

UNIVERSIDAD DE CONCEPCIÓN  
FACULTAD DE ARQUITECTURA URBANISMO Y GEOGRAFÍA.  
DEPARTAMENTO DE GEOGRAFÍA.



**ZONIFICACIÓN Y ANÁLISIS DE  
SUSCEPTIBILIDAD DE PROCESOS DE  
REMOCIÓN EN MASA EN LAS COMUNAS DE  
CORONEL, LOTA Y SAN PEDRO DE LA PAZ.**



**Memoria para optar al Título de Geógrafo**

**Miguel Arturo Salas Oyarzo**

**Profesora Guía: Dra. Edilia Jaque Castillo**

Concepción, 2022.

## **Agradecimientos**

A mi familia (en especial a mi mamá) y amigos externos de la Universidad (Benjamín y Marcelo) por su apoyo incondicional durante todos estos años.

A mis amigos Francisco Bascuñán y Javiera Bustamante a quienes los conocí al entrar a la carrera, con el tiempo forjé una gran amistad y me han apoyado siempre en todo momento.

A mi grupo de amigos de la Universidad (Braulio, Diego, Ignacio, Jordan, Ricardo y Samuel) con quienes tuve la oportunidad de trabajar a lo largo de la carrera y a otros como Francisco Castro y Luis Gajardo los fui conociendo en este último año en instancias de terrenos y fueron un excelente grupo.

Y a mi profesora guía (Edilia Jaque) por la paciencia, orientación y comprensión durante todo este año.



# ÍNDICE

## RESUMEN

<b>1. Introducción</b> .....	11
<b>1.1 Problemática</b> .....	13
<b>1.2 Preguntas de investigación</b> .....	18
<b>1.3 Hipótesis</b> .....	19
<b>1.4 Objetivos</b> .....	19
1.4.1    Objetivo general .....	19
1.4.2    Objetivos específicos.....	19
<b>2. Marco Teórico Conceptual</b> .....	20
<b>2.1 Los riesgos y la gestión del riesgo urbano</b> .....	20
<b>2.2 Las remociones en masa como procesos que generan riesgo</b> ....	21
<b>2.3 Factores desencadenantes de remociones en masa</b> .....	30
<b>2.4 Mapas de Susceptibilidad ante remociones en masa</b> .....	31
<b>2.5 Exposición</b> .....	31
<b>3 Metodología</b> .....	32
<b>3.1 Enfoque metodológico</b> .....	32
<b>3.2 Área de estudio</b> .....	32
3.2.1 Caracterización Geomorfológica.....	34
3.2.2 Caracterización geológica .....	40
3.2.3 Caracterización Climatológica.....	41
3.2.4 Caracterización Socio - Económica .....	44
<b>4. Técnicas y métodos</b> .....	46
<b>4.1 Inventario multitemporal de Remociones en Masa</b> .....	46
<b>4.2 Modelo de susceptibilidad</b> .....	48
<b>4.3 Evaluación de exposición ante remociones en masa</b> .....	50

<b>5. Cronograma de actividades .....</b>	<b>52</b>
<b>6. Análisis y resultados .....</b>	<b>55</b>
<b>6.1 Resultados análisis de archivos de prensa local sobre remociones en masa.....</b>	<b>55</b>
<b>6.2 Evaluación de la susceptibilidad de remociones en masa en las comunas de Coronel, Lota y San Pedro de la Paz, Región del Biobío.....</b>	<b>59</b>
<b>6.3 Evaluación de exposición de la población frente a la amenaza de remociones en masa en las comunas de Coronel, Lota y San Pedro de la Paz.....</b>	<b>71</b>
<b>7. Conclusiones .....</b>	<b>82</b>
<b>8. Bibliografía .....</b>	<b>86</b>
<b>ANEXO 1 .....</b>	<b>90</b>
<b>ANEXO 2.....</b>	<b>95</b>
<b>ANEXO 3.....</b>	<b>97</b>
<b>ANEXO 4.....</b>	<b>99</b>



