



Universidad de Concepción
Facultad de Arquitectura Urbanismo y Geografía.
Departamento de Geografía.

**SUSCEPTIBILIDAD POR REMOCIÓN EN MASA Y ANÁLISIS DE
VULNERABILIDAD POR EXPOSICIÓN DE LA POBLACIÓN, EN
LAS COMUNAS DE PENCO Y TOMÉ.**

Memoria de título

Para Optar al Título de Geógrafo

Diego Robledo Acuña

Profesora guía: Dra. Edilia Jaque Castillo

Ciudad Universitaria, Concepción, 6 de enero de 2023

Índice

Resumen.....	1
1. Introducción	3
2. Problema de investigación	5
3. Preguntas de investigación	9
4. Hipótesis.....	9
5. Objetivos	10
5.1 Objetivo General	10
5.2 Objetivos Específicos.....	10
6. Marco teórico.....	11
6.1 Riesgo de desastre	11
6.2 Amenaza o Peligrosidad	13
6.3 Análisis de Vulnerabilidad por exposición	14
6.4 Procesos de remoción en masa (PRM)	20
6.5 Modelo de susceptibilidad (Modelo de Mora & Vahrson)	38
7. Metodología.....	39
7.1 Área de estudio	39
7.2 Metodología de recolección de datos.....	46
7.3 Análisis de susceptibilidad frente a proceso de remoción en masa	48
7.4 Análisis de vulnerabilidad por exposición de la población ante remociones en masa.....	51
7.5 Desarrollo de aplicación móvil para la toma de datos y reporte de remociones en masa en terreno.	51
8. Resultados.....	53
8.1 Inventario de remoción en masa basado en reportes de prensa 1990 -2020.....	53
8.2 Eventos de remoción en masa según reportes de prensa y SERNAGEOMIN.	58
8.3 Susceptibilidad de remociones en masa en las comunas de Penco y Tomé	60
8.4 Mapa de susceptibilidad general en las comunas de Penco y Tomé.....	76
8.5 Evaluación de la vulnerabilidad por exposición de la población ante eventos de remoción en masa en las comunas de Penco y Tomé.....	82
8.6 Aplicación móvil para la toma de datos en terreno.....	86
9. Conclusiones y discusión.....	87
10. BIBLIOGRAFÍA.....	94
11. ANEXO	99
A. Anexo N°1: Tabla .Matriz Variables Amenaza de Remoción en Masa	99

11.1	Anexo N°2: Plantilla Excel. Aplicación móvil para la toma de datos en terreno.....	99
B.	Anexo N°3: Variables reclasificadas	100





Esta memoria de título se realizó en el marco del Grupo de estudio Multiamenazas, Vulnerabilidades y Cambio Global.

*Como parte de proyecto VRID 202100034MUL **Análisis de multiamenazas en contextos metropolitanos costeros: aportes para la construcción de resiliencia en escenarios de cambio climático.***

Resumen

Las localidades costeras que se encuentran en el Área Metropolitana de Concepción (AMC) han experimentado una creciente expansión urbana hacia zonas periféricas a lo largo de su historia, como consecuencia de procesos históricos, físicos, sociales y económicos. En las comunas de Penco y Tomé, estas zonas periféricas se encuentran emplazadas sobre cordones montañosos pertenecientes a la cordillera de la costa. Las características presentes en estas zonas, representan condiciones proclives para la generación de procesos de remociones en masa (PRM), lo cual representa un peligro latente para la población expuesta a este tipo de fenómenos.

Este estudio se realiza bajo un enfoque integral, considerando la interacción de los componentes naturales y sociales presentes en el espacio geográfico. Para esto se realiza una evaluación de la susceptibilidad de remociones en masa mediante la aplicación de la metodología de Mora-Vahrson, considerando factores condicionantes. Generando un mapa final de susceptibilidad, complementado con los registros recopilados en un inventario multitemporal de PRM actualizado realizado mediante la revisión de prensa entre los años 1990-2020, trabajo de terreno y desarrollo de aplicación móvil. Para la evaluación de la vulnerabilidad por exposición de la población se aplica una técnica de superposición de capas, utilizando las capas espaciales de microdatos censales 2017 (INE, 2017) y el mapa de susceptibilidad generado previamente.

A partir de esto se puede determinar que, en la comuna de Penco, un 58% del área de estudio posee como mínimo un nivel de susceptibilidad "Media". En la comuna de Tomé, un 63% del área de estudio se encuentra en niveles de susceptibilidad "Media - Alta". Con respecto a la población expuesta a este fenómeno. En la comuna de Penco, el 45% de la población presenta un nivel medio de exposición frente a PRM. En la comuna de Tomé, el 53% de la población presenta un nivel medio de exposición frente a PRM. También se reconocen y describen tres escenarios potenciales de riesgo en las comunas de Penco y Tomé.

Palabras claves: Remociones en masa, susceptibilidad, exposición, población



1. Introducción

Chile tiene una vasta experiencia en desastres de origen natural debido a la configuración geográfica del país y localización sobre una zona activa donde se produce aproximadamente el 85% de la actividad sísmica y volcánica Mundial, denominada “Cinturón de Fuego del Pacífico”, donde también está presente una variabilidad climática longitudinal y latitudinal. Esto tiene directa implicancia en la generación de escenarios complejos y dinámicos (Camus, Arenas, Lagos, & Romero, 2016). También en esta zona ocurren una variedad de procesos geomorfológicos y geológicos. Debido a la influencia de un margen de subducción activo. Chile tiene un alto y variado nivel de amenazas de origen natural. (Cecioni & Pineda 2010; Ibarra et al., 2016). Citado en (CIREN)

Se entiende como fenómenos naturales, a toda manifestación de la naturaleza. Esta manifestación es el resultado de las dinámicas internas, superficiales y atmosféricas de la tierra. Es importante clasificar estos fenómenos naturales según su regularidad y magnitud (Romero & Maskrey, 1993). Existen fenómenos ordinarios de baja magnitud como las lloviznas de invierno, granizos, erosión, etc. Pero también existen fenómenos extraordinarios de una magnitud considerable como por ejemplo terremotos, tsunamis, tornados, crecidas de ríos, deslizamientos de tierra, etc.

Lo preocupante de estos fenómenos naturales es el carácter inmediato en el cual se manifiestan las consecuencias en el territorio. Estas consecuencias poseen una estrecha relación con las condiciones de vulnerabilidad (física, social, económica y ambiental) previas a la ocurrencia de un evento (CEPAL, 2014). Dicha relación es clave para determinar si un fenómeno natural es capaz de desencadenar un desastre en un lugar determinado. Por lo tanto, es importante comprender el contexto en el cual estos eventos ocurren, donde aspectos tales como, las vulnerabilidades físicas, sociales, políticas, institucionales, económicas, etc. son determinantes para la creación de escenarios de riesgo, pues estos factores definen las formas y condiciones en las que la población hace frente a un fenómeno natural. Por tanto, el daño o consecuencia “no solo se debe a la severidad del fenómeno

natural, sino también a la fragilidad o vulnerabilidad de los elementos expuestos...” (Cardona, 2002).

El explosivo crecimiento de barrios marginales en ciudades latinoamericanas, particularmente en terrenos propensos a amenazas naturales, está acompañado de un escenario recurrente; presencia de construcciones con una infraestructura precaria, la incapacidad política y económica de los estados por velar por el bienestar y seguridad de su población. Todos aquellos factores conducen a que exista una concentración de la vulnerabilidad. (Maskrey, 1997)

En ese sentido los procesos de remoción en masa representan un peligro latente para población, como el resultado de la acción de procesos geodinámicos y también de procesos socioeconómicos. Los procesos de remoción en masa (PRM) se comprenden como “Procesos de movilización lenta o rápida de determinado volumen de suelo, roca, o ambos en diversas proporciones, generados por una serie de factores” (Hauser, 2000). Estos factores pueden ser naturales, por ejemplo, las precipitaciones, los cambios en el nivel del agua, la erosión de las corrientes, los terremotos y la actividad volcánica. Pero también encontramos factores condicionantes de carácter antrópico tales como la intervención de laderas, deforestación, construcción de carreteras y estructuras sin una graduación adecuada de las pendientes. (OCHA, 2020).

En el escenario regional, Desde el año 2000, En Latinoamérica se registraron 66 eventos de deslizamientos de tierra que causaron casi 3.000 muertes (OCHA, 2020). Según datos de SERNAGEOMIN (2021), en Chile, entre los años 1928 y 2020 se han registrado 68 eventos de remociones en masa, distribuidos espacialmente a lo largo de Chile. Dichos eventos dejaron un saldo de al menos 1.010 víctimas fatales, de las cuales corresponden a 854 fallecidos y 156 desaparecidos en 92 años. Las remociones en masa de tipo flujos, son los principales causantes de las muertes, esto se debe a sus características físicas causando un mayor impacto y alcance en la población, principalmente gatillados por lluvias intensas y sismos.

A pesar de que no haya unas pruebas científicas en concreto con respecto a la relación entre la frecuencia y magnitud de eventos de desastre y el cambio climático. Es un hecho que el calentamiento global perturba las variaciones climáticas globales (CEPAL, s.f.), tales como el aumento de la temperatura media global, aumento en el riesgo de sequías, y aumento de temperaturas oceánicas que pueden dar paso a un aumento de la frecuencia e intensidad de las tormentas (Banco Interamericano de Desarrollo, 2014). Con respecto a esto, es importante comprender el impacto de la intensificación de fenómenos climáticos en la ocurrencia de eventos de desastre, como es el caso de proceso de remoción en masa y su estrecha relación con la precipitación. Teniendo en cuenta que la precipitación es uno de los principales factores detonantes de procesos de remociones en masa (Ramos, Trujillo- Vela, & Prada, 2015)

2. Problema de investigación

Las comunas de Penco y Tomé, presentan fuertes dinámicas de expansión y densificación urbana sobre sus cerros (Figuras 1 y 2), como consecuencia de una serie de procesos socioespaciales, que se traducen en un cambio en la morfología urbana de las comunas. Reconociendo un acelerado crecimiento urbano hacia las periferias, debido a la incapacidad de albergar a más población sobre zonas seguras y/o aptas para habitar. Como consecuencia de esto, se comienza a urbanizar sobre zonas de laderas pronunciadas sin ningún tipo de control y planificación pasando por alto factores de riesgo natural, además de aspectos de morfología, espacio público y diseño urbano. (López & López, 2004). Dando paso a la generación de escenarios de riesgo y de peligros latentes ante eventos de remoción en masa para la población que habitan en estas zonas.

Comprendiendo los diversos planos que confluyen y que determinan los efectos/consecuencias de estos eventos, es necesario abordar esta temática desde una perspectiva integral. Por tanto, la siguiente investigación constará de una: caracterización simple de eventos de remociones en masa (RM) reportados en

notas de prensa local por medio de la creación de un inventario multitemporal, identificación de patrones de ocurrencia y factores/variables determinantes y condicionantes, reconocimiento de zonas de mediana y alta susceptibilidad de remoción en masa y la determinación del grado de vulnerabilidad por exposición de la población en las comunas de Penco y Tomé frente a procesos de remociones en masa.

Figura N°1: Imágenes comparativa de urbanización en Tomé. Calle Enrique Molina con Ignacio Carrera Pinto. Google Earth



Se hace énfasis en la observación diferenciada de los eventos ocurridos en las comunas, dado que hay que tener en consideración que la vulnerabilidad no se distribuye de manera uniforme en una región o comunidad. Los factores sociales, ambientales y económicos desempeñan un papel clave en la distribución de los desastres naturales (Banco Interamericano de Desarrollo, 2014). Para sostener esta idea de la distribución del desastre, Maskrey (1997) afirma que “el impacto de los desastres es mayor en los países con niveles menores de desarrollo y dentro de estos países tiende a concentrarse en los sectores sociales con menor capacidad económica.”

Es importante poder identificar los sectores de las comunas de Penco y Tomé que se presenten niveles de mediana y alta susceptibilidad de remociones en masa y comprender el contexto en el cual estos eventos ocurren y las variables que actúan. Por tanto, es imprescindible conocer las condiciones del terreno en las que se

encuentran emplazadas las poblaciones de las comunas. Teniendo presente la geomorfología, geología, cobertura vegetal, uso de suelo de los lugares. También es imperante identificar sectores críticos y reconocer ciertos patrones que tengan implicancia en la generación de PRM y consecuencia de estos mismos.

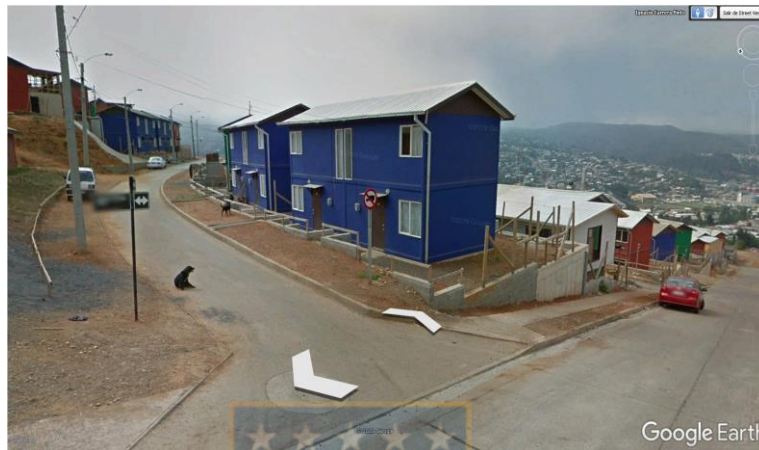


Figura N°2: Calle Ignacio Molina, 2022. Google Street Map

También es importante contextualizar la situación que viven las comunas de Penco y Tomé en épocas de verano, donde son víctimas de una seguidilla de incendios forestales de origen antrópico, siendo perjudicial las grandes extensiones de monocultivo forestal presentes a los alrededores de las comunas. Rememorando los grandes incendios forestales que azotaron la zona en los años 2017, 2020 y 2022. Esto tiene un directo impacto en el deterioro del medio natural, afectando principalmente en la disminución de la cobertura vegetal en zonas críticas (laderas).

La implementación de medidas de emergencia, como lo son los cortafuegos para prevenir y frenar el avance del fuego hacia zonas pobladas, presentan una efectividad para el control de un incendio forestal, pero al mismo tiempo generan un efecto secundario. El retiro de la cobertura vegetal y denudación del suelo, generan condiciones proclives para un evento de remoción en masa, principalmente en épocas de invierno.

Es primordial tener en consideración este tipo de situaciones, teniendo en cuenta que estas medidas de emergencias van en resguardo de una población, pero que al mismo tiempo generan una nueva condición de amenaza. Esto se puede evidenciar en la comuna de Penco, que a principios del verano del año 2020, se concretó la creación de 1km de cortafuegos con el fin de proteger viviendas (Diario Concepción, 2020). En la figura N°3, se puede ver el resultado de la medida y el estado en cual quedo la superficie. Esta imagen es fundamental para la representación de esta situación; extracción de la cobertura vegetal, suelos descubiertos, material gravilloso (maicillo), cercanía de las viviendas, la materialidad de las viviendas, etc. Todos estos elementos tienen un rol relevante, debido a la implicancia que tienen en la generación de este tipo de eventos. Y también en la determinación de la magnitud de las consecuencias de estos.

Figura N°3: Obras. Cortafuegos en Penco



Fotografía: MOP extraída de Diario Concepción

3. Preguntas de investigación

Las preguntas que orientan esta investigación son:

- a) ¿Cuáles son los sectores críticos frente a procesos de remociones en masa en las comunas de Penco y Tomé?
- b) ¿Existen condiciones observables o patrones geográficos en las zonas identificadas en el modelo de susceptibilidad?
- c) ¿Qué tan expuesta está la población de Penco y Tomé, frente a remociones en masa?



4. Hipótesis

- El inventario multitemporal de procesos de remoción en masa, mejoraría las herramientas para la gestión del riesgo de desastre y la toma de decisiones en las comunas de Penco y Tomé.
- Existirían patrones identificables (características socio-naturales) presentes en zonas susceptibles, que significarían un precedente para la generación de escenarios potenciales de riesgo y contribución en la construcción social del riesgo en las comunas de Penco y Tomé.

5. Objetivos

5.1 Objetivo General

- Analizar la susceptibilidad por remoción en masa en las comunas de Penco y Tomé y la población expuesta a este fenómeno.

5.2 Objetivos Específicos

- a) Elaborar un inventario multitemporal (1990 -2020) de remociones en masa (RM) basado en la prensa local
- b) Determinar la susceptibilidad por remoción en masa en las comunas de Penco y Tomé.
- c) Zonificar la vulnerabilidad por exposición, de la población, frente a procesos de remociones en masa en las comunas de Penco y Tomé.
- d) Desarrollo de aplicación móvil para la toma de datos y reporte de remociones en masa en terreno.



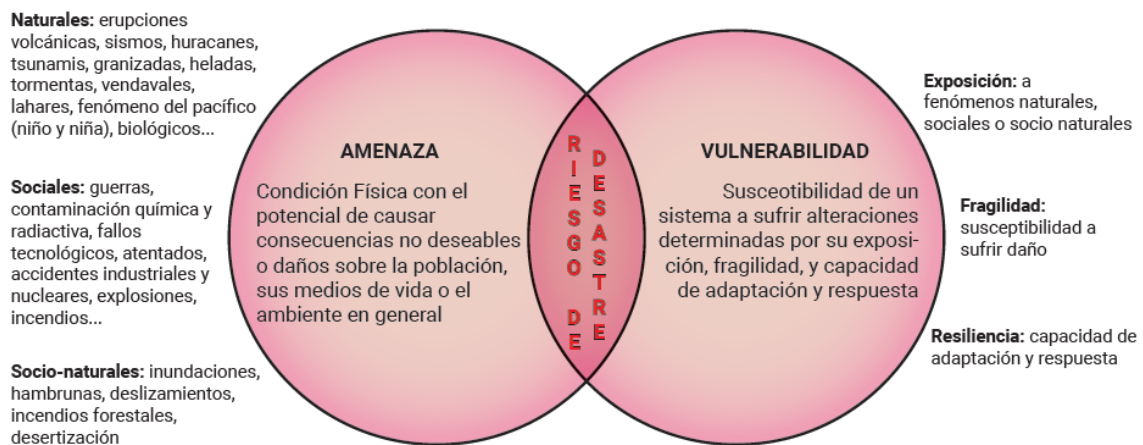
6. Marco teórico

Para el estudio relacionado a los riesgos asociados a procesos de remoción en masa es importante mencionar y describir los conceptos que estarán presentes en esta investigación. El riesgo generado por procesos de remoción en masa comprende de variadas relaciones e interacciones de carácter físico, como de igual manera están presentes relaciones de carácter social-económico. Este último tiene un rol fundamental y trascendental en la creación de escenarios de riesgo, en donde la existe la posibilidad de que este se manifieste de manera diferencial en el territorio.

6.1 Riesgo de desastre

Lavell (2004), define el riesgo como la probabilidad de pérdidas y daños en un futuro, estas consecuencias pueden ser de carácter físico, social, económico y cultural. Marcada por la existencia de una **amenaza** (naturales, socio naturales y antrópica), **vulnerabilidad** y **exposición** al daño.

Figura N°4: Muestra cómo el riesgo de desastre se da entre la Interacción de las dimensiones, amenaza y vulnerabilidad



Fuente: (Vera & Albarracín, 2017)

Olcina (2006) citado en Rojas & Martínez (2011), define al riesgo natural como la “posibilidad de que un territorio y la sociedad que lo habita pueda verse afectado por un fenómeno natural de rango extraordinario”. Ante esto Rojas & Martínez (2011) establece que el riesgo natural es “la probabilidad de que en un espacio ocurra un peligro determinado de origen natural, y que pueda generar potenciales daños y pérdidas en las actividades humanas”

Para Wilches-Chaux (1993), el riesgo se comprende como “cualquier fenómeno de origen natural o humano que signifique un cambio en el medio ambiente que ocupa una comunidad determinada, que sea vulnerable a ese fenómeno.”

La evaluación del riesgo se puede formular de la siguiente manera (León Aristizábal & Pérez Betancourt, 2018):


$$\text{Riesgo total (Rt)} = \text{Exposición (E)} * \text{Riesgo específico (Rs)} = \text{Amenaza (H)} * \text{Exposición (E)} * \text{Vulnerabilidad (V)}$$

Riesgo total (Rt) se entiende como “el número de pérdidas humanas, heridos, daños a las propiedades y afectaciones sobre la actividad económica debido a la ocurrencia de un desastre u evento, es decir el producto del riesgo específico (Rs) y los elementos expuestos (E)”. (León Aristizábal & Pérez Betancourt, 2018)

Riesgo específico (Rs) se define como “el grado de pérdidas esperadas debido a la ocurrencia de un suceso particular y como una función de la amenaza y la Vulnerabilidad.” (León Aristizábal & Pérez Betancourt, 2018)

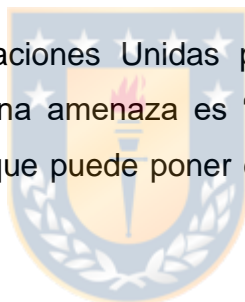
Tabla N°1: Enfoques del riesgo

	Enfoque naturaleza	Enfoque social	Enfoque territorial
Riesgo	Umbral de la dinámica natural de carácter extraordinario rebasado por el hombre en el desarrollo de sus actividades	Grado de aceptación de la peligrosidad natural por un grupo humano	Plasmación territorial de una actuación humana poco acorde con los rasgos extremos de medio donde tiene lugar.
Catástrofe	Efectos en una sociedad de un episodio natural de rango extraordinario.		
Desastre	Grado superior de una catástrofe que obliga a la puesta en marcha de ayuda externa al territorio afectado.		

Fuente: Ayala-Carcedo & Olcina (2006). Extraído de Rojas & Martínez (2011)

6.2 Amenaza o Peligrosidad

Según la Oficina de las Naciones Unidas para la Reducción del Riesgo de Desastres, UNIDR (2004), una amenaza es “un fenómeno o proceso natural o causado por el ser humano que puede poner en peligro a un grupo de personas, sus cosas y su ambiente”



La CEPAL (2014) en el Manual para la Evaluación de Desastres, define a una amenaza como “Un fenómeno, sustancia, actividad humana o condición peligrosa que pueden ocasionar la muerte, lesiones u otros impactos a la salud, al igual que daños a la propiedad, la pérdida de medios de sustento y de servicios, trastornos sociales y económicos, o daños ambientales.”

En Rojas & Martínez (2011), se hace la distinción entre de los conceptos “fenómeno natural” y “peligro natural” que en muchas ocasiones es confundido. Para comprender la diferencia se menciona lo siguiente: “Los granizos, erupciones de volcanes, tormentas, tsunamis, son sólo fenómenos naturales, se convierten en peligros cuando actúan en las áreas pobladas por humanos”. (Rojas & Martínez, 2011)

“La diferencia fundamental entre la amenaza y el riesgo está en que la amenaza está relacionada con la probabilidad de que se manifieste un evento natural o un evento de origen antrópico, mientras que el riesgo está relacionado con la probabilidad de que se manifiesten ciertas consecuencias” (Cardona, Evaluación de la amenaza, la vulnerabilidad y el riesgo, 2003) . Estas consecuencias están influenciadas por la vulnerabilidad y exposición de una población o elemento.

Tabla N°2: Tipos de amenazas naturales

<p><u>ATMOSFÉRICOS</u> Tempestades de granizo Huracanes Rayos Tornados Tempestades tropicales</p>	<p><u>HIDROLÓGICOS</u> Inundaciones costeras Desertificación Salinización Sequía Erosión y sedimentación Inundaciones de ríos Tempestades marinas y marejadas</p>	<p><u>SÍSMICOS</u> Rupturas de fallas Sacudimiento del terreno Esparcimiento lateral Licuefacción Tsunamis Seiches</p>
<p><u>VOLCÁNICOS</u> Tefra (cenizas, lapilli) Gases Flujos de lava Flujos de lodo Proyectiles y explosiones laterales Flujos piroclásticos</p>	<p><u>OTROS FENÓMENOS GEOLÓGICOS/ HIDROLÓGICOS</u> Avalanchas por derrubio Suelos expansivos Deslizamientos de laderas Caída de rocas Deslizamientos submarinos Hundimiento</p>	<p><u>INCENDIOS</u> Chamarasca Bosques Pastos Sabana</p>

Fuente: OEA (1993). Extraído de Rojas & Martínez (2011)

6.3 Análisis de Vulnerabilidad por exposición

Lavell (2004), se refiere a la vulnerabilidad como “la predisposición o susceptibilidad física, económica, política o social que tiene una comunidad de ser afectada o de sufrir efectos adversos en caso de que un fenómeno peligroso de origen natural o causado por el hombre se manifieste.”

Cardona (2003), define al análisis de vulnerabilidad como “un proceso mediante el cual se determina el nivel de exposición y la predisposición a la pérdida de un elemento o grupo de elementos ante una amenaza específica, contribuyendo al

conocimiento del riesgo a través de interacciones de dichos elementos con el ambiente peligroso.”

Vera & Albarracín (2017), mencionan que el nivel de vulnerabilidad está determinado por factores asociados al modelo de desarrollo, la disponibilidad y fragilidad de los medios de subsistencia, la sobrepoblación, la cultura, la organización social, la percepción social frente a los riesgos, la capacidad institucional, el equilibrio ambiental, la capacidad de prevención, respuesta o recuperación, entre otros aspectos.

Procesos globales tales como el crecimiento de la población, urbanización acelerada, presiones financieras internacionales, degradación de la tierra, cambio climático, etc. Son procesos que son parte de una forma de desarrollo que generan escenarios de riesgo. Cardona (2001) expone que existe una alta relación entre las carencias de desarrollo y la vulnerabilidad. Propone los siguientes factores de los cuales se origina la vulnerabilidad:

- a) **La exposición**, que es la condición de susceptibilidad que tiene el asentamiento humano de ser afectado por estar en el área de influencia de los fenómenos peligrosos y por su fragilidad física ante los mismos.
- b) **La fragilidad social**, que se refiere a la predisposición que surge como resultado del nivel de marginalidad y segregación social del asentamiento humano y sus condiciones de desventaja y debilidad relativa por factores socioeconómicos.
- c) **La falta de resiliencia**, que expresa las limitaciones de acceso y movilización de recursos del asentamiento humano, su incapacidad de respuesta y sus deficiencias para absorber el impacto.

La vulnerabilidad puede estar asociada a varios factores y estar presente en diversas dimensiones, tales como: Vulnerabilidad física , económica, social política, institucional , Educacional , ambiental ,etc.

6.3.1 Exposición

Un grupo de expertos propone eliminar la variable Exposición (E) debido a que esta se considera implícita en la Vulnerabilidad (V), sin que la concepción de la vulnerabilidad se vea afectada. (Cardona, Evaluación de la amenaza, la vulnerabilidad y el riesgo, 2003)

Olcina (2008), define a la exposición como “la disposición sobre el territorio de un conjunto de bienes a preservar que pueden ser dañados por un peligro natural.”

Para Fernández *et al* (2010), la exposición es “el conjunto de bienes (humanos y materiales) a preservar que pueden ser dañados por la acción de un peligro, {...} Incluye no sólo el hecho de la propia exposición de los bienes por su ubicación espacio-temporal, sino la valoración de estos en los distintos términos considerados, no sólo económica, sino también social y ambiental.”



6.3.2 Gestión del Riesgo de Desastre (GRD)

El desastre es entendido por la Oficina de las Naciones Unidas para la Reducción del Riesgo de Desastres, UNISDR (2009), como “el resultado de la combinación de la exposición a una amenaza, las condiciones de vulnerabilidad presentes, y capacidades o medidas insuficientes para reducir o hacer frente a las posibles consecuencias negativas”. Estas consecuencias negativas pueden traer desde pérdidas fatales, heridos, enfermedades hasta daños en la propiedad, infraestructuras, servicios, etc.

Para Lavell (2004), el desastre es “la realización o concreción de las condiciones de riesgo preexistentes en la sociedad. Esta realización ocurre en el momento en que un determinado evento físico, sea este un huracán, sismo, explosión, incendio, u

otro ocurre y con ello muestra las condiciones de vulnerabilidad existentes, revela el riesgo latente y lo convierte en un producto, con consecuencias en términos de pérdidas y daños.”

Gustavo Wilches-Chaux (1993), define al desastre como un “evento identificable en el tiempo y el espacio, en el cual una comunidad ve afectado su funcionamiento normal, con pérdidas de vidas y daños de magnitud en sus propiedades y servicios, que impiden el cumplimiento de las actividades esenciales y normales de la sociedad”

Lavell (2010), describe a la Gestión del Riesgo de Desastre (GRD) como “un proceso de gestión ligado de cerca a los procesos de gestión del desarrollo sectorial y territorial, en aras de la reducción o previsión del riesgo.” También hace énfasis en que la GDR se organiza en torno al riesgo y su gestión. Aceptando que el riesgo es dinámico, que evoluciona y cambia constantemente, lo cual la hace operar en condiciones antes, durante y después de un desastre (figura N°5).



