4 (CD-ROM, versión 1.0, 2003). Santiago.
- Varnes, D.J.** (1978). “Slope movement types and processes”. In *Landslides, Analysis and Control*, Special Report N°176. Schuster, R.L., Krizek, R.J., edits. Transportation Research Board, National Academy of Sciences, Washington D.C., p.11-33.