### **ÍNDICE DE FIGURAS**

<b>Figura 1.2.</b> Eventos registrados en el catastro remociones en masa del SERNAGEOMIN categorizados por fecha de registro.....	<b>17</b>
<b>Figura 1.3.</b> Eventos registrados en el catastro remociones en masa del SERNAGEOMIN categorizados por comuna.....	<b>18</b>
<b>Figura 2.1.</b> Esquema de tipos de remociones en masa... ..	<b>22</b>
<b>Figura 2.2.</b> Ilustración de principales tipos de remociones en masa. ....	<b>25</b>
<b>Figura 2.3.</b> Diagrama idealizado de los atributos morfológicos de un movimiento de ladera.....	<b>26</b>
<b>Figura 2.4.</b> Nomenclatura de las diferentes partes de un movimiento de ladera. ....	<b>27</b>

<b>Figura 2.5.</b> Relación entre los factores condicionantes y tipos de remociones en masa.....	28
<b>Figura 3.1.</b> Área de estudio la cual comprende las comunas de Coronel y Lota San Pedro, de la Paz.....	33
<b>Figura 3.2.</b> Geomorfología de la llanura de San Pedro de la Paz.....	34
<b>Figura 3.3.</b> Modelo digital de elevación (DEM) del área de estudio.....	39
<b>Figura 3.4.</b> Mapa de pendientes del área de estudio. ....	40
<b>Figura 3.5.</b> Geología de las comunas de Coronel, Lota y San Pedro de la Paz. ....	41
<b>Figura 3.6.</b> Precipitación histórica anual en mm periodo años 1990-2020 de la ciudad de Concepción. ....	42
<b>Figura 3.7.</b> Temperatura media (°C) periodo años 1990-2020 de la ciudad de Concepción .....	43
<b>Figura 3.8.</b> Población total de las comunas de Coronel, Lota y San Pedro de la Paz según censos realizados en los años 1992, 2002 y 2017.....	45
<b>Figura 4.1.</b> Ficha de terreno para inventario de remociones en masa en el AMC... ..	48
<b>Figura 6.1.</b> Gráfico con número de fichas y comunas. ....	55
<b>Figura 6.3.</b> Inventario de remociones en masa.....	56
<b>Figura 6.4.</b> Gráfico con número de eventos entre los años 1990 – 2020. ....	57
<b>Figura 6.5.</b> Gráfico con número de eventos por meses del año.....	57
<b>Figura 6.6.</b> Factores desencadenantes en procesos de remociones en masa.....	58
<b>Figura 6.7.</b> Precipitación histórica anual en mm entre los años 1990-2020.....	58
<b>Figura 6.8.</b> Reclasificación geología - susceptibilidad.....	60
<b>Figura 6.9.</b> Usos de suelo en las comunas de Coronel, Lota y San Pedro de la Paz.....	61
<b>Figura 6.10.</b> Reclasificación uso de suelo - susceptibilidad .....	62
<b>Figura 6.11.</b> Reclasificación pendientes - susceptibilidad .....	63
<b>Figura 6.13.</b> Reclasificación orientación – susceptibilidad. ....	65
<b>Figura 6.14.</b> Rangos y porcentaje (%) de superficie ocupado por susceptibilidad de remociones en masa.....	68