Figura N°5: Diagrama Ciclo de GRD

Fuente: United Nations (2018)

Según la Oficina de las Naciones Unidas para la Reducción del Riesgo de Desastres, UNISDR (2009), la GRD es un “proceso sistemático en el cual se utilizan directrices administrativas, organizaciones, destrezas y capacidades operativas para ejecutar políticas y fortalecer las capacidades de afrontamiento, con el fin de reducir el impacto adverso de las amenazas naturales y la posibilidad de que ocurra un desastre.”

La Gestión de Riesgo de Desastres GRD puede ser: (Chuquisengo, 2011) citado en (PNUD Chile, 2012)

- Prospectiva: Implica abordar medidas y acciones en la planificación del desarrollo para evitar que se generen nuevas condiciones de riesgo.
- Correctiva: Se refiere a la adopción de medidas y acciones de manera anticipada para reducir los riesgos ya existentes.
- Reactiva: implica la preparación y respuestas a emergencias.

Beneficios Potenciales de la Aplicación de la Gestión de Riesgos según el Ministerio Secretaría General de la Presidencia de Chile (SEGPRES):

- Mejora las posibilidades de alcanzar los objetivos en la organización.
- Incrementa el entendimiento de riesgos claves y sus implicaciones en la organización.
- Se identifica y comparte la responsabilidad de la administración de los riesgos del negocio.
- Genera y fortalece el enfoque en asuntos que realmente importan a la organización.
- Contribuye a disminuir las sorpresas y crisis en la organización.
- Incrementa la posibilidad de que cambios e iniciativas de proyectos puedan ser logrados en mejor forma.
- Mejora las capacidades de tomar mayor riesgo por mayores recompensas sociales y económicas.

- Genera mayor información y con más transparencia sobre los riesgos identificados, tomados y las decisiones realizadas.

6.3.3 Construcción social del riesgo

Las amenazas naturales constantemente golpean a la sociedad. Siempre va a prevalecer ese riesgo latente de que ocurra un evento de manera inesperada en un lugar determinado. Pero de cierta manera existen eventos que ocurren de manera cíclica cada cierto tiempo, por tanto, muchas veces, a raíz de estudios e investigaciones, se conoce la génesis, comportamiento y consecuencias de estos eventos. El problema se origina cuando se decide construir o planificar un desarrollo urbano sobre zonas de riesgo, aun sabiendo los riesgos asociados al decidir establecerse en esa zona. Existe un componente social que está presente en estas dinámicas socio espaciales que generan “condiciones inseguras de vida, reflejadas en múltiples contextos particulares asociados con la localización de la población y la producción son productos de procesos sociales concretos e históricos.” (Wilches Chaux, 1998) citado en (Lavell, 2004). “Estas condiciones son producto de procesos dinámicos que derivan de los modelos dominantes de organización, ordenamiento y transformación de la sociedad, o lo que comúnmente se denominan “estilos” o “modelos” de desarrollo.” (Lavell, 2004)

Las expresiones de vulnerabilidad se interrelacionan y son capaces de generar una serie de escenarios diferenciados en el tiempo, en el espacio y con referencia a grupos, sectores o estratos sociales distintos. (Wilches Chaux, 1993) citado en (Lavell, 2004).

En Hernández & Vargas (2012), se señala que los imaginarios sociales y percepciones tienen un rol determinante en la construcción tanto simbólica como física de los lugares y por lo tanto tienen un papel esencial para gestionar el riesgo.

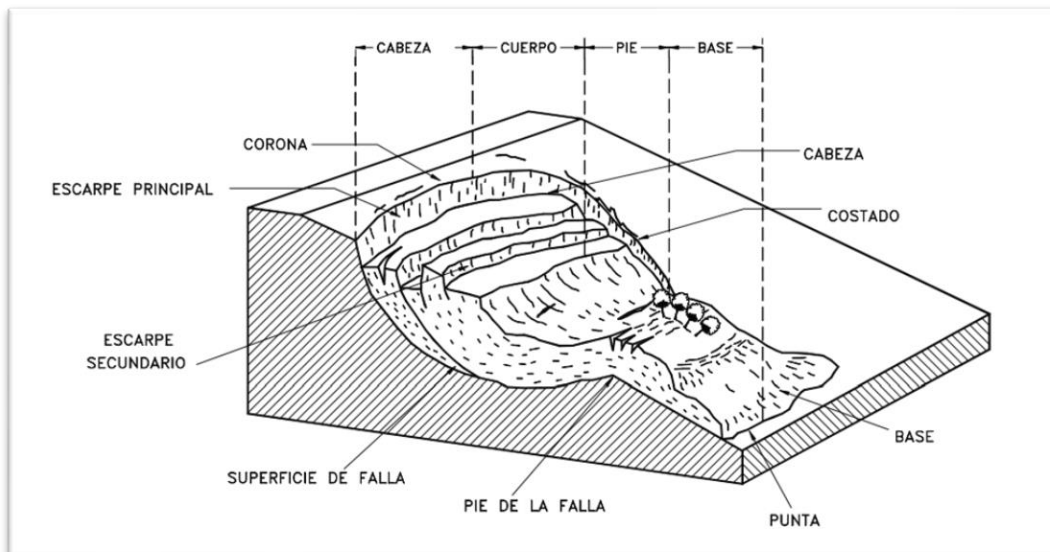
García (2005) concluye que la construcción social de riesgos remite a la producción y reproducción de las condiciones de vulnerabilidad que definen y determinan la magnitud de los efectos ante la presencia de una amenaza natural; es por ello la principal responsable de los procesos de desastre.

6.4 Procesos de remoción en masa (PRM)

De acuerdo a Hauser (2000), los movimientos de remoción en masa corresponden a procesos gravitacionales, en donde una porción específica del conjunto del terreno se desplaza hasta una cota o nivel inferior a la original.

Suárez (1998), señala que los procesos geodinámicos en taludes y laderas corresponden generalmente, a movimientos hacia abajo y hacia afuera de los materiales que conforman un talud de roca, suelo natural o relleno, o una combinación de ellos. Los movimientos ocurren generalmente, a lo largo de superficies de falla, por caída libre, movimientos de masa, erosión o flujos.

Figura N°6: Componentes de un movimiento de remoción en masa



Fuente: (Suárez, 1998)

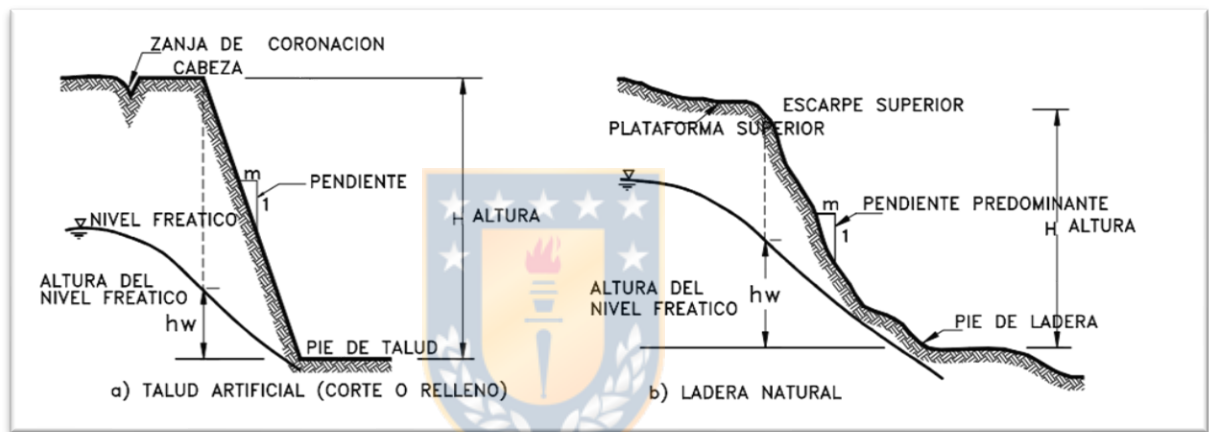
En un proceso de remoción en masa, es posible identificar los siguientes elementos:
(Suárez, 1998)

- **Escarpe principal:** Corresponde a una superficie muy inclinada a lo largo de la periferia del área en movimiento, causado por el desplazamiento del material fuera del terreno original. La continuación de la superficie del escarpe dentro del material forma la superficie de falla.
- **Escarpe secundario:** Una superficie muy inclinada producida por desplazamientos diferenciales dentro de la masa que se mueve.
- **Cabeza:** Las partes superiores del material que se mueve a lo largo del contacto entre el material perturbado y el escarpe principal.
- **Cima:** El punto más alto del contacto entre el material perturbado y el escarpe principal.
- **Corona:** El material que se encuentra en el sitio, prácticamente inalterado y adyacente a la parte más alta del escarpe principal.
- **Superficie de falla:** Corresponde al área debajo del movimiento que delimita el volumen de material desplazado. El volumen de suelo debajo de la superficie de falla no se mueve.
- **Pie de la superficie de falla:** La línea de interceptación (algunas veces tapada) entre la parte inferior de la superficie de rotura y la superficie original del terreno.
- **Base:** El área cubierta por el material perturbado abajo del pie de la superficie de falla.
- **Punta o uña:** El punto de la base que se encuentra a más distancia de la cima.
- **Costado o flanco:** Un lado (perfil lateral) del movimiento.
- **Superficie original del terreno:** La superficie que existía antes de que se presentara el movimiento.
- **Derecha e izquierda:** Para describir un deslizamiento se prefiere usar la orientación geográfica, pero si se emplean las palabras derecha e izquierda debe referirse al deslizamiento observado desde la corona mirando hacia el pie.

Las remociones en masa, landslide en ingles, aluden al movimiento de un volumen de rocas, detritos y tierra, por una ladera abajo. (Cruden & Varnes, Landslide Types and Processes, 1996)

Suárez (1998), considera que talud o ladera es una masa de tierra que no es plana, sino que posee pendiente o cambios de altura significativos. En la literatura técnica se define como ladera cuando su conformación actual tuvo como origen un proceso natural y talud cuando se conformó artificialmente.

Figura N°7: Componentes de una ladera o talud



Fuente: (Suárez, 1998)

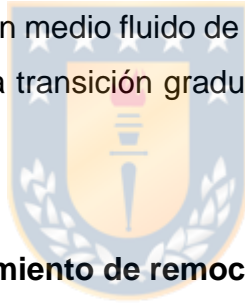
En el talud o ladera se definen los siguientes elementos constitutivos: (Suárez, 1998)

- **Altura:** Es la distancia vertical entre el pie y la cabeza, la cual se presenta claramente definida en taludes artificiales, pero es complicada de cuantificar en las laderas debido a que el pie y la cabeza no son accidentes topográficos bien marcados.
- **Pie:** Corresponde al sitio de cambio brusco de pendiente en la parte inferior.
- **Cabeza o escarpe:** Se refiere al sitio de cambio brusco de pendiente en la parte superior.

- **Altura de nivel freático:** Distancia vertical desde el pie del talud o ladera hasta el nivel de agua medida debajo de la cabeza.
- **Pendiente:** Es la medida de la inclinación del talud o ladera. Puede medirse en grados, en porcentaje o en relación $m/1$, en la cual **m** es la distancia horizontal que corresponde a una unidad de distancia vertical.

Las remociones en masa deben su origen a la suma y combinación de diferentes factores geológicos, morfológicos, físicos y algunas actividades humanas (Cruden y Varnes, 1996 en citado en Fuentes, 2021).

Es necesario distinguir entre “proceso de remoción en masa” en que importantes volúmenes de sedimento se movilizan, en conjunto, en estrecho contacto intergranular, y “procesos de flujo” en los cuales los granos o elementos individuales son dispersados a través de un medio fluido de transporte, aun cuando, en la medida que aumenta el flujo, hay una transición gradual entre ambos procesos. (Whittow, 1986 en Hauser, 2000)



6.4.1 Tipos de movimiento de remoción en masa

Los tipos de remoción en masa están asociados a las propiedades y características propias de una ladera. La clasificación de remociones en masa pretende describir e identificar los cuerpos a partir del tipo de movimiento y al material involucrado (Tabla N°6). El tipo de material se clasifica en roca y suelo; en tanto a los tipos de movimientos, se clasifican en las siguientes categorías: (Cruden & Varnes, 1996 en Lara & Sepúlveda, 2008)

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

Tabla N°3: Clasificación de remociones en masa (Varnes, 1978)

Tipo de movimiento		Tipo de material	
		Roca	Suelo
Deslizamiento	Rotacional		Grano grueso (detritos, <80% partículas <2mm)
	Traslacional		
Extensiones laterales			
Flujos			
Complejos			

Fuente: Varnes, 1978. Extraído de Lara & Sepúlveda, 2008

Los movimientos de remoción en masa presentan diversas escalas de movimientos, que van desde extremadamente rápidos a extremadamente lentos. Como se presentan en la tabla N°4:

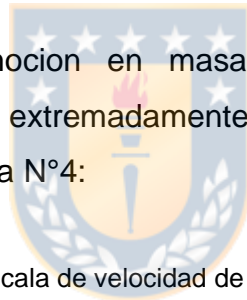


Tabla N°4: Escala de velocidad de remociones en masa

Clase según velocidad	Descripción	Velocidad [m/s]	Velocidad típica
7	Extremadamente rápido	5	5 m/s
6	Muy rápido	0,05	3 m/min
5	Rápido	5×10^{-4}	1,8 m/hr
4	Moderado	5×10^{-6}	13 m/mes
3	Lento	5×10^{-8}	1,6 m/año
2	Muy lento	5×10^{-10}	16 mm/año
1	Extremadamente lento	$< 5 \times 10^{-10}$	<16 mm/año

Fuente: Cruden & Varnes, 1996. Extraído de Lara & Sepúlveda, 2008

a) Caídas o desprendimiento

Las caídas son definidas y caracterizadas como movimientos abruptos de material geológico, como rocas y bloques, que se desprenden de una fuerte pendiente o acantilado. La separación de estas rocas o bloques se produce a lo largo de discontinuidades como diaclasas o en planos de estratificación de una roca. El material se mueve en caída libre, dando rebotes y/o rodando ladera abajo. Los desprendimientos están fuertemente influenciados por la acción de fuerzas gravitatorias, la meteorización mecánica y la presencia de agua en grietas. (Highland, 2004)



Figura N°8: Caída o desprendimiento

Fuente: (Highland, The Landslide Handbook- A Guide to Understanding Landslides, 2008)

b) Toppling o volcamiento

Este tipo de movimiento consiste en una rotación hacia adelante de una unidad o unidades de material térreo con centro de giro por debajo del centro de gravedad de la unidad y generalmente, ocurren en las formaciones rocosa (Suárez, 1998).

Los vuelcos están influenciados por la acción de la gravedad y fuerzas ejercidas por unidades adyacentes o también por presencia de agua en grietas. (Highland, 2004)

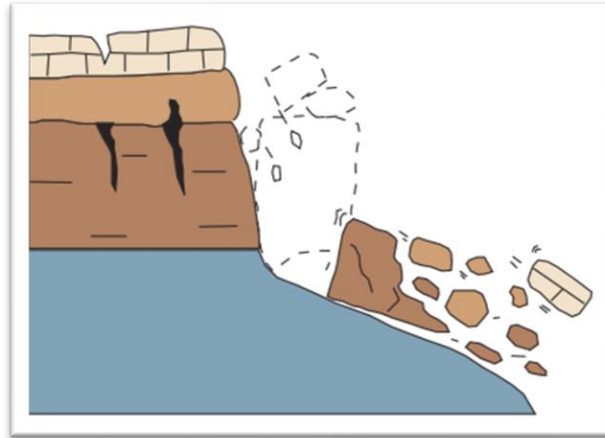


Figura N°9: Toppling o volcamiento

Fuente: (Highland, The Landslide Handbook- A Guide to Understanding Landslides, 2008)

c) Deslizamiento

De acuerdo a Suárez (1998), los deslizamientos consisten en un desplazamiento de corte a lo largo de una o varias superficies, que pueden detectarse fácilmente o dentro de una zona relativamente delgada. El movimiento puede ser progresivo, o sea, que no se inicia simultáneamente a lo largo de toda, la que sería, la superficie de falla. Los deslizamientos pueden ser de una sola masa que se mueve o pueden comprender varias unidades o masas semi-independientes. Los deslizamientos pueden obedecer a procesos naturales o a desestabilización de masas de tierra por el efecto de cortes, rellenos, deforestación, etc.

Los deslizamientos, a su vez, son la principal manifestación de los movimientos en masa. Los deslizamientos, como todos los movimientos en masa, involucran el movimiento, pendiente abajo, de los materiales que componen la ladera bajo la influencia de la gravedad y pueden ser disparados por lluvias, sismos y actividad humana. (Mora R. , 2013)

Highland (2004), aclara el uso del concepto “deslizamiento”, indicando que muchos tipos de movimientos de masas se incluyen en el término general "deslizamiento de tierra", el uso más restrictivo del término se refiere solo a movimientos de masas, donde existe una zona distinta de debilidad que separa el material del deslizamiento del material subyacente más estable.

Existe dos subtipos de deslizamientos:

- Deslizamiento rotacional:

Es un deslizamiento en el que la superficie de ruptura de la ladera es una curva cóncava hacia arriba y ocurre un brusco movimiento rotacional sobre un eje que es paralelo a la superficie y transversal al deslizamiento. (Highland, 2004)

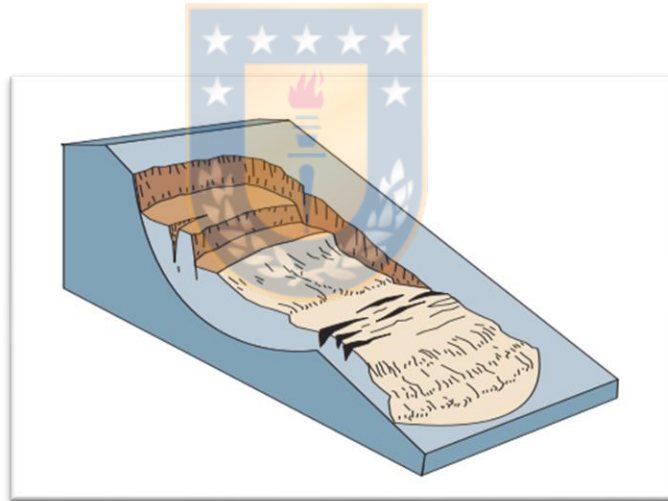


Figura N°10: Deslizamiento rotacional

Fuente: (Highland, The Landslide Handbook- A Guide to Understanding Landslides, 2008)

- Deslizamiento traslacional:

En un deslizamiento traslacional el movimiento de la masa se desplaza hacia fuera o hacia abajo, a lo largo de una superficie más o menos plana o ligeramente ondulada y tiene muy poco o nada de movimiento de rotación o volteo. (Suárez, 1998)

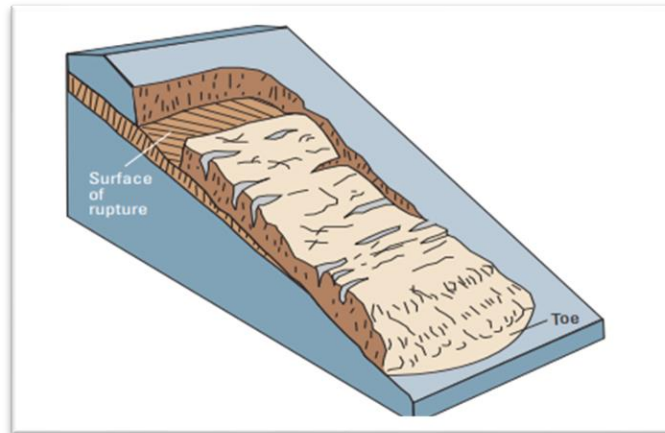


Figura N°11: Deslizamiento traslacional

Fuente: (Highland, The Landslide Handbook- A Guide to Understanding Landslides, 2008)

d) Extensiones laterales

De acuerdo a Highland (2004), las extensiones laterales se distinguen porque generalmente ocurren en pendientes muy suaves o en terreno plano. El modo dominante de movimiento es la extensión lateral acompañada de fracturas por cizallamiento o tracción. La falla es causada por la licuefacción, el proceso mediante el cual los sedimentos saturados, sueltos y sin cohesión (generalmente arenas y limos) se transforman de un estado sólido a un estado licuado. La falla generalmente se desencadena por un movimiento rápido del suelo, como por ejemplo el movimiento producto de un terremoto, pero también puede ser inducida artificialmente. Cuando el material consolidado (roca o suelo), descansa sobre materiales que se licuan, las unidades superiores pueden fracturarse y extenderse y luego pueden hundirse, trasladarse, rotar, desintegrarse o licuarse y fluir.

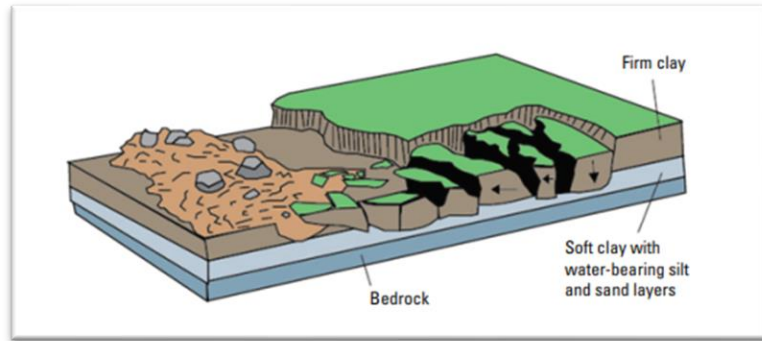


Figura N°12: Extensiones laterales

Fuente: (Highland, The Landslide Handbook- A Guide to Understanding Landslides, 2008)

e) Flujos

Suárez (1998), establece que la ocurrencia de flujos está generalmente, relacionada con la saturación de los materiales subsuperficiales. Algunos suelos absorben agua muy fácilmente cuando son alterados, fracturados o agrietados por un deslizamiento inicial y esta saturación conduce a la formación de un flujo. En un flujo existen movimientos relativos de las partículas o bloques pequeños dentro de una masa que se mueve o desliza sobre una superficie de falla. Los flujos pueden ser lentos o rápidos, así como secos o húmedos y los puede haber de roca, de detritos o suelo.

Existen distintos tipos de flujos (Tabla N°5), estos se encuentran determinados por el tipo de material que transportan.

Tabla N°5: Tipos de flujos según Varnes (1978)

Tasa de movimiento	Roca	Detritos (<80% arena y más fino)	Suelo (>80% arena y más fino)
Rápido a extremadamente rápido (>1,5m/día)	Flujo de roca (flujo de ladera)	Flujo de detritos Avalancha de detritos	Flujos de arena húmeda y limo Flujos rápidos de tierra Flujo de loess Flujos de arena seca
Menos que rápido (<1,5m/día)	Reptación	Soliflucción Reptación de suelo	Flujos de tierra

Fuente: Varnes, 1978. Extraído de Fuentes, 2021

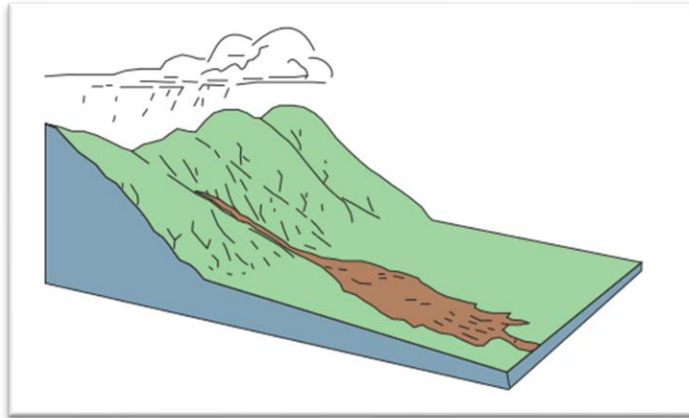


Figura N°13: Flujo

Fuente: (Highland, The Landslide Handbook- A Guide to Understanding Landslides, 2008)

6.4.2 Factores condicionantes

Los factores que controlan los movimientos de las laderas son aquellos capaces de modificar las fuerzas internas y externas que actúan sobre el terreno {...} los factores condicionantes (o «pasivos») dependen de la propia naturaleza, estructura y forma del terreno. (González de Vallejo, 2002).

Los factores condicionantes corresponden a aquéllos que generan una situación potencialmente inestable. Estos corresponden principalmente a la geomorfología, geología, geotecnia y vegetación, que actúan controlando la susceptibilidad de una zona a generar fenómenos de remoción en masa, donde la susceptibilidad se define como la capacidad o potencialidad de una unidad geológica o geomorfológica de ser afectada por un proceso geológico determinado (Sepúlveda, 1998 en Lara & Sepúlveda, 2008).

Según Lara & Sepúlveda (2008), cada uno de los distintos procesos de remoción en masa tiene génesis y comportamientos distintos, por lo cual cada uno podrá ser influenciado por diversos factores de maneras y grados diferentes. En la tabla N°8

se presentan los factores condicionantes relevante para cada tipo de remoción en masa (RM)

Tabla N°6: Factores condicionantes relevante según RM

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

Fuente: Lara & Sepúlveda (2008)



a) Geología

La geología de la zona controla en gran parte la existencia de depósitos de sedimento o suelos residuales generados por meteorización in situ (Sepúlveda, 1998).

La formación geológica determina la composición de los diferentes materiales suaves o de alta resistencia, lo cual facilita la ocurrencia de movimientos que propician la falla. Las características de los distintos tipos de roca tales como textura, dureza, compactación, grado de cementación, etc. determinan el comportamiento mecánico de la unidad, roca o suelo ante la ocurrencia de un movimiento en masa. (Pérez, 2014)

La plasticidad y humedad de un suelo influirá directamente en su grado de cohesión. Si un suelo fino tiene alta cohesión (como es el caso de arcillas), la presencia de niveles de poco espesor podría generar superficies potenciales de deslizamientos para el material que lo sobreyace. En tanto, un suelo grueso arenoso presenta

cohesión dependiendo de la humedad a la que se encuentre, variando sus propiedades de resistencia en función de esta condición. (Lara & Sepúlveda, Remociones en masa. Apuntes del curso, 2008)

Lara & Sepúlveda (2008), señalan que la permeabilidad influye directamente en la distribución del flujo de las aguas subterráneas y superficiales y por ende en la condición de saturación del suelo, donde una saturación del 100% representa la condición más desfavorable para la generación de deslizamientos y flujos.

Para el caso de rocas o caracterización de partículas mayores en un suelo, la litología es un factor que influirá en la resistencia a la meteorización y alteración de la roca. La presencia de minerales secundarios (ceolitas, arcillas, sericita, clorita), característicos de alteraciones hidrotermales, aceleraría los procesos de meteorización, influyendo de manera relevante en factores como la pérdida de resistencia, facilidad para incorporar agua, expansividad, incremento en la porosidad, etc. (Jacoby, 2001 citado en Lara & Sepúlveda 2008)

González de Vallejo (2002), indica que la meteorización física de la matriz rocosa da lugar a exfoliación por planos de direcciones preferentes, apertura de microdiscontinuidades por hielo o por crecimiento de sales, cambios de volumen por cambios de humedad o temperatura, etc. La meteorización química produce la disolución de minerales solubles y la formación de nuevos minerales por procesos de oxidación, reducción, hidratación, etc. En las rocas la meteorización química suele ser más intensa y produce su descomposición y cambios mineralógicos, la física rompe y disgrega la roca, debilitando la estructura rocosa. La reducción de la resistencia es el efecto más importante causado por la descomposición de la roca por meteorización química. Un pequeño incremento en el contenido en humedad o en la porosidad de la roca puede causar una reducción importante de la resistencia y del módulo de deformación, teniendo un alto impacto en la generación de procesos de remoción en masa.

b) Geomorfología

Lara & Sepúlveda (2008), establecen que los rasgos geomorfológicos que condicionan eventos de remoción en masa son principalmente la topografía, pendientes de las laderas, cambios fuertes de pendientes de las laderas y la extensión y altura de las laderas. Cualquier variación en estas características puede volver una ladera estable en inestable y generar remociones en masa (Popescu, 2002 en Campos, 2014). Estas características inciden en la velocidad, energía y volumen de las remociones que puedan originarse. La geometría de la ladera en tanto es uno de los factores más importantes en la evaluación de generación de deslizamientos, por cuanto determinará las orientaciones de las fuerzas resistentes y las solicitantes. (Lara & Sepúlveda, 2008)

Campos (2014), considera como factor condicionante importante la orientación de la ladera con respecto al norte, aspecto geográfico que puede influir por ejemplo en el tiempo de exposición al sol y, por lo tanto, en el grado de humedad, presencia de vegetación y meteorización en la ladera.

La topografía escarpada y ángulos altos de pendientes de laderas es el primer factor geomorfológico a considerar, siendo propicios principalmente para la generación de flujos, deslizamientos y derrumbes. En casos específicos, la generación de flujos se ve favorecida por la existencia de laderas de topografía abrupta que disminuyen la estabilidad de los depósitos, donde el escurrimiento de agua superficial actúa como agente desestabilizador. (Lara & Sepúlveda, 2008)

c) Hidrología

Lara & Sepúlveda (2008), señalan que la red de drenaje, las posiciones y variaciones del nivel freático, caudales, coeficientes de escorrentía y coeficientes de infiltración, son factores hidrológicos e hidrogeológicos que condicionan la

generación de remociones en masa ya que están directamente relacionados a la incorporación de agua en los suelos o macizos rocosos.

Figueredo (2015), establece que el suelo saturado presenta variaciones en su cohesión de acuerdo a su granulometría. De todas maneras, la incorporación de agua en la estructura del suelo, que en ciertos casos puede llegar a la saturación, lo cual genera una disminución en la resistencia del material, disminuyendo su tensión efectiva producto de la generación de presiones de poros. En roca, el agua puede contribuir a la pérdida de resistencia al infiltrarse en las estructuras, ejerciendo tensiones en estas estructuras que se oponen a las tensiones que la mantienen estable.

En el caso de los flujos, éstos en su gran mayoría se generan por saturación del material, lo cual al provocar un aumento en la presión de poros disminuye su resistencia efectiva. La identificación de zonas húmedas o saturadas es de gran importancia para la identificación de áreas críticas para la generación de eventos de flujo. (Figueredo, 2015)



d) Clima y vegetación

Con respecto a la implicancia del clima en la generación de remociones en masa, Lara & Sepúlveda (2008), señalan los principales factores que generan erosión de laderas son las precipitaciones, temperaturas, viento y radiación solar, siendo las precipitaciones el más importante entre éstos. Estas condicionan la estabilidad del macizo, al disminuir la resistencia de las estructuras al incorporar agua entre las fracturas del macizo y/o la estructura del suelo, disminuyendo el coeficiente de roce. La temperatura condiciona el estado de la precipitación, es decir, si es sólida o líquida, controla el punto de fusión de la nieve, modifica la humedad del suelo luego de las lluvias y condiciona el congelamiento del suelo. El viento tiene efectos sobre el ángulo de incidencia de las gotas de lluvia y además en la desestabilización de laderas abruptas con árboles (Selby, 1993 en Lara & Sepúlveda 2008). Por último, la radiación solar incide en la estabilidad de ladera y el nivel de humedad del suelo,

esto estará determinado por la orientación de la ladera y su exposición al sol. Las laderas de solana reciben mayor cantidad de radiación solar. Esto influye en efectos erosivos y de meteorización del material. Existe menor presencia de cobertura vegetal. Por tanto, existe mayor probabilidad a deslizamientos. (Lara & Sepúlveda, 2008)

Con respecto a la vegetación. Selby (1993) citado en Lara & Sepúlveda (2008) Establece que la vegetación contribuiría a disminuir el efecto erosivo sobre las laderas generado por factores como el clima, propiedades del suelo y topografía. La existencia de árboles en las laderas permitiría la absorción de agua por parte de estos disminuyendo el grado de saturación del suelo. También señala que la vegetación ideal para la estabilización de laderas correspondería a bosques con suelos cubiertos de pasto o hierba, exponiendo los principales efectos de la vegetación sobre la estabilidad del suelo, los cuales incluyen: que la vegetación interceptaría el agua caída, disminuiría la capacidad de erosión provocada por el agua en las laderas y aumentaría la resistencia del suelo y su porosidad.

e) Actividad antrópica

Lara & Sepúlveda (2008), considera que el control que ejerce el factor humano sobre la estabilidad de laderas es muchas veces primordial en la generación de eventos de remoción en masa. Ejemplos de actividades que influyen en esto son excavaciones, rellenos, construcción de estructuras, urbanización, cambios en el uso del suelo, extracción de áridos y acumulación de escombros. Estos, entre otros, pueden contribuir tanto a la desestabilización de las laderas producto de la disminución artificial de la resistencia del material, como a la contribución de material para ser movilizados por futuros eventos y cambios en la escorrentía superficial y en la topografía. Las actividades antrópicas y su influencia en el cambio climático y la intensificación de fenómenos que alteran las variables climáticas, tales como la temperatura, distribución e intensidad de las precipitaciones, influyen directamente en la generación de remociones que derivan en desastres. La

actividad minera puede contribuir en la generación de sismicidad inducida, lo cual puede influir en la desestabilización producto de las vibraciones.

6.4.3 Factores detonantes

Los factores detonantes, desencadenantes o de disparo hacen referencia a fenómenos externos que se comportan como agentes activos que provocan inestabilidad. Estos son capaces de generar eventos de remociones en masa. Dentro de los agentes más importantes considerados en estudios relacionados con remociones en masa, se encuentran la precipitación y la sismicidad. (López V. , 2019)

a) Precipitación

Pele (2010), Citado en Candia & Herrera (2017). Señala que la precipitación es el factor desencadenante de remociones en masa más común, ocasionalmente complementado con el derretimiento de cuerpos de nieve. Dependiendo del terreno, las concentraciones de lluvias pueden incrementar significativamente la presión de poros en una ladera, reduciendo la resistencia del material y ocasionando flujos, deslizamientos u otro tipo de remoción en masa

González de Vallejo (2002), establece que las precipitaciones y el régimen climático influyen en la estabilidad de los taludes al modificar el contenido de agua del terreno. La alternancia de periodos de sequía y lluvia produce cambios en la estructura de los suelos que dan lugar a pérdidas de resistencia. Se pueden establecer criterios de riesgo de inestabilidad de taludes en función de la pluviometría.

Las precipitaciones cortas e intensas serían susceptibles a provocar eventos superficiales, en tanto remociones más profundas serían provocadas por eventos

distribuidos en largo periodo de tiempo (Aleotti, 2004; Kim et al., 2004. Citados en Lara & Sepúlveda, 2008)

Para los eventos de remoción en masa en la Provincia de concepción en el año 2006 causados por un temporal. Naranjo (2006), a partir estos eventos, establece que un umbral de 3,5 mm de agua caída por hora fue crítico para la generación de remociones en masa en la zona, considerando lluvias antecedentes. Si se dispone de un catastro completo de remociones en masa ocurridas en la zona, se podría afinar esta estimación. En síntesis, para este temporal, se pudo determinar que un acumulado de 60 mm constituyó un umbral crítico de lluvia antecedente y una intensidad de 3,5 mm/h constituye un umbral crítico de lluvia torrencial para los eventos reportados.

b) Sismicidad

Lara & Sepúlveda (2008), señalan que los sismos son otros grandes factores desencadenantes de remociones en masa. Las aceleraciones sísmicas generan un cambio temporal en el régimen de esfuerzos al que está sometido la ladera, tanto normales como de corte, pudiendo producir su inestabilidad.

Los procesos de remoción en masa a partir de movimientos sísmicos se originan debido al aumento del esfuerzo cortante, a la disminución de resistencia por el aumento de la presión de poros y a la deformación del suelo asociado a la onda sísmica. Las laderas caen, fallan, debido a que la aceleración gravitacional y sísmica provoca cortas tensiones que superan la fuerza combinada de cohesión y fricción, entre la roca subyacente y los suelos (Meunier et al., 2007 en Mardones & Rojas, 2012).

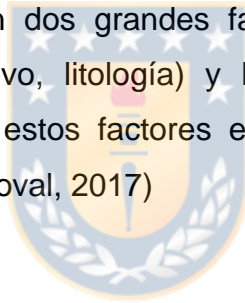
6.5 Modelo de susceptibilidad (Modelo de Mora & Vahrson)

6.5.1 Susceptibilidad

En Becerra & De Rurange (2018) se define como el grado de predisposición que tiene un sitio o área en el que se genere una amenaza, debido a sus condiciones intrínsecas y factores detonantes.

6.5.2 Metodología Mora-Vahrson

Es un procedimiento utilizado en numerosas investigaciones y trabajos en países de Latinoamérica, para zonificar regiones susceptibles a deslizamientos, utilizando indicadores morfodinámicos del terreno. Este modelo se caracteriza por la selección de variables organizadas en dos grandes factores. Los llamados factores de susceptibilidad (relieve relativo, litología) y los factores de disparo (actividad sísmica, precipitación). Con estos factores es posible establecer las áreas de deslizamientos. (Ruiz & Sandoval, 2017)



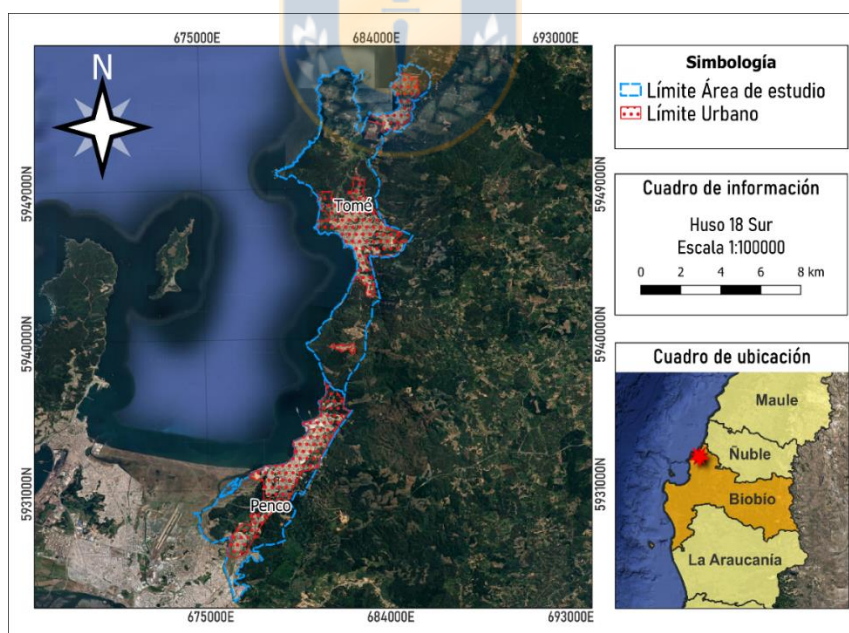
7. Metodología

7.1 Área de estudio

El área de estudio se comprende de las comunas de Penco y Tomé (figura N°14), las cuales forman parte de la provincia de Concepción, Región del Biobío, Chile.

Para la delimitación del área de estudio se utilizó los límites establecidos según la zonificación de planes reguladores de la Región del Biobío, focalizándose en los núcleos urbanos. Para el caso de esta investigación se excluye a la localidad de Rafael, perteneciente a la comuna de Tomé, principalmente por la distancia a la cual se encuentra del área de estudio (25 km) y además por ser considerada localidad rural. En tanto para la comuna de Penco se anexa al área de estudio, los sectores El Manzano, Población Los Conquistadores, Villa san Francisco, Villa universitaria, Villa Concepción, Vilumanque y Cosmito. La anexión de estos sectores se debe a su cercanía con respecto a la Ruta 150, Camino a Penco. Aquella ruta representa un sitio de interés para esta investigación.

Figura N°14: Zonas urbanas de las comunas de Penco y Tomé



Fuente: Elaboración propia. En base zonificación de planes reguladores (IDE), Limite urbano (Censo 2017)

7.1.1 Antecedentes Socio-económicos

La comuna de Penco posee una población de 47.367 habitantes (Censo 2017), cifra que equivale a un 3% de la población regional que era, en el año 2017, de 1.556.805 habitantes (Censo 2017), ocupando el noveno puesto de la comuna más poblada de la Región del Biobío. Con respecto a la distribución de los habitantes, el 99% (46.900 Habitantes) de ellos viven en la zona urbana, principalmente, en el borde costero y un 1% (467 Habitantes) lo hace en la zona rural de la comuna de Penco. La evolución de la población muestra que, entre los años 1992 y 2017, existe una tendencia al aumento (Figura N° 15). Según el Censo realizado en el año 1992, la población de Penco era de 40.359 habitantes y en el año 2017 aumentó en más de 7 mil personas, la población de la comuna, esto habla de un incremento de un 17%.

En la inter-comuna de Concepción, Penco tiene un rol de ciudad-puerto, siendo parte del sistema portuario de la Región del Biobío. La comuna de Penco posee dos terminales portuarios: Puerto Lirquén y Muelles Penco. Constituyendo la puerta de acceso norte a operaciones portuarias, transporte y carga de productos y materias primas. Posee acceso marítimo y terrestre al borde costero, para diferentes y múltiples actividades productivas. (GORE, 2015)

Según los datos censales del año 2017. Entre las ramas de actividad económica que tienen mayor presencia en la comuna de Penco destacan; Comercio al por mayor y al por menor; reparación de vehículos automotores y motocicletas (17%; 3.300 trabajadores), construcción (10%; 1.964 trabajadores), Transporte y almacenamiento (10%; 1.940 trabajadores) e industrias manufactureras (8%; 1.443 trabajadores). Es importante mencionar que, un 12% (2.359 trabajadores) de las personas encuestadas respondió que se desempeñaba en una rama no declarada.

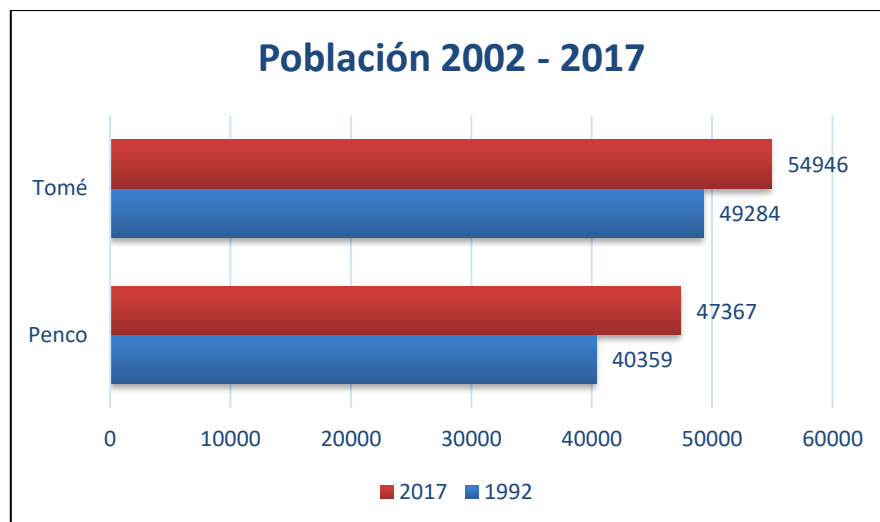
Según los datos obtenidos del Observatorio del Ministerio de Desarrollo Social. Las estimaciones de Tasa de Pobreza por ingresos del año 2020 para la comuna de Penco indican que, un 12,5% de la población total de la comuna se encuentra en situación de pobreza según su ingreso.

La comuna de Tomé por su parte, posee una población de 54.946 habitantes (Censo 2017), cifra que equivale a un 4% de la población regional que era, en el año 2017, de 1.556.805 habitantes (Censo 2017), ocupando el octavo puesto de la comuna más poblada de la Región del Biobío. Con respecto a la distribución de los habitantes, el 90% (49.540 Habitantes) de ellos viven en la zona urbana y un 10% (5.406 Habitantes) lo hace en la zona rural de la comuna de Tomé. La evolución de la población muestra que, entre los años 1992 y 2017, existe una tendencia al aumento (Figura N°15). Según el Censo realizado en el año 1992, la población de Tomé era de 49.284 habitantes y en el año 2017 aumentó en más de 5 mil personas, la población de la comuna, esto habla de un incremento de un 11%.

Según los datos censales del año 2017. Entre las ramas de actividad económica que tienen mayor presencia en la comuna de Tomé destacan; Comercio al por mayor y al por menor; reparación de vehículos automotores y motocicletas (13%; 2.835 trabajadores), Administración pública y defensa (9%; 2.074 trabajadores), Construcción (9%; 2.050 trabajadores) y Enseñanza (8%; 1.840 trabajadores). Es importante mencionar que, un 18% (3.940 trabajadores) de las personas encuestadas respondió que se desempeñaba en una rama no declarada.

La comuna de Tomé es un conglomerado urbano y también rural, con un fuerte vínculo a su borde costero. La pesca es una actividad de importancia y generadora de empleo a nivel local, especialmente en caletas como Cocholgue, Coliumo y Dichato. (Oficina Técnica, Comisión Regional de Uso del Borde Costero, 2015). Según los datos obtenidos del Observatorio del Ministerio de Desarrollo Social. Las estimaciones de Tasa de Pobreza por ingresos del año 2020 para la comuna de Tomé indican que, un 13,8% de la población total de la comuna se encuentra en situación de pobreza según su ingreso.

Figura N° 15: Crecimiento demográfico (2002-2017) en comunas de Penco y Tomé



Fuente: Elaboración propia. En base a Censo 2002 – 2017

7.1.2 Antecedentes Climáticos

Según la clasificación climática de Köppen, Penco y Tomé corresponden a un clima oceánico mediterráneo de verano cálido y un invierno templado frío (Csb2). En este tipo de clima, las estacionalidades se encuentran fuertemente determinadas por las temperaturas y precipitación. temperaturas medias varían entre los $-3\text{ }^{\circ}\text{C}$ y $18\text{ }^{\circ}\text{C}$ en el mes más frío y superiores a $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ en el mes más cálido. El verano es seco con un mínimo de precipitaciones marcado, Las precipitaciones del mes más seco (en verano) son inferiores a la tercera parte del más húmedo (Aguilar, 2018). Dentro de este grupo climático existe una variabilidad climática que responde a las características físicas de la zona, influenciada por su cercanía con el Océano Pacífico y a los cordones montañosos de la Cordillera de la Costa. Aquellos sistemas montañosos costeros son “lluvioso en razón de la exposición a los vientos húmedos, presentan condiciones térmicas de fuerte influencia marítima, que se expresa en una escasa amplitud térmica de solo $7,6\text{ }^{\circ}\text{C}$ ” (Zelada, 2005).

Según la validación de la clasificación de Köppen-Geiger (Sarricolea, Herrera, & Meseguer, 2016). Esta zona se encuentra dominada por climas templados, específicamente el mediterráneo (Csb y Csc), con sus climas isotérmicos de altura (variantes de elevación).

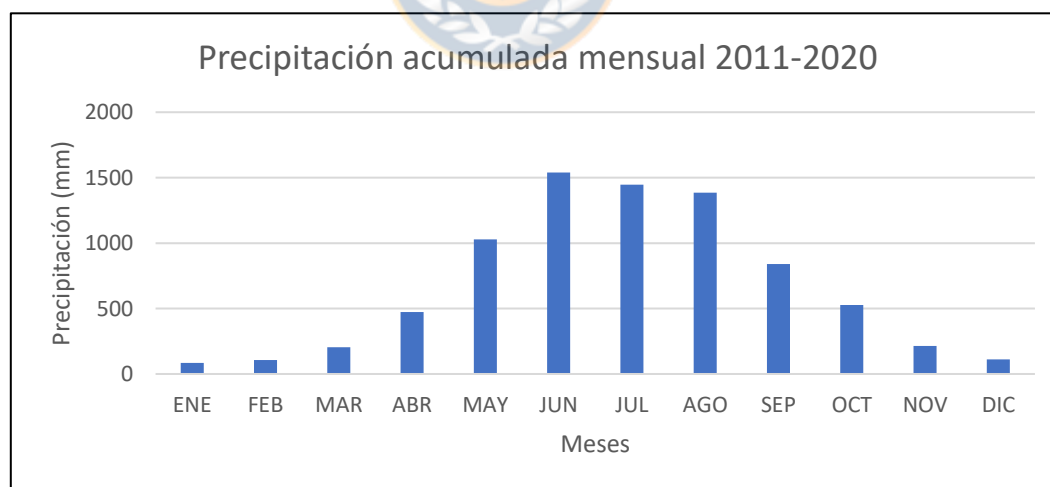
Las precipitaciones exceden a la evapotranspiración y el volumen o la distribución de las precipitaciones se verán determinadas por los relieves montañosos presentes. El origen de

las precipitaciones en las zonas presenta características propias de precipitaciones de carácter orográfico, la cual se origina cuando una masa de aire húmedo proveniente del mar se desplaza y es interrumpido por la presencia de una formación montañosa (Cordillera de la Costa). El vapor de agua asciende por la pendiente de la formación montañosa, a medida que asciende, esta masa de aire húmedo comienza a enfriarse. La temperatura arriba debe ser lo suficientemente fría para para producir una condensación rápida y la formación de las nubes orográficas. (Portillo, s.f.)

A partir de registro de la estación meteorológica Estero Bellavista (la más cercana al área de estudio), se obtiene datos de precipitación acumulada mensual entre los años 2011 y 2020. Se realizan los siguientes gráficos:

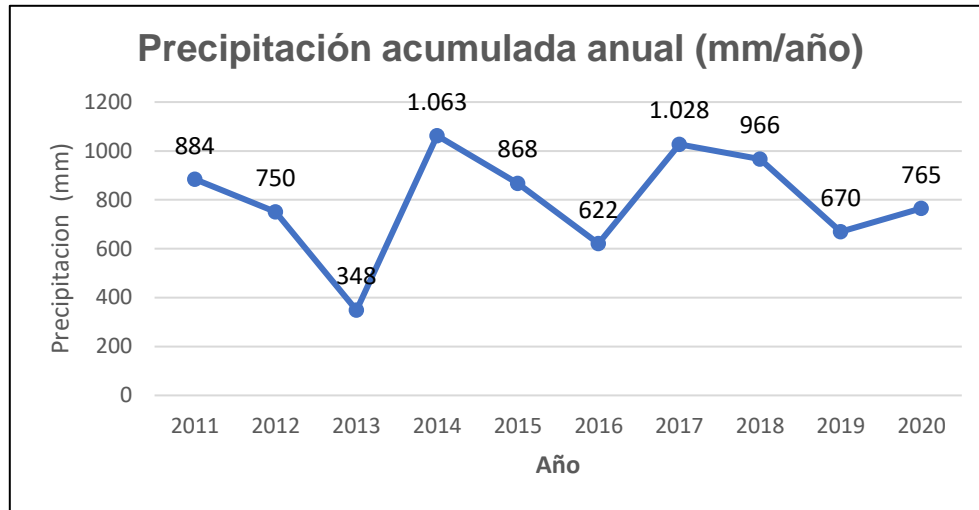
A partir de estos registros podemos determinar que el año en el cual mayor cantidad de agua caída fue en el 2014 con 1063 mm/año. Por otro lado, el año 2013 fue en el que menor cantidad de agua caída se registró, con 348 mm/año. Con respecto a los meses que registran mayor cantidad de agua caída entre los años 2011-2020, se destacan los meses de junio, julio y agosto, meses en los que transcurre el invierno en el hemisferio sur.

Figura N° 16: Precipitación acumulada mensual (2011-2020)



Fuente: Dirección General de Aguas (DGA).

Figura N°17: Precipitación acumulada anual (2011-2020)



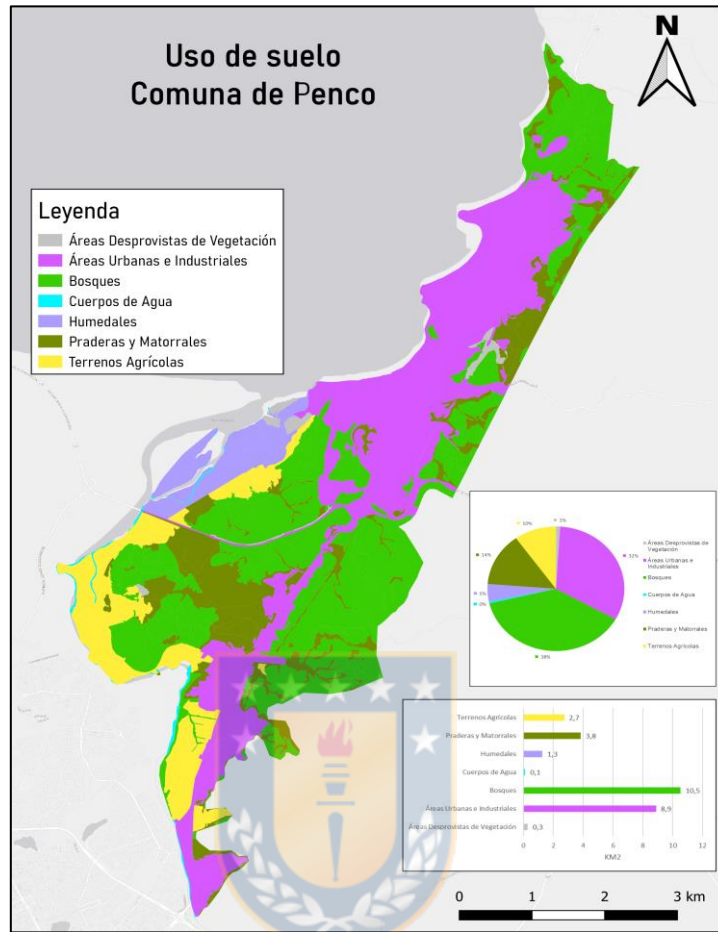
Fuente: Dirección General de Aguas (DGA).

7.1.3 Antecedentes sobre el uso de suelo del área de estudio.

A partir de los datos de información geográfica disponibles en la plataforma de IDE Minagri del Gobierno de Chile, se obtiene el catastro de uso de suelo y vegetación (CONAF). Esto nos permite observar y zonificar las actividades/uso que realizan las personas sobre la superficie de un determinado lugar. A continuación, se darán a conocer los usos de suelo en las comunas de Penco y Tomé.

Según datos del catastro de uso de suelo y vegetación (CONAF), la comuna de Penco (Figura N°18), los bosques comprenden un 38% (10,5 Km²) de la comuna, siendo la superficie con mayor predominancia en la comuna de Penco. Las áreas urbanas e industriales ocupan un 32% (8,9 Km²), praderas y matorrales (14%; 3,8 Km²), terrenos agrícolas (10%; 2,7 Km²), humedales (5%; 1,3 Km²), áreas desprovistas de vegetación (1%; 0,3 Km²) y los cuerpos de agua comprenden un 0% (0,1 Km²), siendo el uso de suelo más escaso en la comuna de Penco.

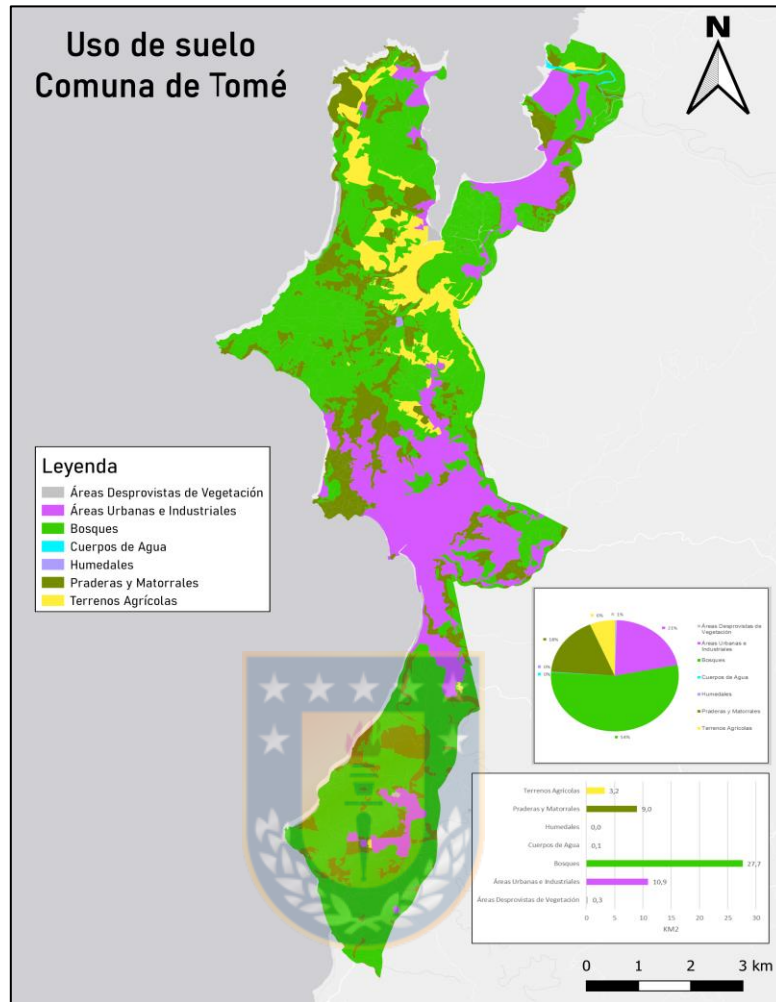
Figura N°18: Uso de suelo en la comuna de Penco



Fuente: Elaboración propia. En base a catastro de uso de suelo y vegetación (CONAF)

En la comuna de Tomé (figura N°19), los bosques comprenden un 54% (27,7 Km²) de la comuna, siendo la superficie con mayor predominancia en la comuna de Tomé. Las área urbanas e industriales ocupan un 21% (10,9 Km²), praderas y matorrales (18%; 9,0 Km²), terrenos agrícolas (6%; 3,2 Km²), áreas desprovistas de vegetación (1%; 0,3 Km²), cuerpos de agua comprenden un 0% (0,1 Km²), siendo el uso de suelo más escaso en la comuna de Tomé. No se reporta la presencia de humedales en el área de estudio.