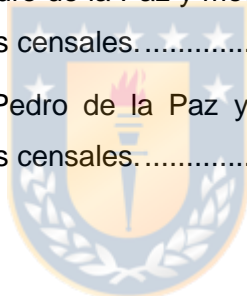
<b>Figura 6.15.</b> Rangos y porcentaje (%) de superficie ocupado por susceptibilidad de remociones en masa en la comuna de San Pedro de la Paz.....	70
<b>Figura 6.16.</b> Rangos y porcentaje (%) de superficie ocupado por susceptibilidad de remociones en masa en la comuna de Coronel.....	70
<b>Figura 6.17.</b> Rangos y porcentaje (%) de superficie ocupado por susceptibilidad de remociones en masa en la comuna de Lota. ....	70
<b>Figura 6.18.</b> Carta de susceptibilidad de remociones en masa. ....	71
<b>Figura 6.19.</b> Carta de exposición a procesos de remociones en masa. ....	73
<b>Figura 6.20.</b> Porcentaje (%) de población por niveles de exposición .....	73
<b>Figura 6.21.</b> Distritos censales de las comunas de San Pedro de la Paz, Coronel y Lota.....	75
<b>Figura 9.1.</b> Deslizamiento de tierra en el kilómetro 5 de la ruta 156, comuna de San Pedro de la Paz, región del Biobío. ....	91
<b>Figura 9.2.</b> Deslizamiento de tierra en la ruta 156, comuna de San Pedro de la Paz, región del Biobío.....	91
<b>Figura 9.3.</b> Deslizamiento de suelo en el cerro la Virgen, calle Santiago Steel, comuna de Coronel, región del Biobío.....	92
<b>Figura 9.4.</b> Caída de rocas y bloques desde el Cerro La Virgen hacia la Calle Carvallo, comuna de Coronel, región del Biobío.....	92
<b>Figura 9.5.</b> Deslizamiento de suelo y roca en el sector de cerro La Peña- Yobilo, comuna de Coronel, Región del Biobío. ....	93
<b>Figura 9.6.</b> Deslizamiento de tierra en la ruta 160, sector Fernando Maira, comuna de Lota, región del Biobío. ....	93
<b>Figura 9.7.</b> Grietas, hundimientos y deslizamientos de suelo en el sector de Villa La Ilusión, comuna de Lota, región del Biobío.....	94

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.1.</b> Eventos ocurridos en las comunas de San Pedro de la Paz, Coronel y Lota registrados en el catastro remociones en masa del SERNAGEOMIN. ....	16
<b>Tabla 2.1.</b> Tipos de remociones en masa. ....	22

<b>Tabla 2.2.</b> Atributos morfológicos de un movimiento idealizado. ....	26
<b>Tabla 3.1.</b> Precipitación histórica anual en mm periodo años 1990-2005 de la ciudad de Concepción. ....	42
<b>Tabla 3.2.</b> Precipitación histórica anual en mm periodo años 2006-2020 de la ciudad de Concepción. ....	42
<b>Tabla 3.3.</b> Temperatura media (°C) periodo años 1990-2005 de la ciudad de Concepción. ....	43
<b>Tabla 3.4.</b> Temperatura media (°C) periodo años 2006-2020 de la ciudad de Concepción. ....	43
<b>Tabla 4.1.</b> Archivos shapefile utilizados. ....	47
<b>Tabla 4.2.</b> Matriz de evaluación riesgo de derrumbe (peligrosidad). ....	49
<b>Tabla 4.3.</b> Matriz de evaluación de susceptibilidad de remociones en masa basado en el trabajo de Mardones & Vidal (2001). ....	50
<b>Tabla 5.1.</b> Cronograma de actividades.....	53
<b>Tabla 6.1.</b> Datos usados para mapa de Susceptibilidad.....	59
<b>Tabla 6.2.</b> Susceptibilidad, rangos, áreas (km <sup>2</sup> ), porcentaje ocupado por las variables de pendiente, geología, uso de suelo y orientación. ....	66
<b>Tabla 6.3.</b> Rangos de susceptibilidad y superficie (km <sup>2</sup> ) en la comuna de San Pedro de la Paz.....	69
<b>Tabla 6.4.</b> Rangos de susceptibilidad y superficie (km <sup>2</sup> ) en la comuna de Coronel	69
<b>Tabla 6.5.</b> Rangos de susceptibilidad y superficie (km <sup>2</sup> ) en la comuna de Lota. ....	69
<b>Tabla 6.6.</b> Capas de información utilizadas.....	72
<b>Tabla 6.7.</b> Población por comunas – nivel de exposición .....	74
<b>Tabla 6.8.</b> Distritos censales de Coronel y cantidad de población.....	75
<b>Tabla 6.9.</b> Distritos censales de Lota y cantidad de población .....	76
<b>Tabla 6.10.</b> Distritos censales de San Pedro de la Paz y cantidad de población.....	76
<b>Tabla 6.11.</b> Comuna de Coronel y baja exposición a amenaza de remociones en masa por distritos censales.....	77