Figura N°19: Uso de suelo en la comuna de Tomé.



Fuente: Elaboración propia. En base a catastro de uso de suelo y vegetación (CONAF)

7.2 Metodología de recolección de datos

La primera acción por efectuar es la recopilación de antecedentes relacionados con proceso de remoción en masa en las comunas de Penco y Tomé. Para esto se lleva a cabo una Búsqueda activa que contribuye a la identificación de eventos mediante la revisión de prensa local. En esta investigación se utilizó el diario local “El Sur” durante los años 1990- 2020. Para el registro de los eventos de PRM reportados, se diseña un inventario en el cual se registra los detalles del evento, tales como; Tipos de remoción en masa, fecha de ocurrencia,

ubicación, factores desencadenantes, intensidad del factor desencadenante (ejemplo: Milímetros de agua caída o magnitud del sismo), fuente de información. También se agregan campos en el caso que existieran infraestructuras afectadas, damnificados, desaparecidos, víctimas fatales y costos de los daños ocasionados. Los eventos serán registrados en una ficha de toma de datos (Tabla N°7). Posteriormente se tabulará la información recopilada y será ingresada a una plantilla Excel con los mismos campos utilizados en la ficha de toma de datos. Esto traería beneficios para el manejo de la información de manera rápida, clara y ordena. También nos permitiría llevar a cabo un análisis estadístico con el fin de estudiar la ocurrencia de eventos de PRM y relación de las variables que interactúan en estas situaciones. Una vez tabulada la información, se procede a la georreferenciación de los eventos reportados para su posterior generación de cartografía y visita en terreno

Tabla N°7: Ficha modelo de toma de datos

Tipo de Remoción en Masa	
Fecha de ocurrencia	
Fecha de publicación	
Factor desencadenante	
Intensidad pp. o magnitud sismo	
Ubicación relativa	
Fuente de información	
Victimas fatales	
Desaparecidos	
Damnificados	
Infraestructura afectada	
Costo de los daños	
Otros datos	
Imagen de la noticia	
Ubicación aproximada	

Fuente: Inventario multitemporal de PRM en AMC (2022)

7.3 Análisis de susceptibilidad frente a proceso de remoción en masa

7.3.1 Modelamiento de la Susceptibilidad frente a remociones en masa

La zonificación de la susceptibilidad de procesos de remociones en masa en las comunas de Penco y Tomé, se llevará a cabo mediante una Evaluación Espacial Multicriterio (EEM) o Evaluación multicriterio (EMC), como método de análisis. La EEM será parte de una base de datos espaciales trabajadas por medio de un Software Sistema de Información Geográfica (SIG).

Para Buzai (2014). La metodología de EMC fue desarrollada principalmente para su implementación en Raster, en este sentido comienza con la información básica compuesta por variables en forma de capas temáticas (mapas o layers), que permiten generar criterios como insumos de los procedimientos de evaluación.

Para el cálculo de la susceptibilidad se utiliza como base metodológica, el método de "Mora & Vahrson", con ciertas modificaciones. Esta es una técnica empleada en numerosos trabajos e investigaciones relacionadas con la susceptibilidad a remociones en masa en Latinoamérica. Tiene como finalidad "clasificar la amenaza por deslizamientos en determinada zona o región utilizando indicadores morfo dinámicos del terreno" (Rodríguez, Quintana, Rivera, & Mosquera, 2013)

La principal modificación/variación de este método para esta investigación, se trata en la utilización de los factores condicionantes en la ecuación para el cálculo de la susceptibilidad frente a PRM. Los factores/variables condicionantes que serán considerados son: **Geomorfología, geología, pendiente y cobertura vegetal.**

Las capas espaciales de las variables serán procesadas en un SIG (QGIS – ARCGIS). A cada entidad que componen las variables se le agregará un nuevo campo en su tabla de atributo. El nuevo campo será denominado "SUSC" y se le asignará un valor en una escala del 1 (muy baja) al 5 (muy alta) según su grado de susceptibilidad frente a PRM (**Anexo N°1**)

Una vez completado el campo "SUSC" en cada una de las variables, se procede a convertir la información espacial de las variables de formato vectorial a ráster. El resultado será una

cartografía temática de cada variable con su respectiva clasificación según su grado de susceptibilidad frente a PRM.

Para el cálculo de la susceptibilidad general, se utilizan las cartografías temáticas clasificadas de cada variable y son ingresados a la herramienta “calculadora Raster” disponible en software SIG, por medio de la aplicación de una ecuación (suma ponderada).

La suma ponderada está dada por el peso de cada variable en porcentaje, de acuerdo a su propensión a generar procesos de remoción en masa. Cada capa fue cruzada a través del álgebra de mapas, considerando las ponderaciones (%) utilizadas en (López, Zuluaga, Gómez, & Tapia, 2020)

Tabla N°8: Peso de las variables.

Variable	Ponderación (%)
Geomorfología	20
Geología	30
Pendiente	30
Cobertura vegetal	20

Fuente: Modificado de López, Zuluaga, Gómez, & Tapia (2020)

En ese sentido, para calcular la susceptibilidad frente a PRM según factores condicionantes, se introduce la siguiente ecuación en la calculadora Raster

Factores condicionantes (SUSC)

$$SUSC = \sum (Variable_raster * Peso_ponderación (\%))$$

Al realizar el cálculo mediante la calculadora ráster se genera un mapa final susceptibilidad frente a procesos de remociones en masa según factores condicionantes en las zonas de estudio. El resultado es ingresado a la herramienta reclassify para ser reclasificado en 5 clases según el grado de susceptibilidad, tomando como referencia el método Mora – Vahrson, utilizando su clasificación de la susceptibilidad, en el cual se establecen calificativos que van desde el nivel de susceptibilidad; Muy baja, baja, moderada, alta y muy alta con su respectiva descripción. Los criterios se resumen en la siguiente tabla:

Tabla N°9: Clasificación de la susceptibilidad al deslizamiento.

Clase	Calificativo de susceptibilidad al deslizamiento	Características
I	Muy baja	Sectores estables, no se requieren medidas correctivas. Se debe considerar la influencia de los sectores aledaños con susceptibilidad de moderada a muy alta. Sectores aptos para usos urbano de alta densidad y ubicación de edificios indispensables como hospitales, centros educativos, bomberos, etc.
II	Baja	Sectores estables que requieren medidas correctivas menores, solamente en caso de obras de infraestructura de gran envergadura. Se debe considerar la influencia de los sectores aledaños con susceptibilidad de moderada a muy alta. Sectores aptos para usos urbanos de alta densidad y ubicación de edificios indispensables... Los sectores con rellenos mal compactados son de especial cuidado.
III	Moderada	No se debe permitir la construcción de infraestructura si no se realizan estudios geotécnicos y se mejora la condición del sitio. Las mejoras pueden incluir: movimientos de tierra, estructuras de retención, manejo de aguas superficiales y subterráneas, bioestabilización de terrenos, etc. Los sectores con rellenos mal compactados son de especial cuidado. Recomendable para usos urbanos de baja densidad.
IV	Alta	Probabilidad de deslizamiento alta (< 50%) en caso de sismos de magnitud importante y lluvias de intensidad alta. Para su utilización se deben realizar estudios de estabilidad a detalle y la implementación de medidas correctivas que aseguren la estabilidad del sector, en caso contrario, deben mantenerse como áreas de protección.
V	Muy alta	Probabilidad de deslizamiento muy alta (> 50%) en caso de sismos de magnitud importante y lluvias de intensidad alta. Prohibido su uso con fines urbanos, se recomienda usarlos como áreas de protección.

Fuente: Mora (2004) extraído de (Mujica & Pacheco, 2013)

7.4 Análisis de vulnerabilidad por exposición de la población ante remociones en masa

En esta investigación se establece utilizar la exposición de la población como factor de vulnerabilidad a analizar. La vulnerabilidad por exposición de la población en este trabajo, está determinada por el grado de exposición frente a eventos de remociones en masa. Para ello se llevará a cabo un análisis de superposición de mapas.

El método de superposición de mapas consiste en “la combinación de dos o más capas o mapas en donde cada celda (píxel) de cada capa o mapa referencia la misma localización geográfica y con lo cual se genera una nueva capa o mapa que contiene la combinación de la información de las capas o mapas de entrada.” (Jaime, Larín, & Garea, 2011)

En este caso se utilizará una superposición de entidades (puntos, líneas o polígonos que se superponen). Las capas utilizadas serán :

- Mapas de susceptibilidad frente a PRM (Formato vectorial), generados en esta investigación
- Capa de manzanas censales 2017 (IDE Chile, 2017)



Como resultado de este proceso, se obtiene una nueva capa, en donde cada manzana censal obtiene un valor según su grado de exposición en base a la susceptibilidad del sector. Cada manzana censal posee información del N° de personas y viviendas que se encuentran ahí. Por lo tanto, es posible determinar el porcentaje de población expuesta según su nivel de vulnerabilidad por exposición.

7.5 Desarrollo de aplicación móvil para la toma de datos y reporte de remociones en masa en terreno.

El desarrollo de una aplicación móvil en esta investigación tiene como finalidad complementar el inventario de eventos de PRM y optimizar los tiempos de trabajo en un contexto de terreno y trabajo de gabinete.

Para la creación de la aplicación móvil, se utiliza la plataforma de desarrollo de software “AppSheet”. La particularidad de esta plataforma es que permite desarrollar una aplicación sin el uso de códigos de programación. Esto es posible debido a que funciona en base a una plantilla Excel (**Anexo N°2**) que nosotros creamos. En este caso la plantilla utilizada en esta investigación cuenta con algunos de los campos utilizados en la ficha de toma de datos y otros relacionados con observaciones en terrenos, que son necesarios para el registro de un evento de remoción en masa en terreno.

En la plataforma “Appsheet” se importa la plantilla Excel y se le determina un formato a cada campo (Figura N°20). Por ejemplo, al campo de “ID” del evento se le asigna un formato de texto, al campo “Fotografía” se le asigna una función que permita importar una imagen, al campo de “Fecha de visita” se le asigna un formato calendario, etc.

Una vez asignado el formato a cada campo, se eleva la solicitud para desplegar la APP y permitir su uso en dispositivos. Al reportar un evento desde la aplicación, automáticamente se completa la información en la plantilla Excel, que se encuentra almacenada en una carpeta de Google Drive.



Figura N°20: asignación de formato a campos

NAME	TYPE	KEY?	LABEL?	FORMULA	SHOW?	EDITABLE?	REQUIR
1 _RowNumber	Number	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	=	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2 ID	Text	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	=	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
3 Monitor	Text	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	=	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
4 Foto	Image	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	=	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5 Fecha de visita	Date	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	=	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
6 Fecha de ocurrencia	Date	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	=	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
7 Ubicación	Text	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	=	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
8 Coordenadas	LatLong	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	=	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
9 Tipo de remoción en mas	LongText	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	=	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
10 Factor desencadenante	LongText	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	=	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
11 Altura máx. (m)	Decimal	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	=	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Fuente: Captura propia. Desde panel de control Appsheet

8. Resultados

8.1 Inventario de remoción en masa basado en reportes de prensa 1990 -2020.

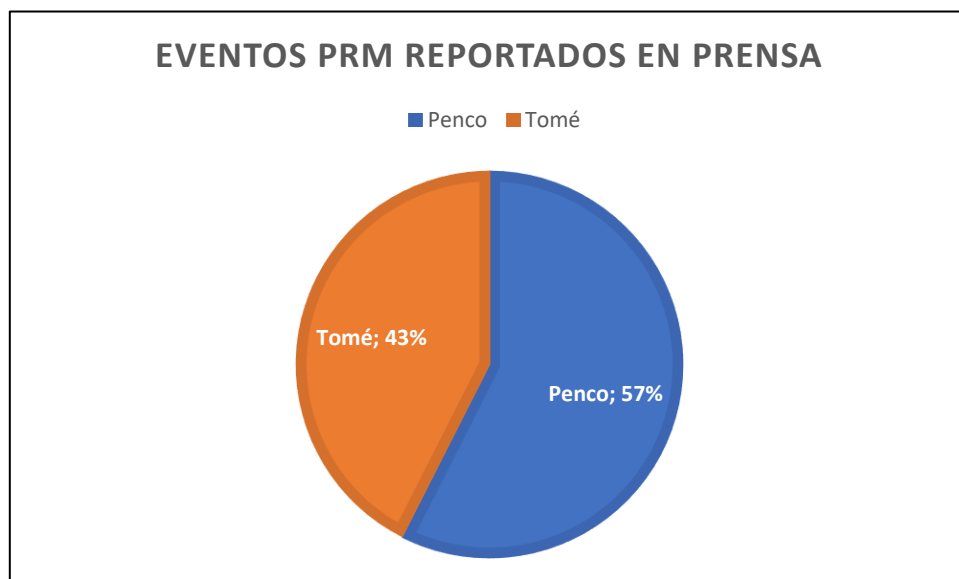
En base a la información recopilada mediante la búsqueda de reportes de eventos de remociones en masa en prensa local (Diario El Sur) para el periodo de 1990 a 2020, fue posible generar un inventario multitemporal, en el cual se pueden identificar un total de 47 eventos de remociones en masa en las comunas de Penco y Tomé. En la comuna de Penco se registraron 27 eventos de remociones en masa y en la comuna de Tomé 20 eventos de remociones en masa según datos de prensa local durante los periodos 1990-2020. (Tabla N°10 y Figura N° 21)

Tabla N°10. Registros de remociones en masa

Eventos PRM		
Penco	Tomé	Total
27	20	47

Fuente: Elaboración propia

Figura N°21. Distribución porcentual de registros de remociones en masa según comuna

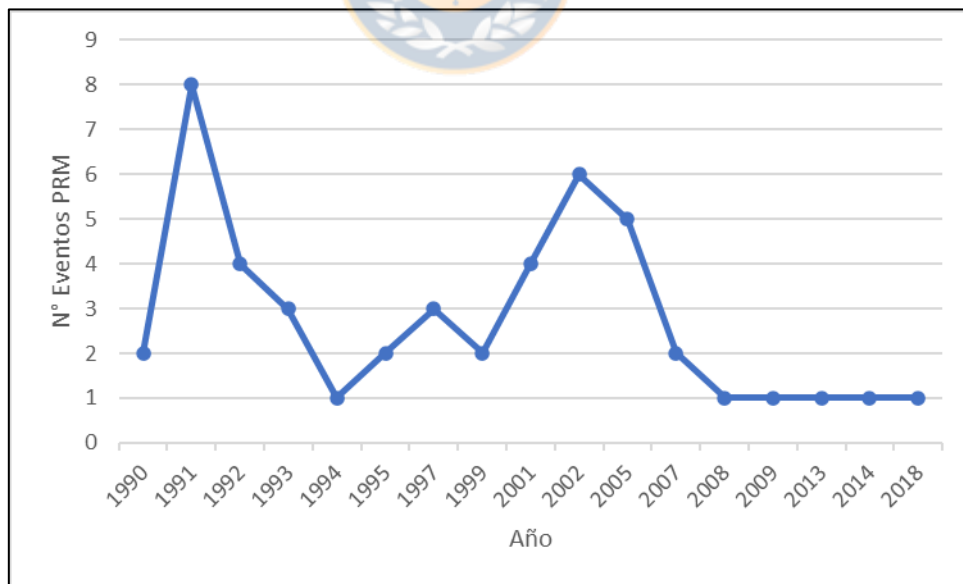


Fuente: Elaboración propia

Con respecto a la distribución temporal de reportes de eventos de remociones en masa (Figura N°22). En el año 1991 se registra un peak de reportes de PRM en prensa en las comunas de Penco y Tomé. Se contabilizaron 8 eventos en solo un año. Siendo esto, el año en el que se reportaron más eventos durante un periodo anual. Posteriormente entre los años 1993-1999, se identifica una leve baja en la frecuencia de reportes según datos de prensa local, registrándose 12 eventos durante todo ese periodo de tiempo. Es importante mencionar que durante los años 2001-2007, se identificó una concentración de reportes de PRM en la comuna de Penco y Tome. Se registraron 17 eventos durante ese periodo de tiempo. Los años 2008, 2009, 2013, 2014 y 2018, registran solo un evento de remoción en masa según datos de prensa local.

Es importante mencionar que en la búsqueda de reportes de remociones en masa en prensa local. Durante el año 2010, precisamente en relación al terremoto ocurrido el día 27 de febrero, no se encontraron reportes de eventos de PRM, al igual que en los meses posteriores de ese año en las comunas de Penco y Tomé.

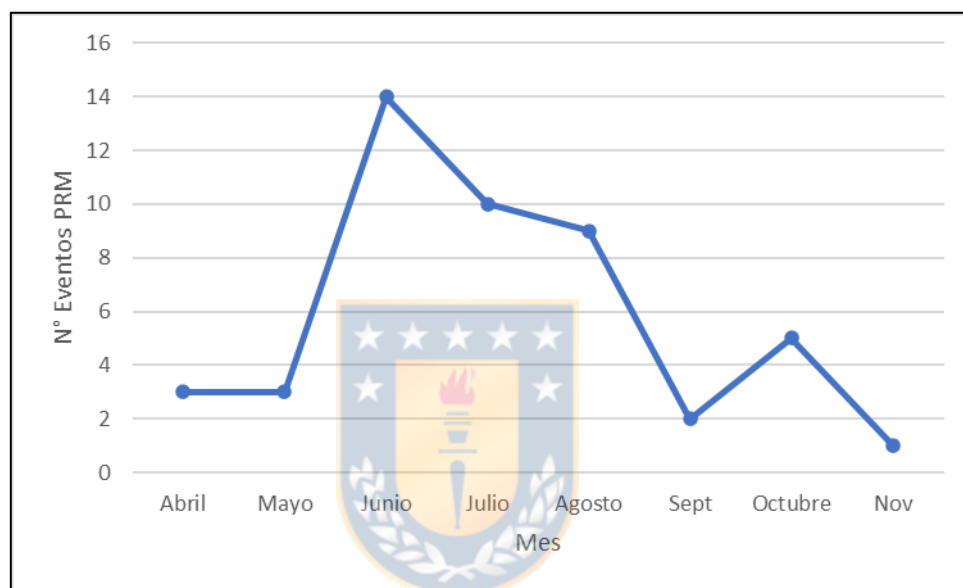
Figura N° 22. Números de eventos entre los años 1990-2020



Fuente: Elaboración propia

A partir de los datos obtenidos mediante la revisión de prensa local entre los años 1990-2020 (Figura N°23), se puede reconocer que existe una concentración de reportes de eventos de remociones en masa entre los meses de junio, julio y agosto. Meses que se encuentran en la estación de invierno en Chile y corresponden a los meses más lluviosos del año. En estos meses se registraron 33 eventos de remociones en masa en las comunas de Penco y Tomé.

Figura N°23. Número de eventos por mes (1990-2020)



Fuente: Elaboración propia

Con respecto a los tipos de PRM identificados en las comunas de Penco y Tomé. El ingreso de este tipo de dato en la ficha de toma de datos de prensa, se realizó a partir de la información y conceptos con los que se contaba en la nota periodística, teniendo en cuenta el manejo del lenguaje técnico de el/la periodística a cargo de la nota de prensa. Aun así, existe una predominancia para identificar un evento de remoción en masa como un deslizamiento (Figura N°24).

Figura N°24. Lluvia de conceptos según registros de prensa



Fuente: Elaboración propia

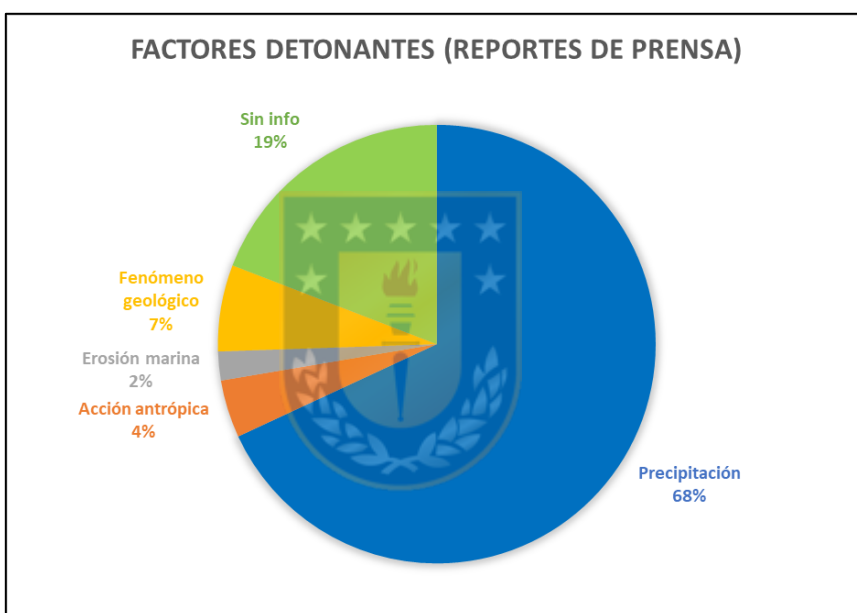
En relación a los factores detonantes que tienen implicancia en la generación de remociones en masa en las comunas de Penco y Tomé, por medio de los detalles entregados en las notas periodísticas (Tabla N°11 y Figura N°25), se establece que; La precipitación es el principal detonante, que tiene implicancia en la generación de remociones en masa, con un 68% de los eventos registros en las comunas de Penco y Tomé (32 reportes). Los eventos desencadenados por la acción antrópica están asociados a accidente en faenas de construcción y a toma de muestras de suelo (Diario El Sur). Los eventos relacionados a Fenómeno geológico y erosión marina, concentran todos sus reportes en Caleta Cocholgue. Es importante mencionar que existen 9 eventos que no presentan información suficiente para determinar el factor desencadenante.

Tabla N°11. Factores detonantes de PRM en comunas de Penco y Tomé

Factores detonantes	
Precipitación	32
Acción antrópica	2
Erosión marina	1
Fenómeno geológico	3
Sin info	9
Total	47

Fuente: Elaboración propia

Figura N°25. Distribución porcentual de factores detonantes de PRM



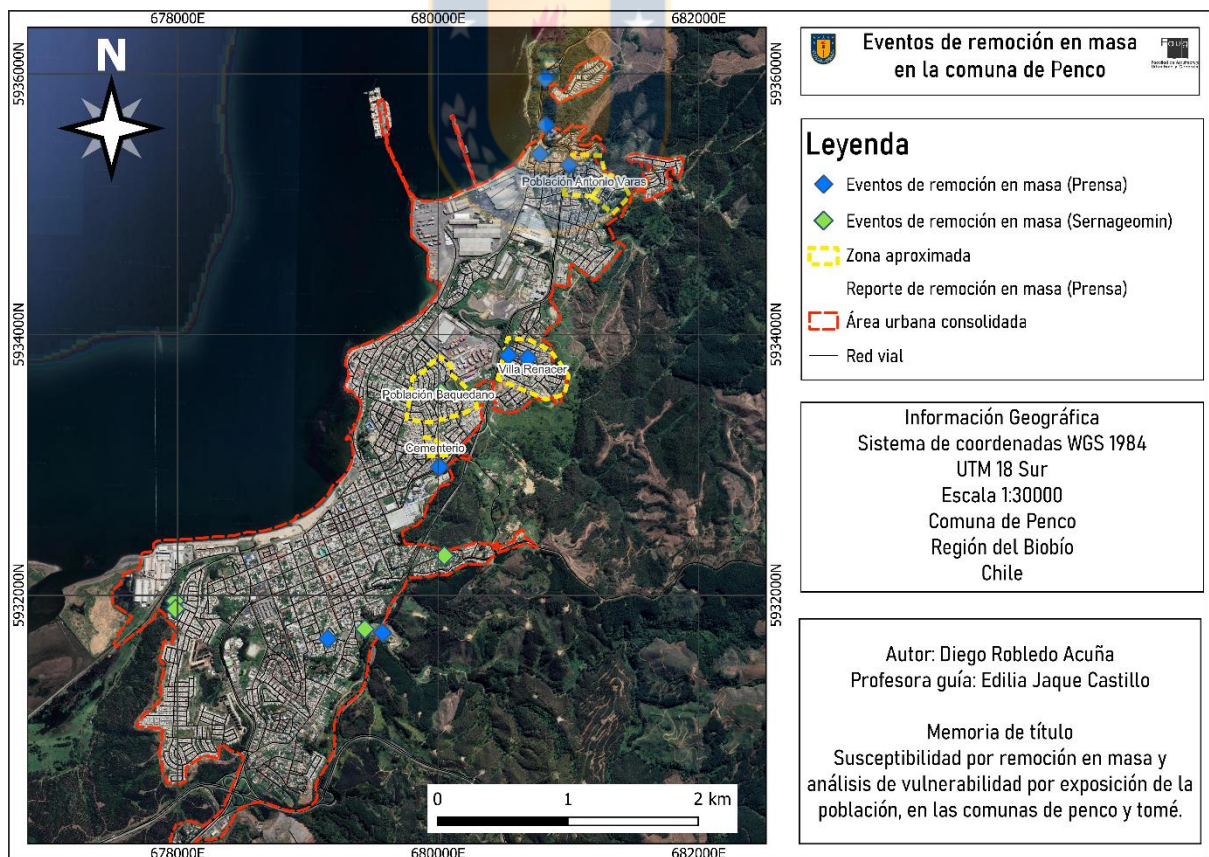
Fuente: Elaboración propia

8.2 Eventos de remoción en masa según reportes de prensa y SERNAGEOMIN.

A partir de la revisión de información de prensa local, fue posible georreferenciar 34 eventos de un total de 47 en las comunas de Penco y Tomé (Figura N°26 y 27). Todos los Puntos registrados, corresponden a ubicaciones/coordenadas aproximadas. Los polígonos describen el reporte de un evento en un sector aproximado, que no fue posible establecer un punto exacto. No fue posible georreferenciar 13 eventos, debido a que las notas periodísticas no contenían la información suficiente para determinar su ubicación exacta o aproximada

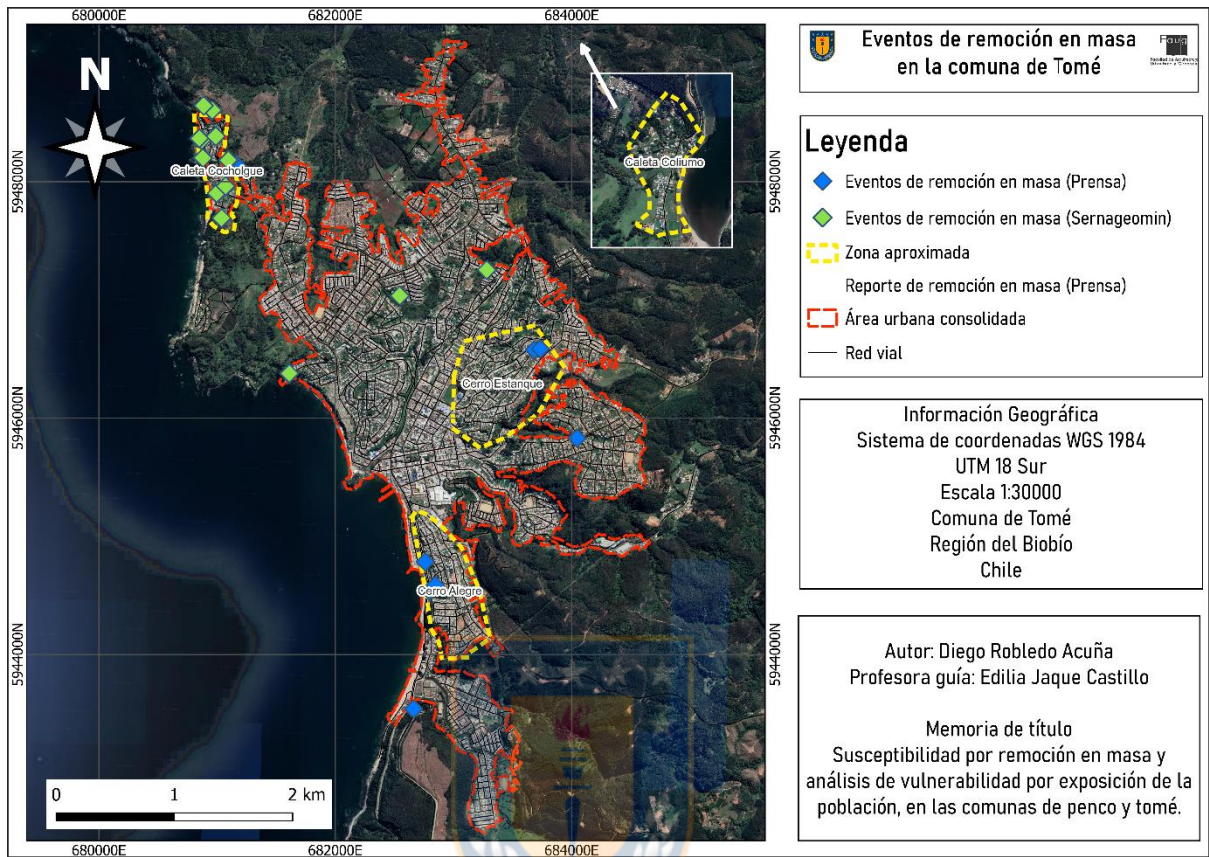
En algunos casos, se logra georreferenciar puntos a partir de referencias visuales (Google StreetMap, Google Earth Pro, etc.). Identificando depósitos de material, laderas descubiertas, desecadas o desprotegidas, existencia de muros de contención, etc.

Figura N°26. Cartografía: Remociones en masa en la comuna de Penco



Fuente: Elaboración propia

Figura N°27. Cartografía: Remociones en masa en la comuna de Tomé



Fuente: Elaboración propia

8.3 Susceptibilidad de remociones en masa en las comunas de Penco y Tomé

Para llevar a cabo este modelo es necesario contar con una serie de datos espaciales, tales como archivos de tipo vectorial, ráster, modelos de elevación digital (DEM), etc. Una vez recopilada la información, se procede a ejecutar una serie de geoprocursos específicos para cada capa con la finalidad para adecuarlas al formato permitido por el álgebra de mapas (Raster Calculator).

8.3.1 Factores condicionantes

8.3.1.1. La geomorfología como factor condicionante de RM

La creación del mapa de unidades geomorfológicas de las comunas de Penco y Tomé, se realizó en base a un Shapefile de unidades geomorfológicas del Área Metropolitana de Concepción (AMC) (Proyecto Fondecyt.92/0251, 1994). A esta capa de información se le realizó una serie de modificaciones debido a que la capa original presentaba un desplazamiento considerable con respecto a su posición correcta. La solución rápida y transitoria se basa en la utilización de un complemento disponible para QGIS, llamado "Vector Bender". Este plugin nos permite corregir la posición de la capa, mediante la implementación de puntos de control, utilizando el basemap como referencia para el posicionamiento correcto del punto. Finalmente se llevan a cabo procedimientos menores como la corrección de campos duplicados, cambio de simbología y diseño de cartografía.

a) Comuna de Penco

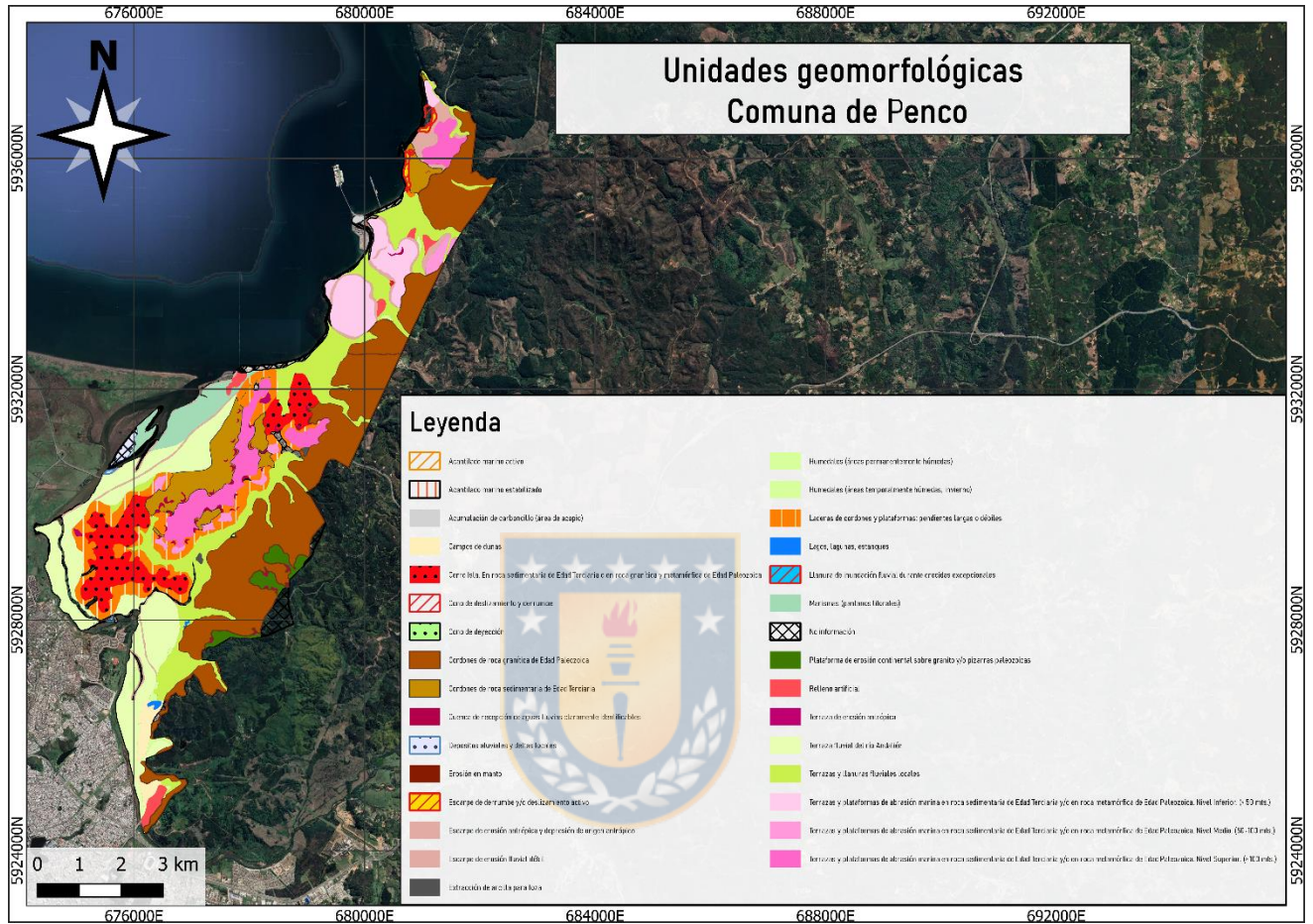
En la comuna de Penco es posible reconocer 32 unidades geomorfológica, en las que se destacan principalmente: Cordones de roca granítica de Edad Paleozoica (756,05 ha; 26%), Terrazas y llanuras fluviales locales (368,17 ha; 13%), Terraza fluvial del río Andalién (358,77 ha; 12%), Laderas de cordones y plataformas: pendientes largas o débiles (204,92 ha; 7%) y Cerro Isla. En roca sedimentaria de Edad Terciaria o en roca granítica y metamórfica de Edad Paleozoica (191,61 ha; 7%)

La comuna de Penco se encuentra emplazada en el cordón occidental de la Cordillera de la Costa, presenta una topografía accidentada, en la cual destacan los cordones de/en roca granítica de Edad Paleozoica. Estas unidades geomorfológicas se concentran en el sector oriente de la comuna. El sector poniente de la comuna se encuentra emplazado sobre una planicie costera en la cual se destacan unidades geomorfológicas tales como; terrazas y llanuras fluviales del Río Andalién y esteros locales como el estero Cabrito y el estero Liqueñ; además de terrazas y plataformas de **abrasión** marina en roca sedimentaria producto de la acción erosiva del mar. “En general, el relieve es montañoso, sobre llanuras y terrazas recientes, geformas dominantes y procesos de morfogénesis. La topografía de la comuna es accidentada, alternando cordones de cerros y quebradas” (Oficina técnica. Comisión Regional de Uso del Borde Costero, 2015)

Unidades geomorfológicas generales presentes:

- **Planicie litoral:** Constituida por planicies de abrasión, formadas debido a la acción destructora del mar sobre las rocas, como por sedimentación marina o fluvio-marina, formada por efecto del depósito de material de origen tectónico, con relleno similar y organización lacustre de los materiales. Estas se extienden hasta la desembocadura del río Andalién. (Guiñez, 2016)
- **Cordillera de la Costa:** Se encuentra fuertemente meteorizada, Se presenta como una serie de suaves lomajes alrededor de algunos cerros más altos. Dentro de esta aparecen algunas cuencas graníticas y otras de relleno aluvial. Desciende gradualmente a la llanura desde alturas cercanas a los 200 m. (Guiñez, 2016)

Figura N° 28: Unidades geomorfológicas. Comuna de Penco



Fuente: Elaboración propia. En base a Mapa geomorfológico (Proyecto Fondecyt.92/0251, 1994).

b) Comuna de tomé

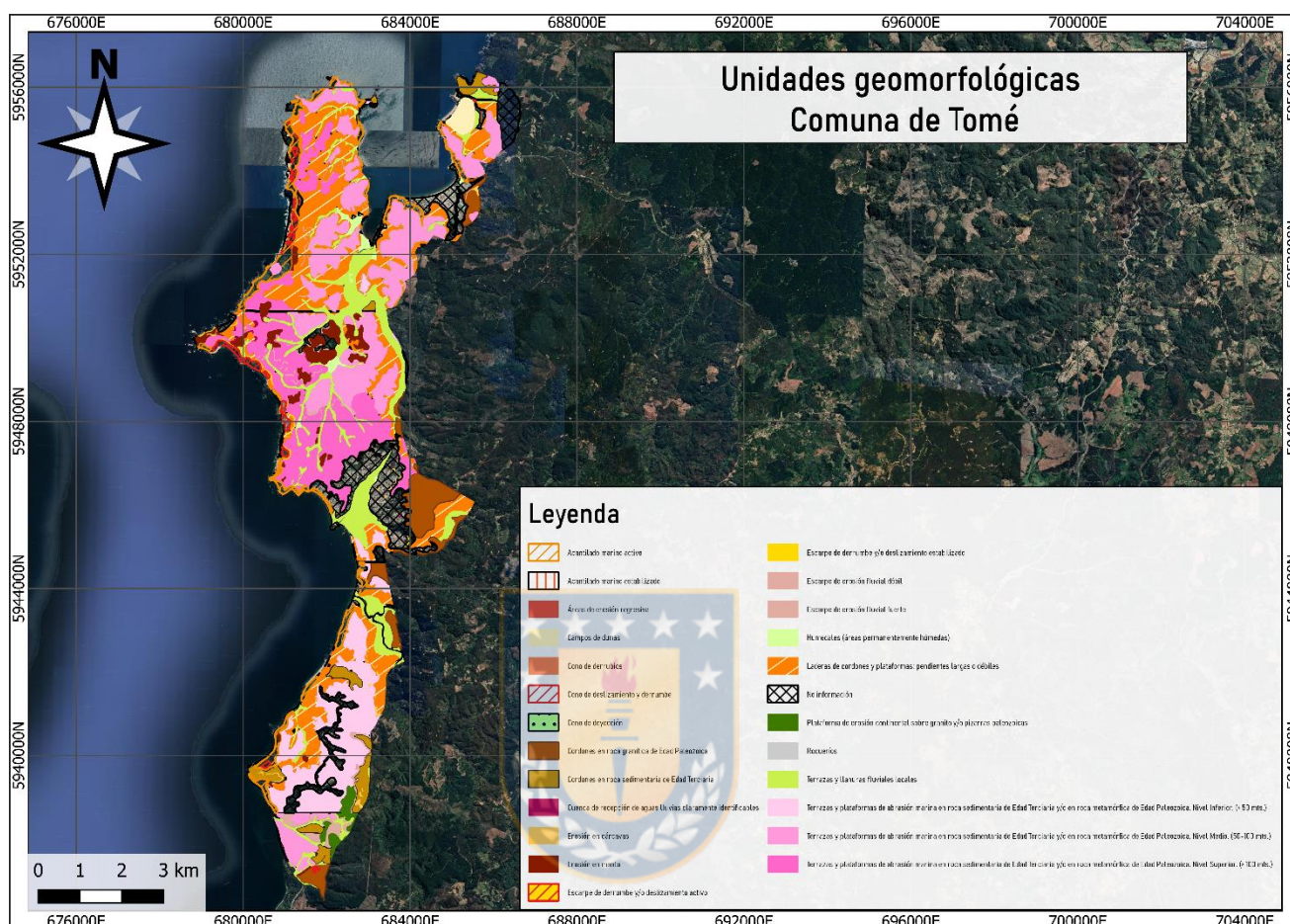
En la comuna de Tomé se reconocieron 25 unidades geomorfológica, en las que se destacan principalmente: Terrazas y plataformas de abrasión marina en roca sedimentaria de Edad Terciaria y/o en roca metamórfica de Edad Paleozoica. Nivel inferior, medio y superior (2007,91 ha; 37%), Laderas de cordones y plataformas: pendientes largas o débiles (1098,16 ha; 20%), Terrazas y llanuras fluviales locales (525,53ha; 10%), Cordones en roca granítica de Edad Paleozoica (245,79 ha; 5%) y Acantilado marino activo (217,8 ha; 4%).

La comuna de Tomé se encuentra situada sobre terrazas y plataformas de abrasión marina desarrolladas en rocas sedimentaria de edad terciarias y/o en roca metamórficas y graníticas de edad paleozoica (Zelada, 2005). Estas unidades manifiestan una serie de discontinuidades e interrupciones, a causa de alternancia de quebradas que se despliegan la Cordillera de la Costa. En algunas zonas de la línea costera es posible identificar acantilados, tanto activos como estabilizados. (Oficina Técnica, Comisión Regional de Uso del Borde Costero, 2015). El borde continental de la plataforma costera se interrumpe bruscamente con el abrupto de la cordillera de la Costa (Zelada, 2005).

Al oeste de la comuna, se genera un sistema montañoso conformado por cordones de rocas de tipo metamórfico y granitos paleozoicos alterados. Son relieves muy vigorosos, con pendientes fuertes y con un verdadero encajonamiento de las quebradas y de los valles (Zelada, 2005).

Los suelos que se encuentran bajo este sistema montañoso tienen un alto grado de fragilidad ante procesos erosivos debido a las condiciones de excesiva pendiente. “Los riesgos naturales asociados a este sistema son potenciales por cuanto al darse un manejo negativo de las plantaciones se podría provocar pérdida de suelo por erosión y movimientos de masa en sus laderas con fuerte pendiente.” (Zelada, 2005).

Figura N° 29: Unidades geomorfológicas. Comuna de Tomé



Fuente: Elaboración propia. En base a Mapa geomorfológico (Proyecto Fondecyt.92/0251, 1994).

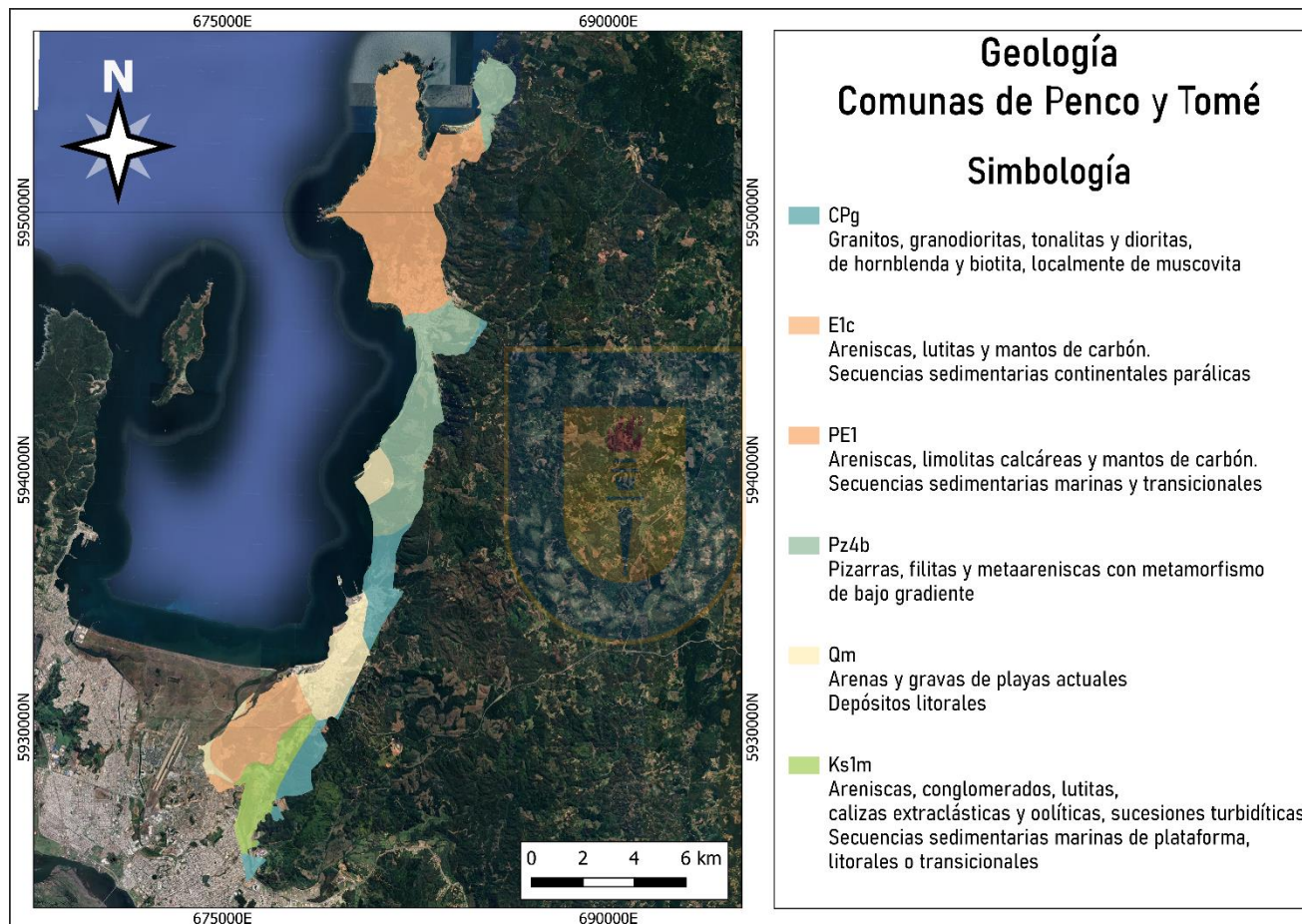
8.3.1.2. La geología como factor condicionante de RM

Para cartografiar la geología en las comunas de Penco y Tomé, se trabajó en base el Mapa Geológico Chile 1:1.000.000. (Andrade, 2020). A este Shapefile se le realizó el mismo proceso correctivo que a la capa de geomorfología, debido a que presentaba un leve desplazamiento de la capa en algunos sectores. Por último, se clasifican en unidades geológicas, identificando 6 unidades en las comunas. Se opta por realizar una cartografía general para las comunas de Penco y Tomé debido a la escala de la información con la que

se contaba. También se decide realizar una descripción general de los resultados para las dos comunas, de acuerdo a la información y bibliografía disponible para el área de estudio.

a) Comuna de Penco y Tomé

Figura N° 30: Unidades geológicas. Comunas de Penco y Tomé



Fuente: Elaboración propia. En base a Mapa Geológico Chile 1:1.000.000. (Andrade, 2020)

A partir del Mapa Geológico Chile 1:1.000.000 (Andrade, 2020), es posible reconocer 6 unidades geológicas en las comunas de Penco y Tomé

CPg: Unidad compuesta por granitos, granodioritas, tonalitas y dioritas, de hornblenda y biotita, localmente de muscovita.

E1c: Secuencias sedimentarias continentales parálicas. Esta unidad está compuesta por areniscas, lutitas y mantos de carbón.

PE1: Secuencias sedimentarias marinas y transicionales compuestas por areniscas, limolitas calcáreas y mantos de carbón.

Pz4b: Unidad compuesta por Pizarras, filitas y metaareniscas con metamorfismo de bajo gradiente

Qm: Depósitos litorales compuestos por arenas y gravas de playas actuales

Ks1m: Secuencias sedimentarias marinas de plataforma, litorales o transicionales compuestas por Areniscas, conglomerados, lutitas, calizas extraclásticas y oolíticas, sucesiones turbidíticas.



Los cordones montañosos de la cordillera de la costa se encuentran conformados por rocas graníticas y por rocas del basamento metamórfico, al cual se superponen formaciones sedimentarias de la “Formación Quiriquina” (Cretácico Superior) y “Formación Curanilahue” (Eoceno). (Subdirección Nacional de Geología, 2011). De acuerdo a Salazar (2004) citado en Inostroza (2018), la litología de la Formación Quiriquina “consiste en un conglomerado basal, areniscas amarillas, niveles de coquina y zona de areniscas con concreciones calcáreas”, es posible encontrar esta formación en algunos sectores de Caleta Cocholgue, principalmente en acantilados marinos.

En tanto la Formación Curanilahue es descrita por Pineda (1983) citado en Inostroza (2018) como una formación compuesta por “una secuencia sedimentaria continental, constituida principalmente por areniscas, en parte conglomerádicas y arcillolitas asociadas a mantos

carboníferos, con intercalaciones marinas, correspondientes a areniscas verdes fosilíferas.” La Subdirección Nacional de Geología (2011), señala que, en la zona, las rocas presentan en general, una fuerte meteorización, lo cual las hace muy disgregables e inestables en cortes de taludes abruptos, esto se observa en los suelos de tipo "maicillo" desarrollados a partir de rocas de origen granítico. También es posible encontrar tramos discontinuos en Caleta Cocholgue, Tomé, Penco y Lirquén.

8.3.1.3. La pendiente como factor condicionante de RM.

Con respecto a la creación de mapas de pendiente para las comunas de Penco y Tomé, se elaboró en base a un modelo Digital de Elevaciones (MINVU, 2013). Para la clasificación de pendientes (Tabla N°12) se utilizaron los criterios establecidos por el Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC), utilizados en López, R., Zuluaga, A., Gómez, F., & Tapia, L. (2020)

Tabla N°12: Clasificación de pendiente

Pendiente en %	Descripción
0 – 1%	A nivel
1 – 3%	Ligeramente plana
3 – 7%	Ligeramente inclinada
7 – 12%	Moderadamente inclinada
12 – 25%	Fuertemente inclinada
25 – 50%	Ligeramente escarpada
50 – 75%	Moderadamente escarpada
75 – 100%	Fuertemente escarpada
>100%	Totalmente escarpada

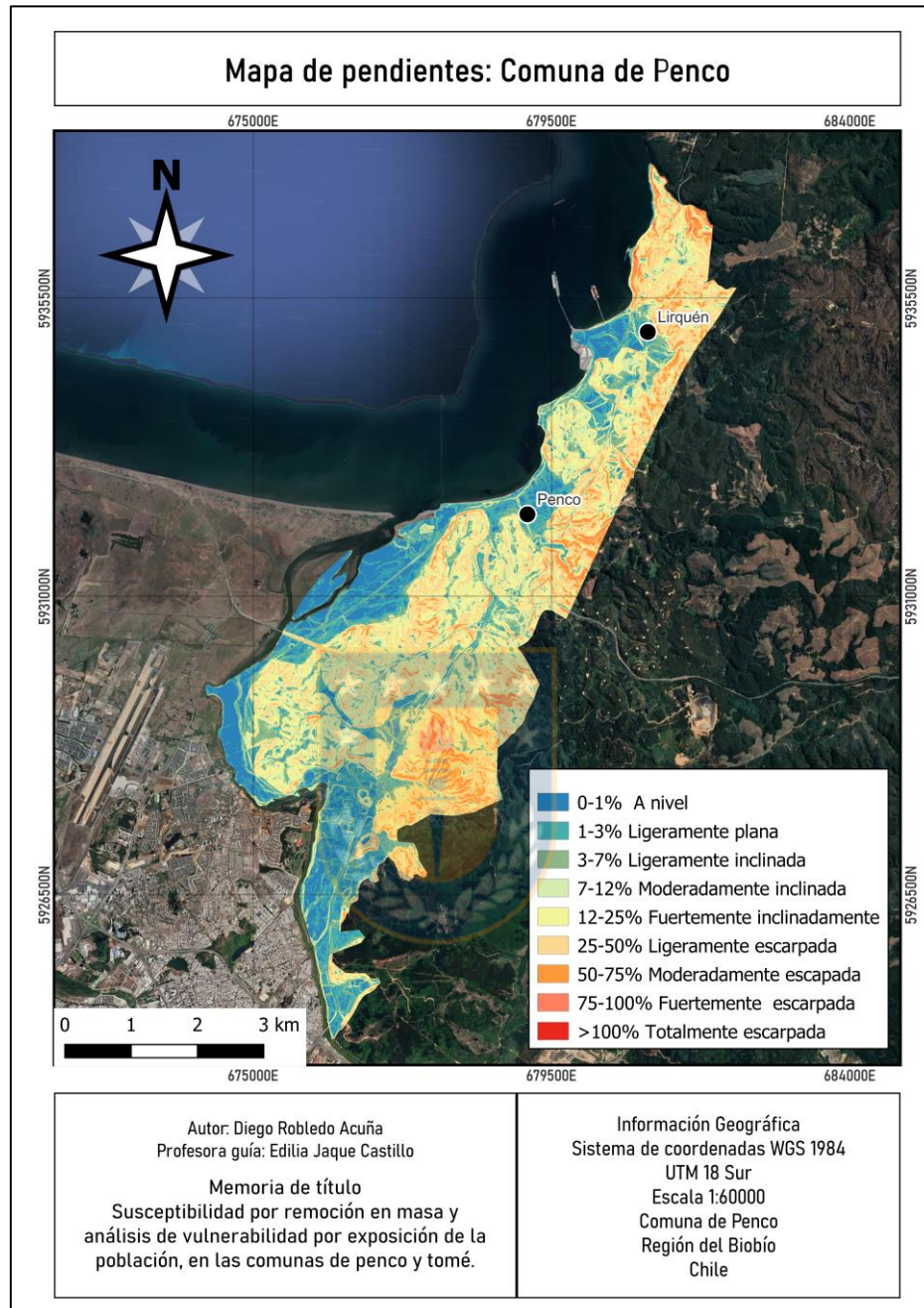
Fuente: (IGAC) Modificado

a) Comuna de Penco

A partir de los resultados del mapa de pendiente expresado en porcentaje en la comuna de Penco, podemos observar que la pendiente más predominante se encuentra entre el rango 12-25%, que corresponde a un relieve fuertemente inclinado con un área de 625,14 ha, comprendiendo un 23% del área de estudio. Es seguida por pendientes que se encuentran entre el rango de 25-50%, que corresponde a laderas ligeramente escarpadas con un área de 605,19 ha, comprendiendo un 22% del área de estudio. En algunos sectores, estas laderas se caracterizan por presentar procesos de denudación intensivo producto del reemplazo de plantaciones forestales (talas). Las pendientes que se encuentran entre el 1-3% con un área de 376,3 ha, representan un 14% del área de estudio. Lo siguen pendientes que van desde relieves a nivel hasta moderadamente inclinada, en ellas podemos encontrar que se encuentra emplazado el centro de Penco, zonas residenciales, tramos de la ruta 150 (Camino a Penco) y autopista Interportuaria.



Figura N°31: Mapa de pendientes. Comuna de Penco



Fuente: Elaboración propia. En base a DEM (MINVU, 2013)

b) Comuna de Tomé

A partir de los resultados del mapa de pendiente expresado en porcentaje en la comuna de Tomé, podemos observar que las pendientes más predominantes se encuentran entre los rangos 12-25% y 25-50%, que corresponden a laderas fuertemente inclinadas (1418,17 ha; 27% del área de estudio) y ligeramente escarpadas (1405,67 ha; 27% del área de estudio) respectivamente. Lo siguen las pendientes que se encuentran entre los rangos 7-12%, que corresponden a laderas moderadamente inclinadas con un área de 661,34 ha, comprendiendo un 13% del área de estudio. Las pendientes que se encuentran entre el rango 3-7% comprenden un área de 549,66 ha y un 11% del área de estudio.

Las fuertes pendientes están relacionadas a acantilados costeros que se encuentran a lo largo de la línea de costa del área de estudio, escarpes de derrumbes presentes en Caleta Cocholgue y también a taludes en vías vehiculares (Cuesta Caracoles). El grupo de pendientes escarpadas es posible encontrarlas principalmente en las laderas de los cerros Estanque y Alegre en dirección Av. Latorre. Las áreas que se encuentran emplazados entre los rangos de relieves a nivel y moderadamente inclinados están relacionadas al centro de la comuna de Tomé y zonas residenciales.

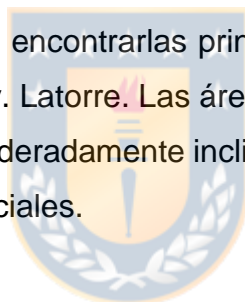
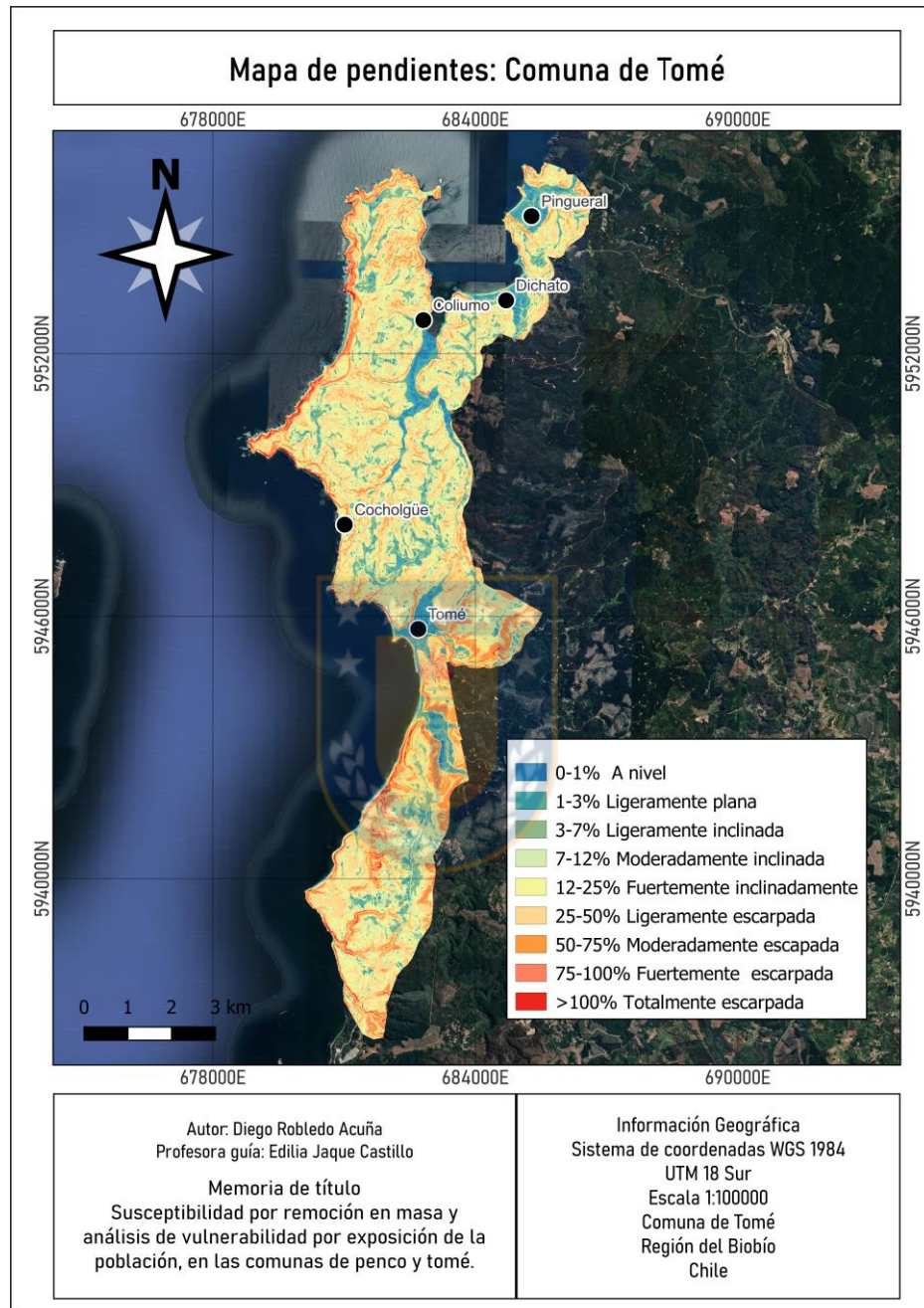


Figura N°32: Mapa de pendientes. Comuna de Tomé



Fuente: Elaboración propia. En base a DEM (MINVU, 2013)

8.3.1.4. La cobertura vegetal como factor condicionante de RM

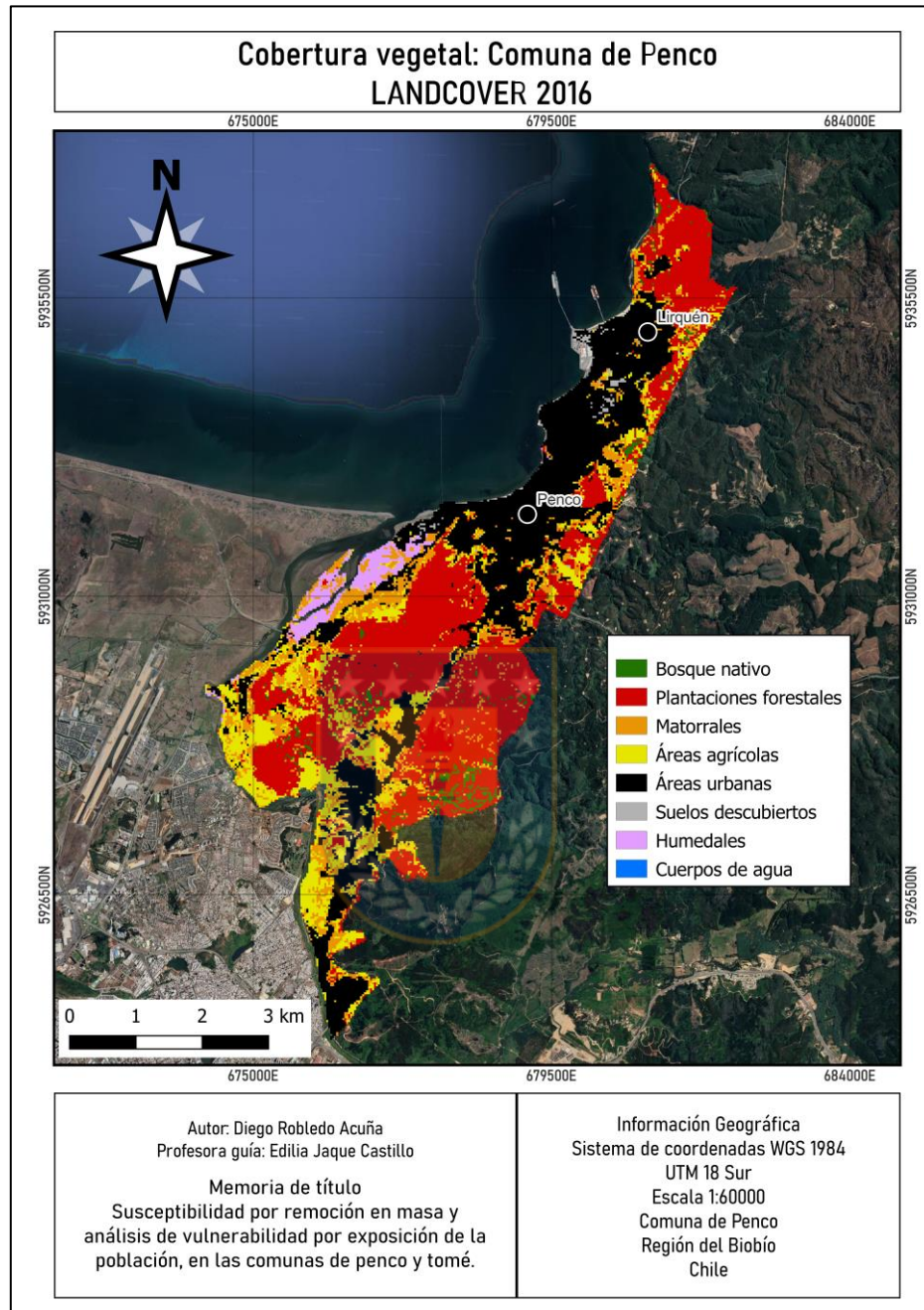
Para generar el mapa de cobertura vegetal en las comunas de Penco y Tomé, se trabajó en base a datos Raster obtenidos de un LandCover del AMC (Jaque et al., 2021) y se procede a realizar un geoproceto para cortar el Raster de acuerdo al área de estudio.

La capa de origen se encontraba clasificada en 8 clases; Bosques nativos, plantaciones forestales, matorrales, áreas agrícolas, áreas urbanas, suelos descubiertos, humedales y cuerpos de agua.

a) Comuna de Penco

En base a los resultados del mapa de cobertura vegetal en la comuna de Penco, es posible destacar que, las plantaciones forestales abarcan un área de 1064,2 ha, un 39% del área de estudio. Localizándose principalmente en áreas que se caracterizan por tener laderas de fuerte pendiente y escarpadas. Las áreas urbanas comprenden un área de 836,47 ha, un 30% del área de estudio. Esta mancha representa emplazamientos urbanos y redes viales. Áreas agrícolas y matorrales comprenden un área de 364,32 ha y 355,16 ha respectivamente, representando un 13% de la comuna cada una. En la comuna de Penco, los bosques nativos (59,72 ha) solo representan un 2% del área de estudio.

Figura N°33: Mapa de cobertura vegetal. Comuna de Penco



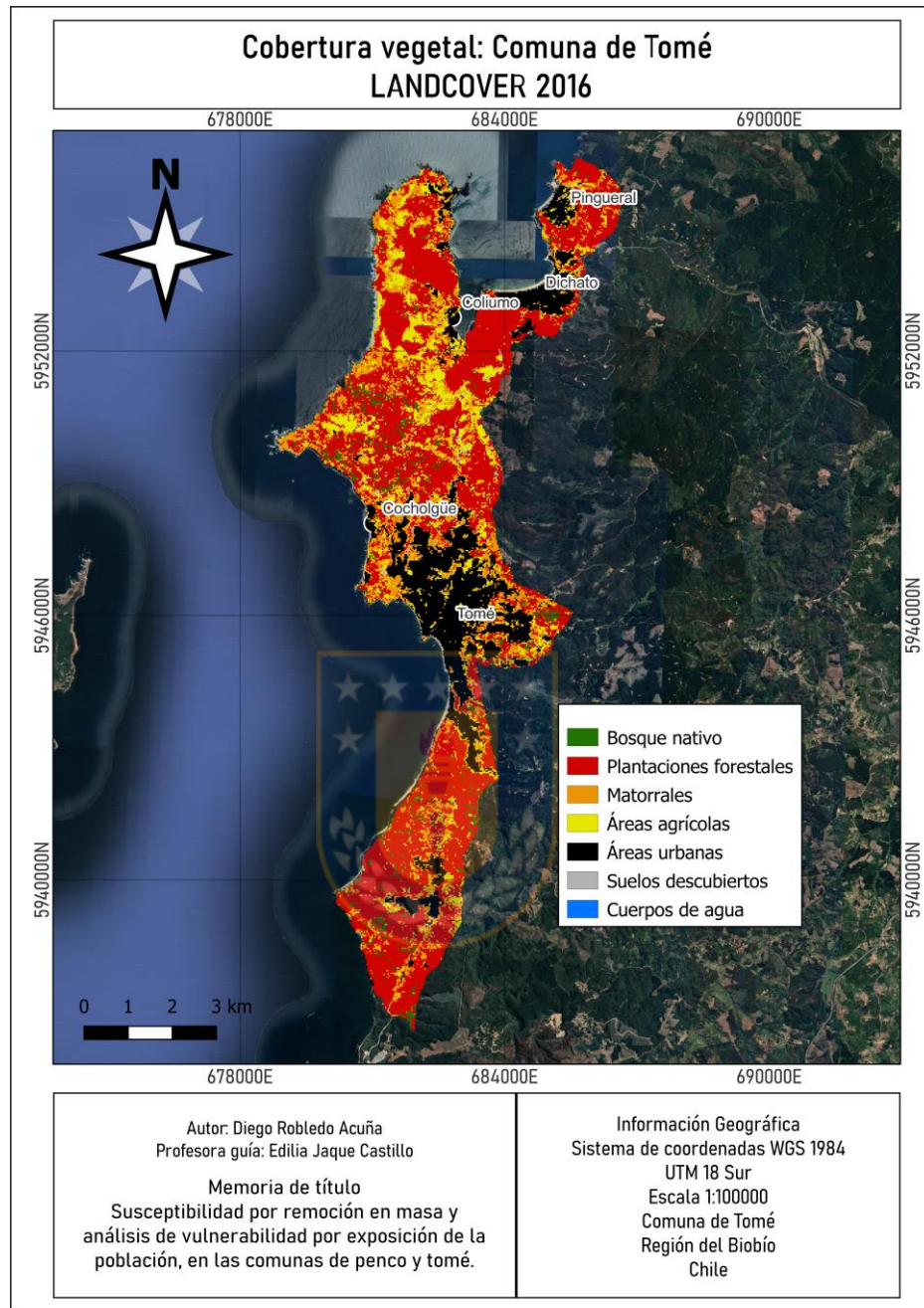
Fuente: Elaboración propia. En base a LandCover (Jaque et al., 2021)

b) Comuna de Tomé

En base a los resultados del mapa de cobertura vegetal en la comuna de Tomé. Es posible establecer que existe una predominancia de las plantaciones forestales, las cuales representan un área de 2567,97 ha, comprendido un 51% del área de estudio, estas se localizan principalmente al norte y sur de la comuna de Tomé. En esta área de estudio ocurre una situación similar a la que vive la comuna de Penco, debido a la localización de plantaciones forestales en zonas de fuerte pendientes. Lo siguen las áreas urbanas y matorrales con un área de 871,39 ha y 833,34 ha respectivamente, representando un 13% del área de estudio cada una. Las áreas agrícolas (580,22 ha) representan un 12% del área de estudio y los bosques nativos (143,71 ha) solo representan un 3% del área de estudio.



Figura N°34: Mapa de cobertura vegetal. Comuna de Tomé



Fuente: Elaboración propia. En base a LandCover (Jaque et al., 2021)

8.3.2 Reclasificación de factores condicionantes

A partir de la elaboración de cartografías temáticas de cada variable/factor que actúa como agentes condicionantes ante la generación de eventos de remociones en masa, se procede a reclasificar las entidades que componen cada variable según su grado de susceptibilidad (**Anexo N°1**). Se le asignará un valor de 1 a 5; siendo 1 (Muy bajo), 2 (Bajo), 3 (Medio), 4 (Alto) y 5 (Muy alto).

Los criterios para realizar la reclasificación de las variables fueron definidos a partir del juicio de un experto, en este caso fue realizado por la profesora guía, a cargo de esta investigación.

El resultado que se obtiene son las variables clasificadas según el grado de susceptibilidad de las entidades que la componen. Las cartografías de las variables condicionantes reclasificadas se encuentran disponibles en el **Anexo N°3**

8.4 Mapa de susceptibilidad general en las comunas de Penco y Tomé

Una vez generado los mapas de cada una de las variables reclasificadas según su grado de susceptibilidad, se procede a convertir las capas vectoriales a formato Raster para su implementación en la calculadora Raster y ejecutar el algebra de mapas (Formula) con las ponderaciones/peso (Tabla N°13) establecidas para cada variable según la metodología. Como resultado se obtiene un mapa final generado en base a la superposición de las capas (variables) según su peso. Finalmente, a este mapa se le realiza una última reclasificación, en 5 clases según el grado de susceptibilidad propuesta por Mora & Vahrson. (Tabla N°9)

Tabla N°13: Porcentaje de los parámetros

Variable	Ponderación (%)
Geomorfología	20
Geología	30
Pendiente	30
Cobertura vegetal	20

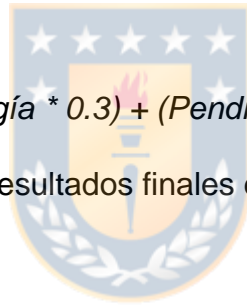
Fuente: Mora y Vahrson (1994). Sacado de López, R.E., Zuluaga, A.D., Gómez, F. & Tapia, L. (2020)

- Fórmula aplicada en la herramienta “Raster Calculator” (QGIS), para la generación del mapa final de susceptibilidad frente d

Susceptibilidad (SUSC)

$$= (\text{Geomorfología} * 0.2) + (\text{Geología} * 0.3) + (\text{Pendiente} * 0.3) + (\text{Cobertura vegetal} * 0.2)$$

A continuación, se mostrarán los resultados finales de los procedimientos anteriormente mencionados:



a) Comuna de Penco

Considerando los resultados generados en base al mapa de susceptibilidad general (Figura N°35 y Tabla N°14) en la comuna de Penco, se puede decir que, un 58% del área de estudio posee como mínimo un nivel de susceptibilidad “**Media**”. En otras palabras, más de la mitad del área de estudio presenta condiciones idóneas para la generación de eventos de remoción en masa.

Al analizar las áreas que se encuentran bajo un nivel de susceptibilidad media, alta y muy alta, podemos detectar que estas zonas se encuentran emplazadas mayoritariamente sobre relieves accidentados con presencia de pendientes abruptas y escarpadas. Por ejemplo, cordones montañosos de roca granítica, cordones montañosos de roca sedimentaria, cerros

isla, conos de deslizamiento y derrumbe. También otro factor que tiene implicancia en estas zonas es la cobertura vegetal. Las áreas que se encuentran bajo estos niveles de susceptibilidad se localizan predominantemente en áreas establecidas como plantaciones forestales. Es importante destacar que estas zonas presentan fuerte dinámicas de denudación del suelo debido a la actividad productiva que se llevan a cabo en ella. Principalmente a procesos de deforestación periódica, siendo este un factor determinante para la generación de eventos de remociones en masa.

Estas condiciones susceptibles es posible encontrarlas en ciertos sectores de la comuna de Penco, por ejemplo, Villa Montahue, población Forjadores de Chile, sector Baquedano, población Antonio Varas en Lirquén, ciertos tramos de la autopista Bypass de Penco, entre otros.

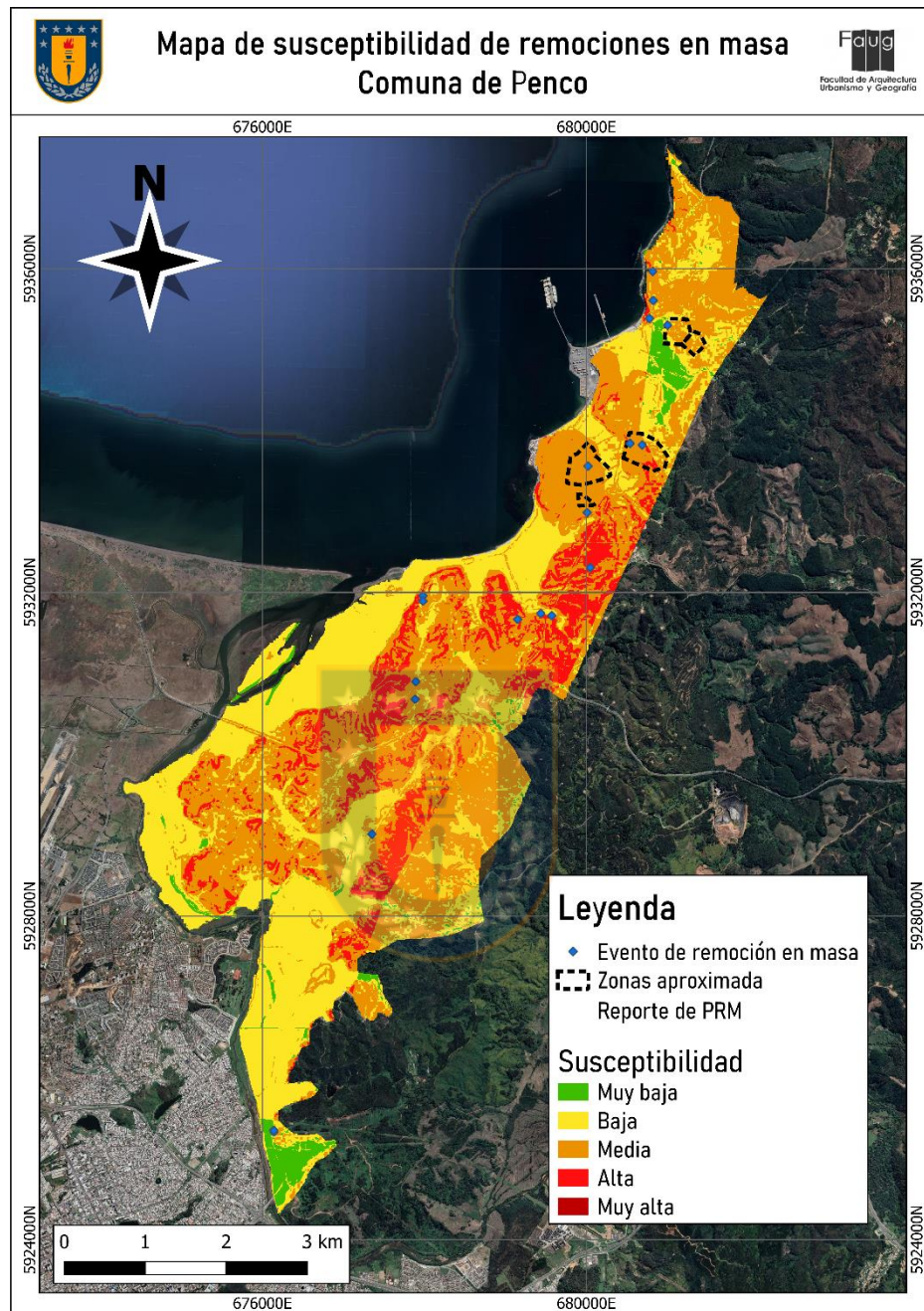
Por otro lado. Un 43% del área de estudio se encuentra en niveles de susceptibilidad “**Muy baja – Baja**”. Estas zonas se caracterizan por estar emplazadas sobre terrazas y llanuras fluviales, y Terrazas y plataformas de abrasión marina de roca sedimentaria y/o roca metamórfica. Las pendientes que están presentes en estas zonas son relativamente débiles o nulas. En estas zonas podemos encontrar el centro urbano de la comuna de Penco, zonas residenciales, puerto de Lirquén, etc.

Tabla N°14: Distribución de susceptibilidad general. Comuna de Penco

Nivel de susceptibilidad	%	Área (ha)
Muy baja	3%	85,68
Baja	40%	1061,03
Media	46%	1225,39
Alta	12%	310,13
Muy alta	0%	0,06

Fuente: Elaboración propia

Figura N°35: Mapa de susceptibilidad general. Comuna de Penco



Fuente: Elaboración propia

b) Comuna de Tomé

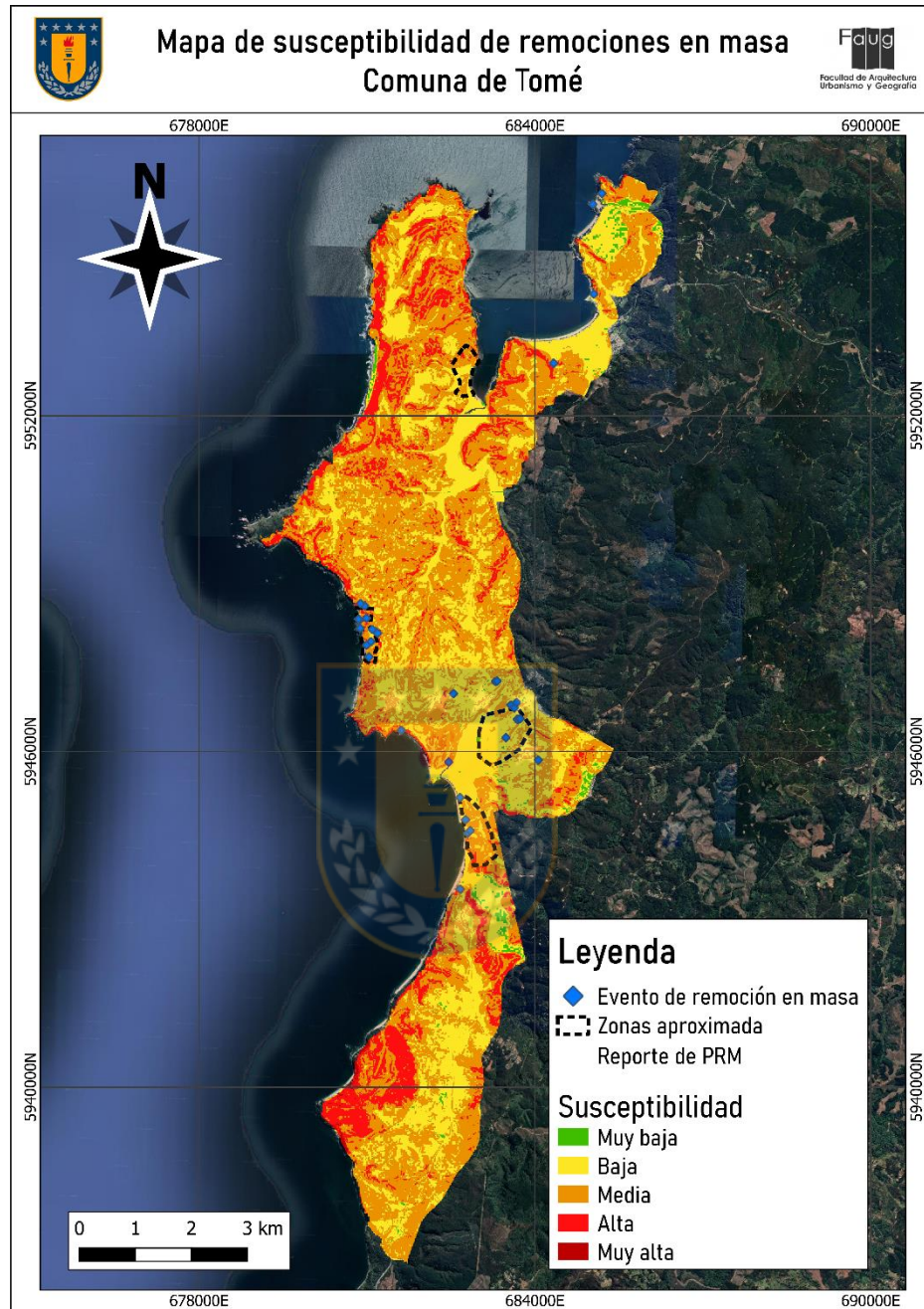
Considerando los resultados generados en base al mapa de susceptibilidad general (Figura N°36 y Tabla N°15) en la comuna de Tomé, se puede decir que, un 63% del área de estudio se encuentra en niveles de susceptibilidad “Media - Alta”. Este valor considerable se debe principalmente a que una parte importante del área de estudio presenta una susceptibilidad Media (50%).

Al analizar las áreas que se encuentran bajo un nivel de susceptibilidad media, alta y muy alta, podemos identificar que se tratan de laderas de cordones montañosos, acantilados marinos activos con presencia de conos de deslizamiento y derrumbe, erosión en manto y en cárcavas. Estas zonas se caracterizan por presentar pendientes abruptas y fuertemente escarpadas. En esta área de estudio se repiten las dinámicas apreciadas en la comuna de Penco, en relación a la cobertura vegetal. Considerando que un 51% del área de estudio corresponden a plantaciones forestales.

Estas condiciones susceptibles es posible encontrarlas en ciertos sectores de la comuna de Tomé. Por ejemplo, gran parte de la línea de costa del área de estudio, influenciada por acantilados marinos activos e inactivos de fuertes pendientes, Cuesta Caracol, Cerro Alegre, Cerro Estanque y Caleta Cocholgue.

Por otro lado, un 36 % del área de estudio se encuentra en niveles de susceptibilidad “Muy baja – Baja”. Estas zonas se caracterizan por estar emplazadas sobre terrazas y llanuras fluviales, y Terrazas y plataformas de abrasión marina de roca sedimentaria y/o roca metamórfica. Estas zonas presentan pendientes débiles o nulas. En ella es posible encontrar emplazado el centro de Tomé, zonas residenciales y terrenos agrícolas, principalmente al norte de la comuna.

Figura N°36: Mapa de susceptibilidad general. Comuna de Tomé



Fuente: Elaboración propia

Tabla N°15: Distribución de susceptibilidad general. Comuna de Tomé

Nivel de susceptibilidad	%	Área (ha)
Muy baja	1%	52,13
Baja	35%	1642,11
Media	50%	2380,93
Alta	13%	632,86

Muy alta	0%	7,26
----------	----	------

Fuente: Elaboración propia

8.5 Evaluación de la vulnerabilidad por exposición de la población ante eventos de remoción en masa en las comunas de Penco y Tomé

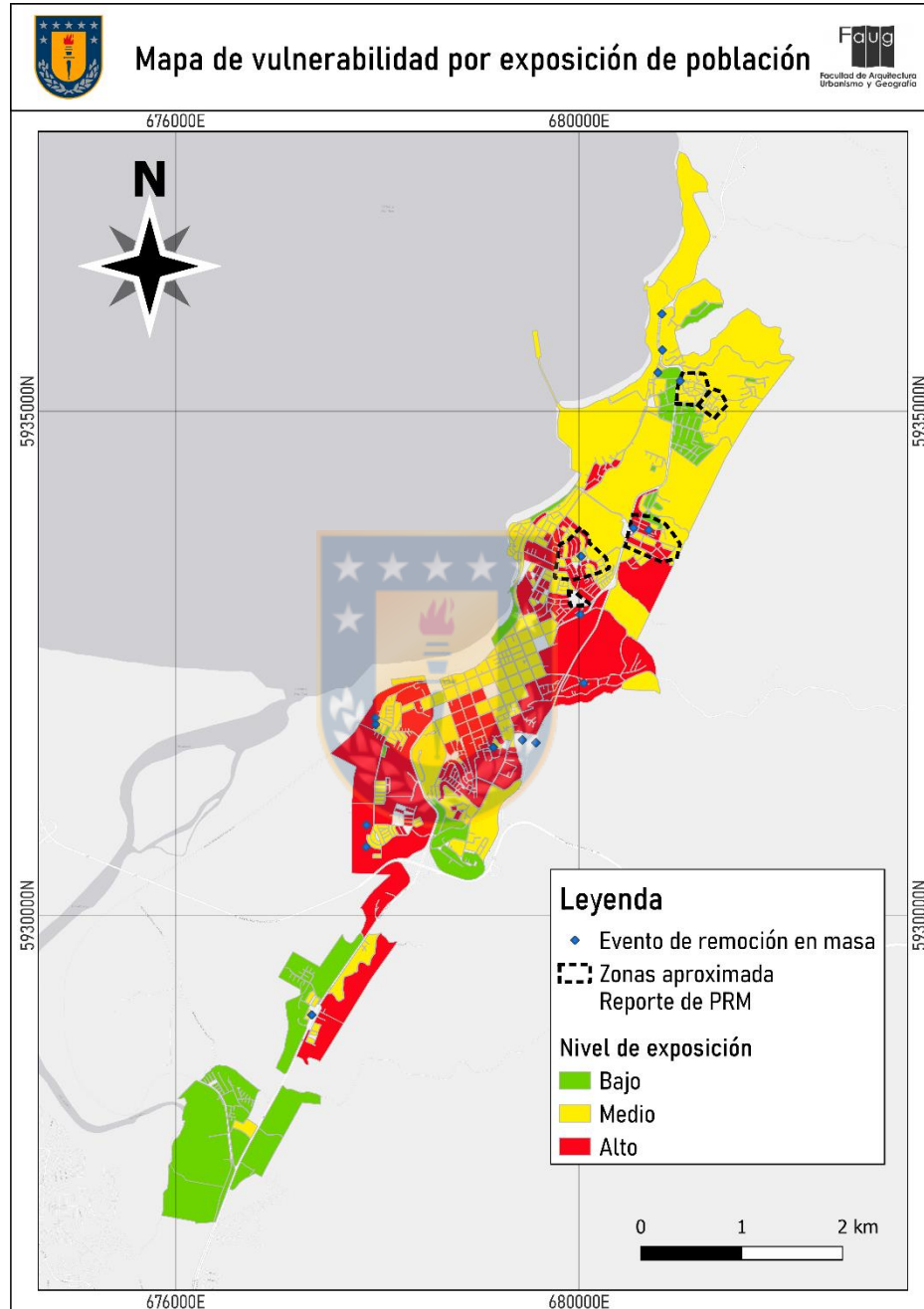
Para determinar la vulnerabilidad por exposición de la población, se trabajó en base a la técnica de superposición de mapa. Las capas espaciales que se utilizaron en este procedimiento fueron: “Manzanas censales” (Microdatos Censo 2017. IDE Chile) y los mapas generales de susceptibilidad ante PRM generados en esta investigación.

Antes de superponer los mapas, se realizó una reclasificación a los mapas generales de susceptibilidad en 3 clases (Bajo, medio, alto), mediante la opción de Natural Breaks. Una vez realizado este proceso, se procede a la superposición de las dos capas mediante el geoproceto “Unir atributos por localización” (Qgis). Para definir los niveles de exposición de cada manzana, se selecciona el tipo de unión “ Toma atributos del objeto con el traslape más grande solamente (uno-a-uno), lo cual conlleva a una homogenización de la manzana según el nivel de susceptibilidad que tenga mayor predominancia dentro de los límites de cada manzana. Finalmente se obtienen las manzanas clasificadas según su grado de exposición, a partir de la susceptibilidad presente en el área.

a) Comuna de Penco

Como resultado de la superposición de las capas de susceptibilidad general y manzanas censales en la comuna de Penco (Figura N°37 y Tabla N°16) , se obtiene que; De un total de 46.382 habitantes, el 45% de la población presenta un nivel **medio** de vulnerabilidad por exposición frente a PRM (20.807 hab. y 6.867 viviendas), un 37% presenta un nivel **alto** de vulnerabilidad por exposición frente a PRM (17.242 hab y 5.637 viviendas) y un 18% de la población presenta un nivel **bajo** de vulnerabilidad por exposición frente a PRM (8.333 hab y 2.891 viviendas).

Figura N°37: Mapa de vulnerabilidad por exposición de la población. Comuna de Penco



Fuente: Elaboración propia

Tabla N°16: Distribución de vulnerabilidad por exposición de la población. Comuna de Penco

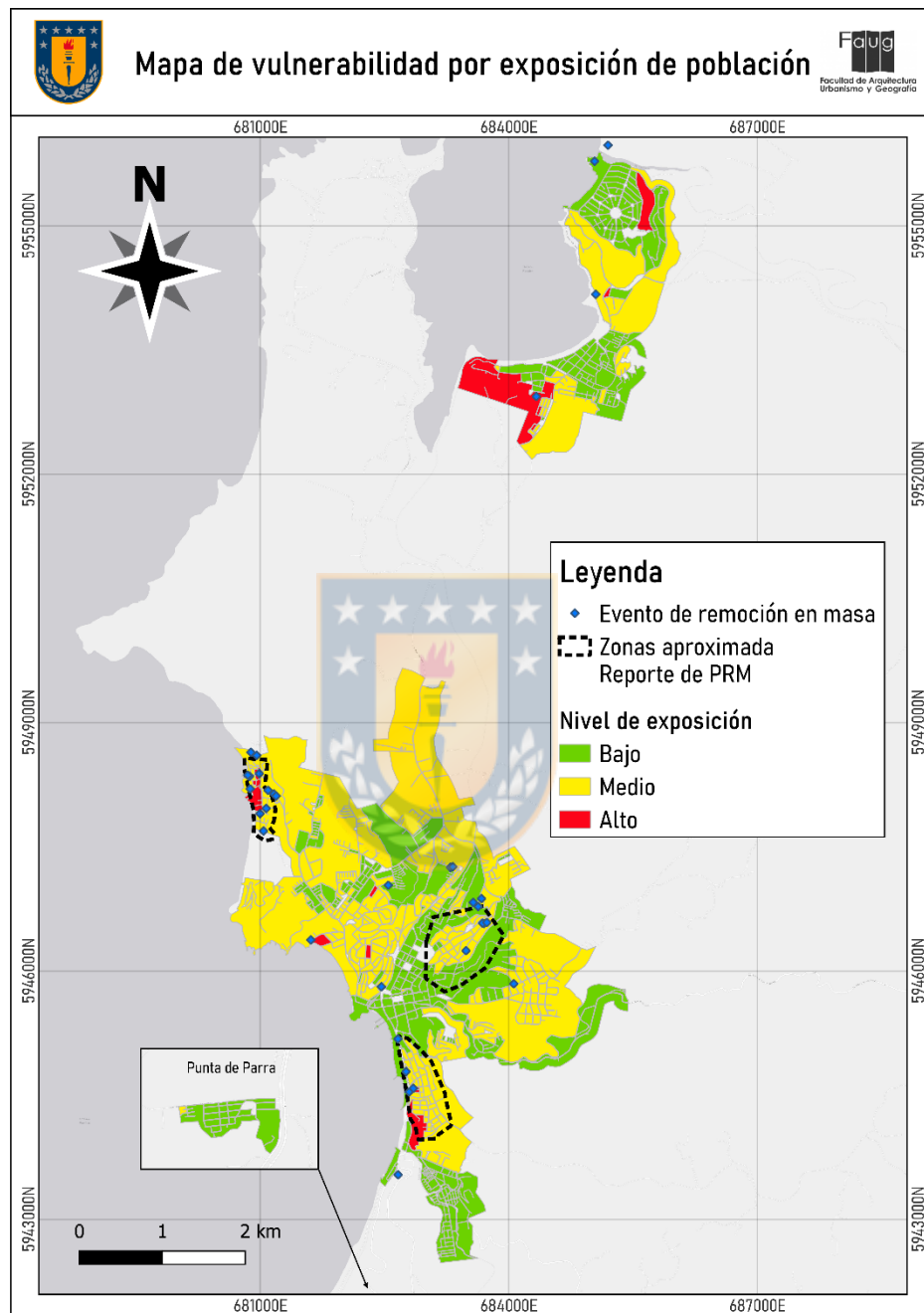
Nivel de exposición	Habitantes	Viviendas	Área (ha)
Bajo	8333	2891	205,1
Medio	20807	6867	491,1
Alto	17242	5637	341,01
Total	46382	15395	1037,21

Fuente: Elaboración propia

b) Comuna de Tomé

Como resultado de la superposición de las capas de susceptibilidad general y manzanas censales en la comuna de Tomé (Figura N°38 y Tabla N°17) , se obtiene que; De un total de 47.488 habitantes, el 53% de la población presenta un nivel **medio** de vulnerabilidad por exposición frente a PRM (25.095 hab y 9.601 viviendas), un 45% presenta un nivel **bajo** de vulnerabilidad por exposición frente a PRM (21.460 hab y 9.155 viviendas) y un 2% de la población presenta un nivel **alto** de vulnerabilidad por exposición frente a PRM (933 hab y 566 viviendas).

Figura N°38: Mapa de vulnerabilidad por exposición de la población. Comuna de Tomé



Fuente: Elaboración propia

Tabla N°17: Distribución de vulnerabilidad por exposición de la población. Comuna de Tomé

Nivel de exposición	Habitantes	Viviendas	Área (ha)
Bajo	21460	9155	517,12
Medio	25095	9601	901,7
Alto	933	566	70,52
Total	47488	19322	1489,34

Fuente: Elaboración propia

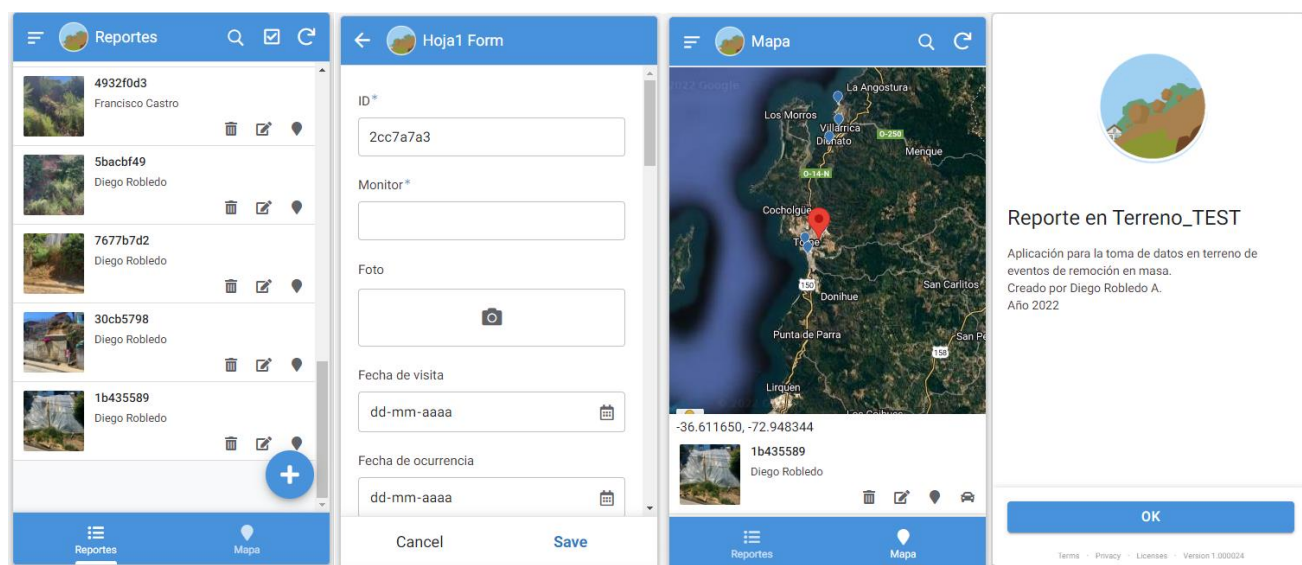
8.6 Aplicación móvil para la toma de datos en terreno

El desarrollo de la aplicación móvil se enfocó principalmente en la estructuración de la plantilla Excel, diseño y la integración de nuevas funciones. Como, por ejemplo, registrar coordenadas en base al GPS del dispositivo móvil con un error aproximado de 5 metros.

La aplicación está compuesta por tres ventanas (Figura N°39). La **principal**, con el listado general de todos los eventos registrados, la segunda ventana es **Añadir nuevo evento** y la tercera es un **visor** con los puntos reportados.

En las comunas de Penco y Tomé fue posible reportar un total de 11 eventos de remociones en masa utilizando la aplicación.

Figura N°39: Ventanas App para la toma de datos en terreno



Fuente: Captura propia. Desde la App

9. Conclusiones y discusión

En el presente estudio de evaluación de la susceptibilidad de remociones en masa según factores condicionantes para las comunas de Penco y Tomé, se abarcaron un total de 7397,58 hectáreas e involucró a una población de 93.870 habitantes en total.

En base a las hipótesis y preguntas propuestas en esta investigación y los resultados obtenidos, es posible determinar las siguientes conclusiones:

- El inventario multitemporal de procesos de remoción en masa en las comunas de Penco y Tomé durante los años 1990-2020, fue una herramienta fundamental para este estudio, dado que nos permitió en primer lugar, registrar eventos históricos de PRM de manera detallada y ordenada. Simplificando la tarea a la hora de cuantificar los eventos, realizar estadística, identificar patrones, realizar comparaciones, etc.

El inventario representa una pieza clave para la identificación de zonas críticas en las comunas de Penco y Tomé. Los resultados de este inventario actuaron como una especie de guía para la planificación de las rutas de salidas de terreno. Lo interesante de este resultado, se dio a la hora de visitar en terreno de los puntos. Debido que, al visitar un evento en concreto, era posible identificar nuevos eventos remociones en masa en el sector que no se encontraban reportados en prensa. Esta dinámica se repitió en diversos lugares del área de estudio. Por ejemplo, Camino a Penco, Población Antonio Varas, Av. Latorre, cerro Estanque, etc.

- A partir de los resultados de susceptibilidad, exposición de la población y visitas en terreno, es posible reconocer una serie de escenarios que presentan condiciones similares ante la generación de PRM en las comunas de Penco y Tomé. Fue posible identificar tres escenarios potenciales de riesgo :

Escenario 1. Zonas periurbanas o de interfaz urbana - forestal. Los sectores ubicados en las periferias de las comunas de Penco y Tomé presentan una fuerte actividad forestal sobre relieves accidentados, que tienen consecuencias directas en la calidad del suelo. No solo se contempla a las plantaciones forestales de monocultivo como

agentes de desequilibrio, también involucra la creación de caminos forestales, creación de surcos para las plantaciones, arrastre de troncos sobre laderas, tránsito de vehículos pesados, procesos de deforestación, etc. Todas estas acciones tienen implicancia en la disminución de la cobertura vegetal y también en el desarrollo de dinámicas erosivas que alteran el estado del suelo, principalmente en la compactación. El aumento de la densidad reduce la porosidad del suelo y afecta el crecimiento de vegetación. Además, genera una disminución de la permeabilidad del suelo, afectando en la escorrentía superficial, lo que se traduce en un aumento de la erosión sobre la ladera debido a que existe una mayor capacidad de transporte de sedimento ladera abajo.

Otra dinámica identificada en zonas de interfaz urbano- forestal, se relaciona con la cercanía de las viviendas y la amenaza de incendios forestales. Ante la amenaza de estos en cada verano, empresas forestales y el municipio realizan cortafuegos en puntos estratégicos de las comunas. Pero también esta acción es replicada en otros sectores de manera particular por los propios vecinos. Esto implica el desconocimiento de algunas consecuencias que podría traer esta acción, tales como denudación del suelo, modificación de la geometría de la ladera, creación de taludes que afectarían en la estabilidad de la ladera.

En relación a las características presentes este tipo de escenario, es posible destacar los siguientes sectores; En la comuna de Penco: Villa Montahue, Villa Renacer, Pob. Jaime Lea Plaza, Pob. Antonio Varas y Pob. Vista Hermosa. En la comuna de Tomé destacan: Sector El Santo, Villa Nuevo Tomé, Pob. Miramar, Villa El Mirador.

Al considerar solo las manzanas censales que presentan una exposición mediana y alta , que limitan con la interfaz urbano-forestal, es posible cuantificar una población de 5.247 Hab. y 1.720 viviendas en la comuna de Penco y 8.542 hab. y 3.354 viviendas en la comuna de Tomé.

Escenario 2. Asociado al borde costero metropolitano; donde destacan acantilados marinos activos e inactivos, terrazas marinas y cordones graníticos. Estas unidades se caracterizan por su alta densidad de fracturas y/o diaclasas; con pendientes abruptas y escarpadas ($> 20^\circ$). Gran parte de los eventos de remoción en masa en estas zonas están relacionado a caídas y vuelcos de rocas. Los deslizamientos identificados corresponden principalmente al tipo traslacional y el material transportado a rocas, suelo residual y detritos.

Con respecto a la población expuesta en este tipo de escenario, Gran parte de la población se concentra en Caleta Cocholgue. Emplazados en zonas que presentan una exposición media y alta. Es posible cuantificar una población de 555 hab. y 476 viviendas en el sector.

Escenario 3. Corresponde a las laderas urbanizadas de los cordones graníticos y metamórficos; destacan el Cerro Rahue (Penco), Cerro Alegre (Tomé) y Cerro Estanque (Tomé). Las poblaciones que se encuentran en este tipo de escenario presentan niveles de exposición predominantemente medio, seguido por niveles bajos. Los sectores presentes en este escenario se encuentran densamente poblados con una distribución irregular sobre la ladera. En terreno fue posible reconocer que existe un predominio de viviendas de material ligero que se encuentran levantadas sobre aterrazamiento de carácter antrópico. De igual manera, se constató en terreno la presencia maicillo y rocas con un avanzado estado de meteorización en diversos sectores del área de estudio. También se pudo apreciar la existencia de numerosas obras de mitigación en la ladera. En contraste, en la misma zona, las zonas que no presentaban obras de fortificación sufrieron las consecuencias de eventos de remociones en masa.

La población Vista Hermosa en Lirquén, es un claro ejemplo de este tipo de escenario, destacando una serie de características presentes en el lugar, tales como: Viviendas de material ligero asentadas en aterrazamiento antrópicos, algunas de estas presentan muros de contención y sistemas de drenaje de agua lluvia. La accesibilidad

es un factor a considerar en cuanto a la capacidad de respuesta y trabajo de los equipos de emergencia ante un eventual evento de remoción en masa. En este tipo de escenarios es común encontrar pasajes de pequeñas dimensiones en pendientes pronunciadas, que dificultan el acceso a vehículos de emergencia y tránsito de la población . También existen pasajes que solo es posible acceder por medio de escaleras.

En base a las experiencias recopiladas durante el transcurso de esta investigación es importante mencionar lo siguiente:

- Una vez que se contaron con los resultados de los análisis de susceptibilidad frente a remociones en masa y exposición de la población. Los testimonios de los vecinos en los sectores críticos, jugaron un rol fundamental a la hora de analizar la problemática desde una perspectiva integral, entregando una serie de antecedentes claves , que permiten reconocer patrones que constituirían a la construcción social del riesgo en las comunas de Penco y Tomé.

En trabajos de terreno, en primer lugar, se registraron los eventos de remoción en masa presentes en el lugar, utilizando la aplicación móvil. Posteriormente se les consultó a los vecinos para obtener mayores antecedentes sobre el evento en particular y también sobre el barrio . Estos relatos nos sirven para contextualizar el entorno en el cual se llevan a cabo este tipo de fenómenos. En algunos casos nos brindan información relacionada a la fecha de ocurrencia de los eventos, descripción del movimiento, geometría original de la ladera, aproximaciones de volumen del material desplazado, etc. Una situación que se repitió en algunos relatos, es el trabajo de desmalezado de la vegetación de una ladera realizado por los mismos vecinos, previo a un evento de remoción en masa. Muchas veces motivado por el temor de incendios forestales y presencia de plagas.

Existen una serie de antecedentes que se repiten en los testimonios de los vecinos consultados. En gran parte de los sectores visitados en terreno, los vecinos comentan

que el origen de los barrios se remontan a tomas irregulares sobre terrenos pertenecientes a empresas textiles y portuarias de las comunas de Penco y Tomé, que posteriormente fueron regularizados con títulos de dominio. Estos sectores se encuentran principalmente en zonas periféricas (Interfaz Urbano – Forestal) y en zonas que presentan un relieve accidentado (laderas de cordones montañosos con pendientes que superan los 20° de inclinación y terrazas marinas que superan los 100mts.).

Este tipo de dinámicas es el resultado de procesos socioeconómicos e históricos, que tienen implicancia en la construcción social de escenarios de riesgo. La inexistente planificación territorial y el desconocimiento y necesidad de la población, tiene como consecuencia la construcción de viviendas sobre zonas potenciales de riesgo, sin tener en consideración parámetros mínimos para una habitabilidad segura, teniendo en cuenta, por ejemplo, la estabilidad de la ladera, tipo de suelo, calidad del suelo, estado de la roca, materialidad de la vivienda, obras de mitigación necesarias, accesibilidad, etc.

Es interesante observar cómo los efectos y consecuencia de estos eventos de remociones en masa se expresan de manera diferenciada en el territorio, como resultado de dinámicas socioespaciales, en este caso considerando el contexto de constitución y desarrollo de los barrios. A propósito de esto, es relevante mencionar otra situación que se identificó en terreno. Al visitar algunos eventos de remociones en masa reportados, dimos cuenta que en el sector se encontraban emplazadas viviendas sociales. Esta situación se evidenció en Lomas de San José, Villa Montahue y en algunos sectores de Dichato. En estos dos últimos sectores en particular, fueron levantados conjuntos habitacionales con motivo de un plan de reconstrucción del terremoto y tsunami ocurrido el 27 de febrero del 2010, para los damnificados de aquel evento. Entonces al evidenciar esta situación, nace la discusión sobre la participación y responsabilidad de los órganos de la Administración del Estado en la construcción social del riesgo. Un claro ejemplo de este caso fue la relocalización de los damnificados del 27F (Villa Montahue y Dichato) desde un escenario de riesgo

(Tsunami) hacia “otro” escenario potencial de riesgo, sin una previa planificación detallada, probablemente como una medida de respuesta reactiva ante las circunstancias y contextos de emergencia que se vivían en ese momento.

- También fue posible identificar una concentración de eventos de remoción en masa, reportados en zonas que se encuentran en condiciones de mediana y alta vulnerabilidad. Podemos señalar lo siguiente:

A partir del mapa de vulnerabilidad por exposición de la población en la comuna de Penco y los puntos de eventos de remociones en masa reportados en prensa, Sernageomin y en terreno, se logró identificar que gran parte de las áreas aproximadas de reporte de PRM y 12 puntos de remociones en masa se encuentran en zonas que presentan un nivel de exposición media y alta. Reconociendo concentraciones en sectores como, Villa Montahue y Población Forjadores de Chile, que comparten el mismo relieve montañoso. Otro sector en donde existe una concentración de puntos de PRM es en la población Antonio Varas, emplazada sobre el cerro Rahue, Lirquén.

En la comuna de Tomé también logró identificar 24 puntos y áreas aproximadas de reporte de PRM en zonas que presentan un nivel de vulnerabilidad por exposición media y alta. En este caso las concentraciones son más notorias con respecto a la comuna de Penco. La mayor concentración de reportes se encuentra en Caleta Cocholgue (12 puntos), localizándose principalmente en los acantilados marinos y antiguo acceso a la caleta. Otro sector relevante es el cerro Estanque registrando 7 eventos de remociones en masa.

Durante el transcurso de esta investigación se encontraron una serie de limitaciones que dificultaron el desarrollo de este trabajo. Las limitaciones son las siguientes:

- La calidad de la información de los eventos de PRM reportados en el inventario multitemporal, depende de cuan detallada se encuentre la nota periodística. En

muchos casos se reporta un evento, pero no se detalla la fecha de ocurrencia, infraestructura afectada ni el sector en el cual ocurrió. Esto dificulta la labor de georreferenciación de los eventos y complejidad de la información del inventario.

- La capa espacial de unidades geomorfológicas (1995) no se encuentra actualizada y además presentaba problemas de geometría y de desplazamiento, las cuales se intentaron corregir lo máximo posible de acuerdo con los tiempos que se contaba.
- La escala (1:1.000.000) de la capa espacial de geología fue una limitante a la hora de ejecutar el modelo , debido a que homogeniza parte del resultado . También mencionar la dificultad para encontrar información espacial sobre variables geológicas con una escala más adecuada al área de estudio.

Para concluir. Bajo esta visión de análisis integral. El conjunto de técnicas y herramientas empleadas en este trabajo y fundamentalmente los resultados obtenidos en esta investigación, pueden utilizarse como una herramienta de apoyo para la gestión del riesgo (GRD), desde un enfoque prospectivo hasta correctivo. De manera que la información recopilada, en este caso en el inventario multitemporal, los mapas de susceptibilidad y de exposición de la población, puedan ser considerados como un antecedente estratégico a la hora de la toma de decisiones en el territorio. Como, por ejemplo, tener como referencia los escenarios de riesgos identificados en este trabajo, para la planificación territorial en nuevas poblaciones. O también llevar a cabo medidas y acciones de mitigación de manera focalizada en zonas críticas identificadas en esta investigación.

10. BIBLIOGRAFÍA

- Aguilar, M. (2018). *La clasificación climática de W. Köppen*. Universidad de Sevilla, Sevilla.
- Albornoz, F. (2018). *Evaluación de la susceptibilidad de remociones en masa en las laderas del Fiordo Comau, Región de Los Lagos, Chile*. Universidad de Chile, Facultad de Arquitectura y Urbanismo, Santiago.
- Banco Interamericano de Desarrollo. (2014). *Disaster Risk Management*. Obtenido de <https://www.iadb.org/es/ove/cambio-climatico-y-la-gestion-de-riesgo-de-desastres>
- Becerra, C., & De Rurange, J. (2018). *Modelo de susceptibilidad a procesos de remociones en masa en rutas cordilleranas de Chile Central: Ruta 115 CH, Paso Pehuenche, Región del Maule*.
- Bello, O., Bustamante, A., & Pizarro, P. (2020). *Planificación para la reducción del riesgo de desastre en el marco de la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible*. Santiago: Naciones Unidas.
- Buzai, G. (2014). *Metodología de evaluación multicriterio en el análisis espacial de la salud*. Universidad Autónoma del Estado de México, Facultad de Geografía. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/298318240_Metodologia_de_evaluacion_multicriterio_en_el_analisis_espacial_de_la_salud
- Campos, F. (2014). *Evaluación de la susceptibilidad de remociones en masa en la Quebrada de Los Chanchos, Región Metropolitana, Chile*. Universidad de Chile, Departamento de Geología, Santiago.
- Camus, P., Arenas, F., Lagos, M., & Romero, A. (2016). Visión histórica de la respuesta a las amenazas naturales en Chile y oportunidades de gestión del riesgo de desastre. *Revista de Geografía Norte Grande*, 9-20.
- Candia, J., & Herrera, F. (2017). *Catastro Remociones en masa a nivel Nacional*. Universidad Tecnológica Metropolitana, Facultad de Humanidades y Tecnologías de la Comunicación Social, Santiago.
- Cañete, O. (2017). Habitar en la quebrada. Resiliencia urbana y lenguaje de patrones en Valparaíso, Chile. *Revista de Urbanismo*.
- Cardona, O. (2001). La necesidad de repensar la manera holística los conceptos de vulnerabilidad y riesgo.
- Cardona, O. (2002). La necesidad de repensar la manera holística los conceptos de vulnerabilidad y riesgo.
- Cardona, O. (2003). *Evaluación de la amenaza, la vulnerabilidad y el riesgo*. UNDRO, Taller regional de capacitación para desastres.
- CEPAL. (2014). *Manual para la Evaluación de Desastres*. Santiago de Chile.
- CEPAL. (2014). *Manual para la Evaluación de Desastres*. CEPAL.
- CEPAL. (s.f.). *Acerca de Cambio climático*. Obtenido de <https://www.cepal.org/es/temas/cambio-climatico/acerca-cambio-climatico>

- CIREN. (s.f.). *Recursos naturales Comuna de San Fernando*.
- Cruden, D. (1991). *A simple definition of a landslide*. University of Alberta.
- Cruden, D., & Varnes, D. (1996). *Landslide Types and Processes*. National Academy of Sciences. Transportation Research Board.
- Diario Concepción. (29 de Octubre de 2020). Con 1 km de cortafuegos Penco busca evitar incendios forestales. *Diario Concepción*.
- Diario El Sur. (Julio de 1991). Cocholgue.
- ESRI. (s.f.). *La Importancia del Dónde. Cómo el análisis espacial conduce hacia el conocimiento*. Obtenido de <https://learn.arcgis.com/es/arcgis-book/chapter5/#learn-more>
- Fernández, T., Delgado, J., Cardenal, F., Jiménez, J., el Hamdouni, R., Irigaray, C., & Chacón, J. (2010). *Análisis de riesgos naturales a partir de infraestructuras de datos espaciales*. Sevilla: Secretariado de Publicaciones de la Universidad de Sevilla.
- Figueredo, A. (2015). *Remoción en Masa*. Escuela de Ingenieros Militares.
- Fuentes, F. (2021). *Causas y zonificación de los procesos de remoción en masa en la cuenca alta del Río Mapocho, comuna de Lo Barnechea, Santiago, Chile*. Universidad Andrés Bello, Facultad de Ingeniería, Viña del Mar.
- García, V. (2005). *El riesgo como construcción social y la construcción social de riesgos*. Desacatos.
- González de Vallejo, L. (2002). *Ingeniería geológica*. Pearson.
- GORE. (2015). *Zonificación Costera Comunal Penco*. Concepción.
- Guiñez, F. (2016). *Estratificación y zonificación de los suelos de la comuna de Penco, mediante la aplicación de SIG*.
- Hauser, A. (2000). Remociones en masa en Chile.
- Hernández, Y., & Vargas, G. (2012). *Imaginario sobre amenazas y gestión del riesgo urbano en Bogotá, Colombia*. Territorium 19.
- Highland, L. (2004). *Landslide Types and Processes*. USGS.
- Highland, L. (2008). *The Landslide Handbook- A Guide to Understanding Landslides*. U.S. Department of the Interior, Reston.
- Jaime, E., Larín, R., & Garea, E. (2011). *Hacia métodos de análisis de datos espaciales raster en el nivel semántico*.
- Jaque Castillo, E., Fernández, A., Fuentes Robles, R., & Ojeda, C. (2021). *Data-based wildfire risk model for Mediterranean ecosystems – case study of the Concepción metropolitan area in central Chile*.
- Lara, M., & Sepúlveda, S. (2008). *Remociones en masa*. Universidad de Chile, Departamento de Geología.

- Lara, M., & Sepúlveda, S. (2008). *Remociones en masa. Apuntes del curso*. Universidad de Chile, Departamento de Geología.
- Lavell, A. (2004). *Sobre la Gestión del Riesgo: Apuntes hacia una Definición*.
- Lavell, A. (2010). *Gestión Ambiental y Gestión del Riesgo de Desastre en el Contexto del Cambio Climático: Una Aproximación al Desarrollo de un Concepto y Definición Integral para Dirigir la Intervención a través de un Plan Nacional de Desarrollo*. Departamento Nacional de Planeación-DNP.
- León Aristizábal, G., & Pérez Betancourt, J. (2018). *Metodologías para evaluar la amenaza, vulnerabilidad, exposición y riesgo por ciclones tropicales*. Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres.
- López, J. J., & López, C. A. (2004). El urbanismo de ladera: Un reto ambiental, tecnológico y del ordenamiento territorial. *Revista Bitácora Urbano Territorial*.
- López, R., Zuluaga, A., Gómez, F., & Tapia, L. (2020). *Aplicación del método Mora-Vahrson para evaluarla susceptibilidad a deslizamiento en el municipio de Manaure, Cesar, Colombia*.
- López, V. (2019). *Susceptibilidad de remociones en masa y evaluación de agentes desencadenantes en los alrededores de la Quebrada Santos Ossa, Región de Valparaíso*. Universidad Andrés Bello, Facultad de Ingeniería, Viña del Mar.
- Mardones, M., & Rojas, J. (2012). *Procesos de remoción en masa inducidos por el terremoto del 27F de 2010 en la franja costera de la Región del Biobío, Chile*. Universidad de Concepción, Departamento de Sociología y Antropología, Concepción.
- Maskrey, A. (1997). *Comunidad y desastre en América Latina: Estrategias de intervención*.
- Mendoza, A., Solano, C., Palencia, D., & García, D. (2019). *Aplicación del proceso de jerarquía analítica (AHP) para la toma de decisión con juicios de expertos*. Arica: Revista chilena de ingeniería.
- Mora, R. (2013). *Fundamento sobre deslizamientos. III Curso Internacional sobre microzonificación y su aplicación en la mitigación de desastres*.
- Mora, S., & Vahrson, W. (1994). *Macrozonation Methodology for Landslide Hazard Determination*.
- Mujica, S., & Pacheco, H. (2013). *Metodología para la generación de un modelo de zonificación de amenaza por procesos de remoción en masa, en la cuenca del río Camurí Grande, Estado Vargas, Venezuela*. Caracas: Red de Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal.
- Naranjo, J. (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*. Subdirección Nacional de Geología.
- OCHA. (2020). *Desastres naturales en América Latina y el Caribe 2000-2019*.
- Oficina Técnica, Comisión Regional de Uso del Borde Costero. (2015). *Zonificación Costera Comunal Tomé*. Concepción.
- Oficina técnica. Comisión Regional de Uso del Borde Costero. (2015). *Zonificación Costera Comunal Penco*. Departamento de Planificación y Ordenamiento Territorial.

- Olcina, J. (2008). *CAMBIOS EN LA CONSIDERACIÓN TERRITORIAL, CONCEPTUAL Y DE MÉTODO DE LOS RIESGOS NATURALES*. Barcelona: REVISTA ELECTRÓNICA DE GEOGRAFÍA Y CIENCIAS SOCIALES.
- Padilla, O., Cruz, M., & Jaramillo, C. (2014). *Determinación de la probabilidad de ocurrencia de deslizamientos aplicando lógica Fuzzy vs Mora- Vahrson, en el área Monjas- Itchimbía- Panecillo, del Distrito Metropolitano de Quito, (DMQ) y simulación en 3D*. Universidad de las Fuerzas Armadas, Ecuador. Obtenido de <https://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/8231/1/AC-GMA-ESPE-047846.pdf>
- Pérez, B. (2014). *Caracterización Geotécnica de los deslizamientos de taludes del KM 18+900 al KM 19+600 de la ruta Departamental 5, Carretera a Ciudad Quetzal, San Juan Sacatepéquez, Guatemala*. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería.
- PNUD Chile. (2012). *Conceptos Generales sobre Gestión del Riesgo de Desastres y Contexto del País*.
- Portillo, G. (s.f.). *Meteorología en Red*. Obtenido de <https://www.meteorologiaenred.com/lluvia-orografica.html>
- Ramos, A., Trujillo- Vela, M., & Prada, L. (2015). Análisis descriptivos de procesos de remoción en masa en Bogotá.
- Rodriguez, J. G., Quintana, C., Rivera, H., & Mosquera, J. (2013). *Zonificación del peligro de remoción en masa en las zonas urbanas según método de análisis Mora & Vahrson: Estudio de caso*. REVISTA AMBIENTAL AGUA, AIRE Y SUELO.
- Rojas, O., & Martínez, C. (2011). *Riesgos naturales: evolución y modelos conceptuales*. Bahía Blanca: Revista Universitaria de Geografía.
- Romero, G., & Maskrey, A. (1993). Cómo entender los desastres naturales. *Los desastres no son naturales*.
- Ruiz, D., & Sandoval, E. (2017). *Zonificación de amenazas por deslizamientos a partir del modelo de Mora y Vahrson*. Entorno Geográfico.
- Sarricolea, P., Herrera, M. J., & Meseguer, O. (2016). *Climatic regionalisation of continental Chile*.
- SEGPRES. (2016). *Implantación, mantención y actualización del proceso de gestión de riesgos en el sector público*.
- Sepúlveda, S. (1998). *Metodología para evaluar el peligro de flujos de detritos en ambientes montañosos: Aplicación en la Quebrada Lo Cañas, Región Metropolitana*. Universidad de Chile, Departamento de Geología, Santiago.
- SERNAGEOMIN. (2021). *Visor Territorial de fallecidos por Remociones en Masa (R.M.) en Chile entre los años 1938 - 2020*. Obtenido de <https://hneiragis.maps.arcgis.com/apps/dashboards/e92f22dbfc664561aa24bf78baa89304>
- SIGSA. (s.f.). *SIGSA*. Obtenido de <https://www.sigsa.info/es-mx/what-is-gis/overview>
- Suárez, J. (1998). *Deslizamientos y estabilidad de taludes en zonas tropicales*. Universidad Industrial de Santander, Instituto de Investigaciones sobre Erosión y deslizamiento, Bucaramanga.

Subdirección Nacional de Geología. (2011). Obtenido de

https://biblioserver.sernageomin.cl/opac/DataFiles/Mapa_10_1_Penco_RMasa_v2.pdf

UNISDR. (2004). *¿Qué es una amenaza?* Obtenido de <https://www.unisdr.org/2004/campaign/booklet-spa/page4-spa.pdf>

UNISDR. (2009). *Terminología sobre reducción del Riesgo de Desastre.*

Vera, J., & Albarracín, A. (2017). *Metodología para el análisis de vulnerabilidad ante amenazas de inundación, remoción en masa y flujos torrenciales en cuencas hidrográficas.* Ciencia e Ingeniería Neogranadina.

Wilches-Chaux, G. (1993). *La vulnerabilidad global.*

Zelada, A. (2005). *Estudio diagnóstico y elaboración del plan regulador comunal de Tomé.* Concepción.



11. ANEXO

A. Anexo N°1: Tabla .Matriz Variables Amenaza de Remoción en Masa

Variable espacial	Muy bajo	Bajo	Medio	Alto	Muy alto
Geomorfología	Campos de dunas	Acumulación de carboncillo (área de acopio)	Áreas de erosión regresiva	Acantilado marino estabilizado	Acantilado marino activo
	Cono de deyección	Extracción de arcilla para loza	Cordones de roca granítica de Edad Paleozoica	Cerro Isla	Cono de deslizamiento y derrumbe
	Depósitos aluviales y deltas locales	Plataforma de erosión continental sobre granito y/o pizarras paleozoicas	Cordones en roca granítica de Edad Paleozoica	Cono de derrubios	Escarpe de derrumbe y/o deslizamiento activo
	Humedales	Terrazas y plataformas de abrasión marina en roca sedimentaria de Edad Terciaria y/o en roca metamórfica de Edad Paleozoica. Nivel inferior, medio y superior	Erosión en manto	Cordones de roca sedimentaria de Edad Terciaria	
	Lagos, lagunas, estanques		Escarpe de erosión fluvial débil	Cuenca de recepción de aguas lluvias	
	Llanura de inundación fluvial durante crecidas excepcionales		Laderas de cordones y plataformas: pendientes largas o débiles	Erosión en cárcavas	
	Marismas (pantanos litorales)		Roqueríos	Escarpe de derrumbe y/o deslizamiento estabilizado	
	Relleno artificial		Terraza de erosión antrópica	Escarpe de erosión antrópica y depresión de origen antrópico	
	Terraza fluvial del río Andalién			Escarpe de erosión fluvial fuerte	
Terrazas y llanuras fluviales locales					
Geología	CPg	Pz4b	E1c Ks1m PE1	Qm	
Pendiente	0 - 7 %	7 - 12%	12 - 25%	25 - 50%	50 - >100%
Cobertura vegetal	Áreas agrícolas Bosque nativo Cuerpos de agua Humedales Matorrales		Áreas urbanas	Plantaciones forestales	Suelos descubiertos

Fuente: Elaboración propia. Bajo los criterios de un experto.

11.1 Anexo N°2: Plantilla Excel. Aplicación móvil para la toma de datos en terreno

ID	Monitor	Foto	Fecha de visita	Fecha de ocurrencia	Ubicación	Coordenadas	Tipo de remoción en masa	Factor desencadenante	Altura máx. (m)	Altura media (m)	Ancho (m)	Pendiente media (°)	Aterramiento	N° de terrazas	Dist. Casas - talud (m)	Tipo de suelo	Construcciones o excavaciones cercanas	
CHIG001	Francisco Cc	Report_Imaj	8-24-2022	8-16-2022	Rene Schneider	-36.915991, -73.021	Deslizamiento	Precipitaciones				60,00	FALSO					
FEM001	Diego Roble	Report_Imaj	8-26-2022	7-12-2022	Villa Montehue	-36.71018, -73.001	Deslizamiento	Precipitaciones				85,00	VERDADERO			Maicillo con mucha arcil	VERDADERO	
Conce001	Luis	Report_Imaj	8-27-2022	8-27-2022	Parque ecuador ci	-36.831943, -73.041	Deslizamiento	Precipitaciones	50,00	30,00				2	15,00	Relleno (arcilloso)	VERDADERO	
Conce003	Luis	Report_Imaj	8-27-2022	8-27-2022	Parque ecuador	-36.832112, -73.041	Deslizamiento	Precipitaciones										
Conce004	Luis	Report_Imaj	8-27-2022	8-27-2022	Parque ecuador	-36.832469, -73.041	Flujo	Precipitaciones										
Conce005	Luis	Report_Imaj	8-27-2022	8-27-2022	Peque ecuador	-36.832633, -73.041	Deslizamiento	Precipitaciones	9,00			0,01						
Conce010	Luis	Report_Imaj	8-27-2022	8-27-2022	Artiteatro los tor	-36.839789, -73.038	Deslizamiento	Precipitaciones										
Tom01	Diego	Report_Imaj	11-11-2022		Playa Pingüeral	-36.525483, -72.931	Caída de roca						FALSO				FALSO	
Tom02	Diego	Unable to fi	11-11-2022		Dichato	-36.539937, -72.931	Caída de sui	Precipitación					FALSO				VERDADERO	
Tom03	Diego	Report_Imaj	11-11-2022		Calle Independen	-36.551190, -72.941	Deslizamiento	Precipitación					VERDADERO	2	10,00	Roca meteorizada Form	VERDADERO	
Tom04	Diego	Report_Images/Tome03	Foto.181805.jpg			-36.615768, -72.951	Deslizamiento	Precipitación					FALSO			Arcilloso	VERDADERO	
Tom05	Fiege	Report_Imaj	11-11-2022		Av Latorre Tomé	-36.621425, -72.957263							FALSO				VERDADERO	
Tom06	Francisco Cc	Report_Imaj	11-18-2022	7-17-2022	Calle Los Carrera,	-36.605952, -72.941	Deslizamiento	Precipitación	20,00	10,00		80,00	FALSO			2,00	Arcilloso	VERDADERO
Tom07	Diego Roble	Report_Imaj	11-18-2022		Calle los Carreras	-36.606840, -72.941	Deslizamiento	Precipitación	5,00	5,00	3,00		FALSO			Suelo arcilloso	FALSO	
Tom08	Diego Roble	Report_Imaj	11-18-2022	7-17-2022	Panaje El Roble	-36.606380, -72.941	Deslizamiento	Precipitación	7,00	4,00	3,78		VERDADERO	1		Suelo arcilloso	VERDADERO	
Tom09	Diego Roble	Report_Imaj	11-18-2022	5-8-2013	Calle Galvarino Tr	-36.608671, -72.941	Deslizamiento	Precipitación					FALSO			3,00	Suelo arcilloso	VERDADERO
Tom10	Diego Roble	Report_Imaj	11-18-2022		Calle Galvarino	-36.611650, -72.941	Deslizamiento	Precipitación			7,00		FALSO			4,00	Suelo arcilloso	VERDADERO

Fuente: Elaboración propia

B. Anexo N°3: Variables reclasificadas.

Figura N° 40: Susceptibilidad (Geomorfología). Comuna de Penco

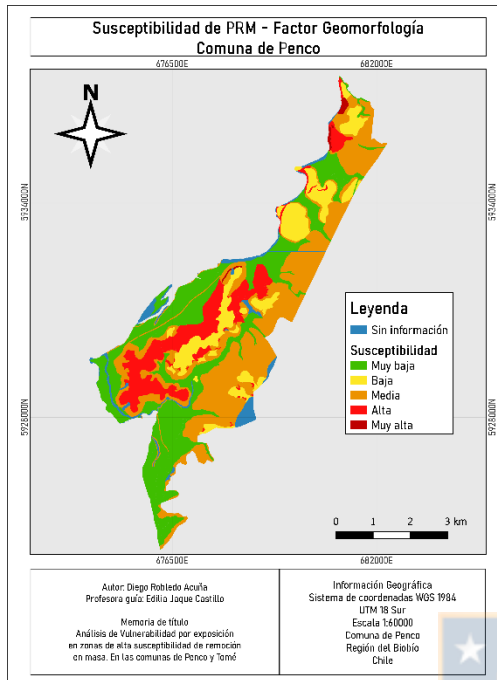


Tabla N°18: Distribución de susceptibilidad Variable geomorfología. Comuna de Penco

Susceptibilidad	%	Área (ha)
Muy baja	32%	906,86
Baja	13%	379,04
Media	36%	1044,57
Alta	14%	398,82
Muy alta	1%	15,49
Sin información	4%	128,47

Figura N°41: Susceptibilidad (Geomorfología). Comuna de Tomé

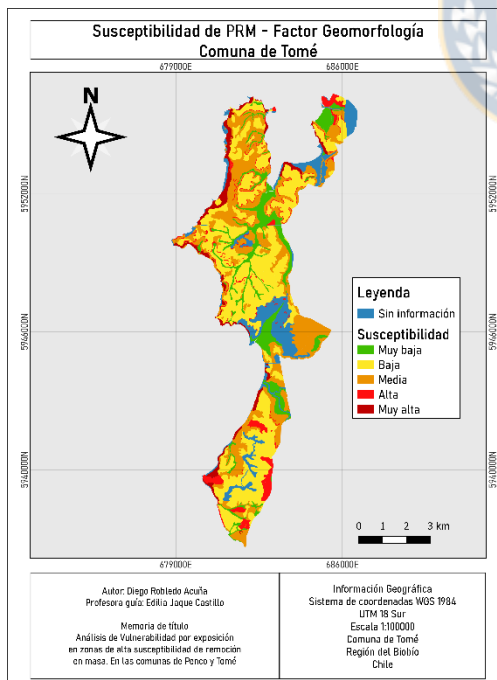


Tabla N°19: Distribución de susceptibilidad Variable geomorfología. Comuna de Tomé

Susceptibilidad	%	Área (ha)
Muy baja	11%	608,35
Baja	38%	2048,2
Media	29%	1533,05
Alta	6%	323,59
Muy alta	5%	254,71
Sin información	11%	591,7

Figura N°42: Susceptibilidad (Geología). Comuna de Penco

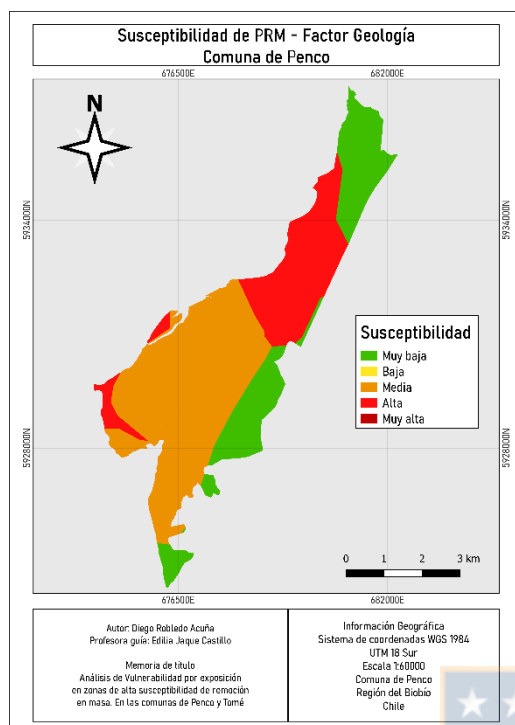


Tabla N°20: Distribución de susceptibilidad Variable geología.

Susceptibilidad	%	Área (ha)
Muy baja	25%	682,14
Media	51%	1404,04
Alta	25%	685,56

Figura N°43: Susceptibilidad (Geología). Comuna de Tomé

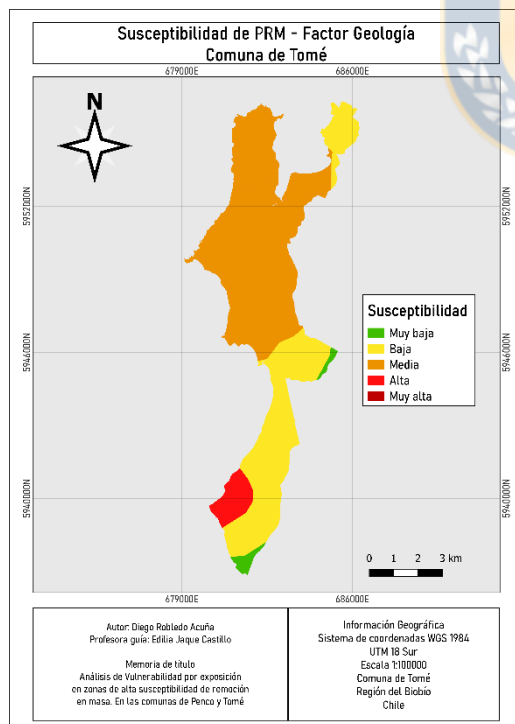


Tabla N°21: Distribución de susceptibilidad Variable geología. Comuna de Tomé

Susceptibilidad	%	Área (ha)
Muy baja	2%	87,78
Baja	34%	1650,7
Media	59%	2829,12
Alta	5%	237,89

Figura N°44: Susceptibilidad (Pendiente). Comuna de Penco

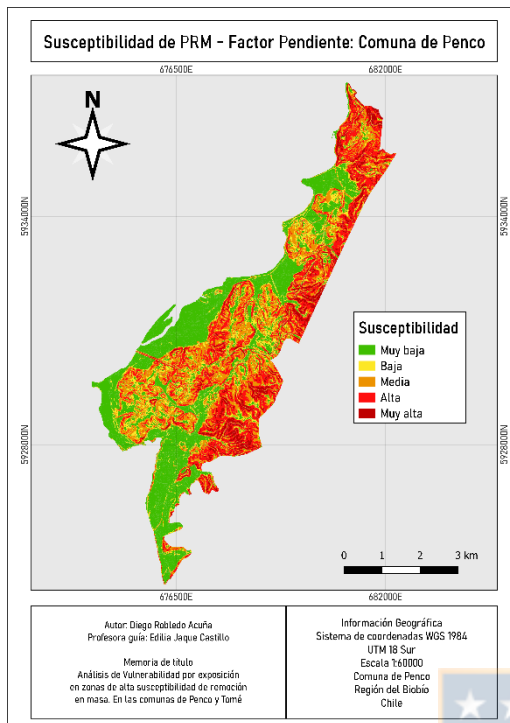


Tabla N°22: Distribución de susceptibilidad Variable pendiente. Comuna de Penco

Susceptibilidad	%	Área (ha)
Muy baja	37%	1021,09
Baja	11%	304,77
Media	23%	625,14
Alta	22%	605,19
Muy alta	7%	195,26

Figura N°45: Susceptibilidad (Pendiente). Comuna de Tomé

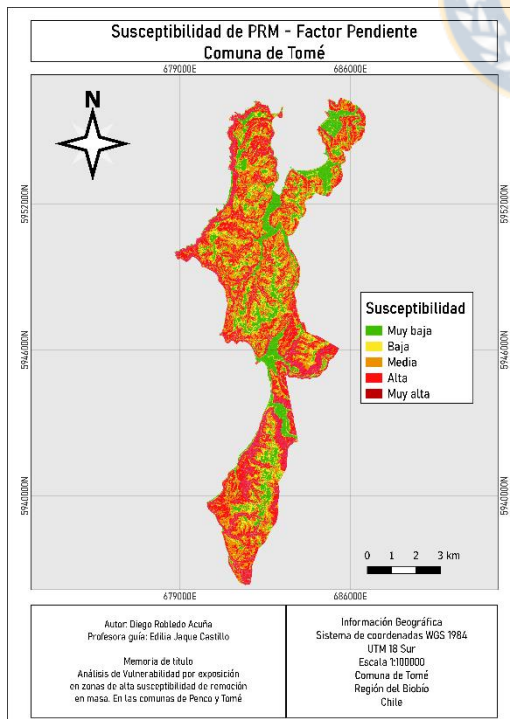


Tabla N°23: Distribución de susceptibilidad Variable pendiente. Comuna de Tomé

Susceptibilidad	%	Área (ha)
Muy baja	20%	1046,06
Baja	13%	661,34
Media	27%	1418,17
Alta	27%	1405,67
Muy alta	13%	697,72

Figura N°46: Susceptibilidad (Cobertura). Comuna de Penco

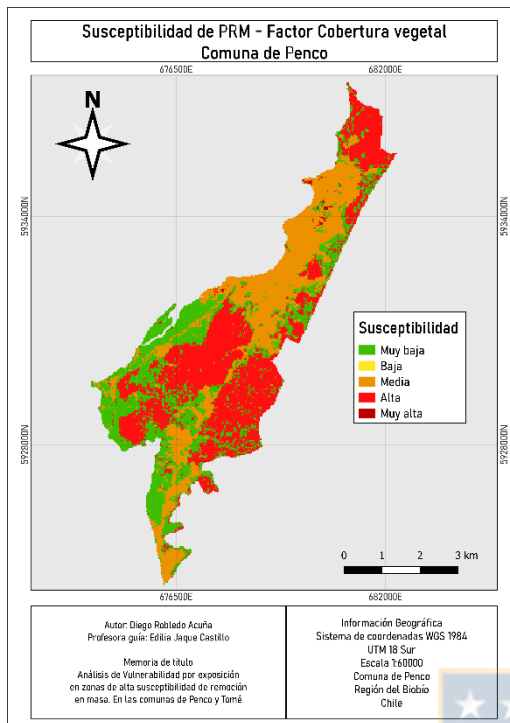


Tabla N°24: Distribución de susceptibilidad Variable cobertura.

Susceptibilidad	%	Área (ha)
Muy baja	31%	847,27
Media	30%	836,47
Alta	39%	1064,2
Muy alta	0%	12,39

Figura N°47: Susceptibilidad (Cobertura). Comuna de Tomé

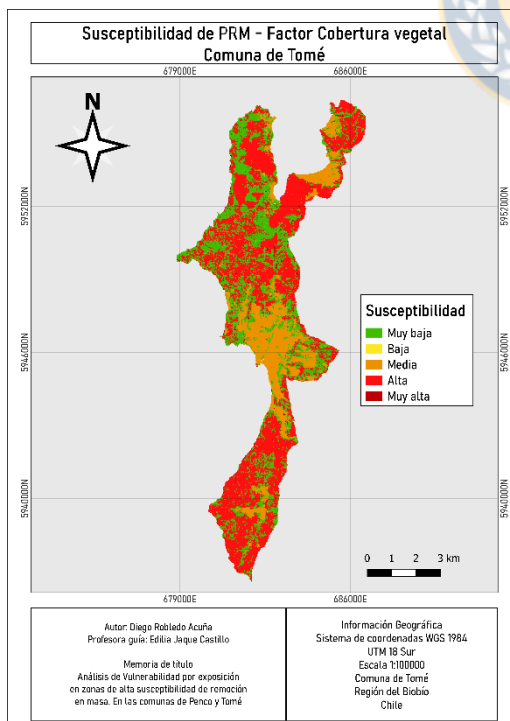


Tabla N°25: Distribución de susceptibilidad Variable cobertura.

Susceptibilidad	%	Área (ha)
Muy baja	31%	1558,26
Media	17%	871,39
Alta	51%	2567,97
Muy alta	1%	44,88

*Cartografías y tablas de elaboración propia