<b>Tabla 6.12.</b> Comuna de Coronel y moderada exposición a amenaza de remociones en masa por distritos censales. ....	77
<b>Tabla 6.13.</b> Comuna de Coronel y alta exposición a amenaza de remociones en masa por distritos censales.....	78
<b>Tabla 6.14.</b> Comuna de Lota y alta exposición a amenaza de remociones en masa por distritos censales.....	79
<b>Tabla 6.15.</b> Comuna de Lota y moderada exposición a amenaza de remociones en masa por distritos censales. ....	79
<b>Tabla 6.16.</b> Comuna de Lota y baja exposición a amenaza de remociones en masa por distritos censales.....	79
<b>Tabla 6.17.</b> Comuna de San Pedro de la Paz y baja exposición a amenaza de remociones en masa por distritos censales. ....	80
<b>Tabla 6.18.</b> Comuna de San Pedro de la Paz y moderada exposición a amenaza de remociones en masa por distritos censales.....	80
<b>Tabla 6.19.</b> Comuna de San Pedro de la Paz y alta exposición a amenaza de remociones en masa por distritos censales.....	81





## Resumen

Los peligros geológicos, en especial, las remociones en masa han sido foco de estudio, tanto a nivel global como nacional; el cambio climático y eventos meteorológicos extremos han potenciado estos fenómenos.

En esta investigación se abordará la temática de zonificación y análisis de susceptibilidad de los procesos de remoción en masa en tres comunas costeras del Área Metropolitana de Concepción; situadas todas al sur del río Biobío; las que se han visto afectadas por procesos de remoción en masa. Como primer objetivo se busca realizar el inventario multitemporal de procesos de remociones en masa ocurridos durante los últimos 30 años en el área metropolitana de Concepción, centrándonos en las comunas de Coronel, Lota y San Pedro de la Paz, para llevar a cabo dicho objetivo se realizará la revisión de Prensa donde cada evento registrado en los archivos de prensa será detallado en una ficha de datos que luego será ingresada en el inventario de remociones en masa, donde luego estos datos serán verificados en terreno. Para analizar la susceptibilidad a remociones en masa en las comunas de Coronel, Lota y San Pedro de la Paz con el fin de generar herramientas concretas que contribuyan a la gestión del riesgo en el área de estudio, esto será abordado utilizando la matriz de riesgo de derrumbes de Mardones y Vidal (2001) adaptado como modelo de susceptibilidad utilizando los factores condicionantes para determinar el grado de susceptibilidad de 1 a 3, donde 1 es baja susceptibilidad; 2 es media susceptibilidad y 3 es alta susceptibilidad a procesos de remociones en masa, todo lo anterior luego de la reclasificación de factores tendrá una ponderación para ser ingresado en la calculadora ráster y de esta forma obtener el Mapa de susceptibilidad a procesos de remociones en masa. Luego, para evaluar la exposición de la población ante de eventos de remociones en masa se usará la metodología utilizada por Jaque, Lara & Merino (2017), la cual consiste en la superposición de capas de información (Mapa de susceptibilidad y Shapefile de manzanas censales del INE) para así calcular la cantidad de población por niveles de exposición (baja, intermedia y alta). Los resultados obtenidos a partir de las metodologías empleadas

detallaron principalmente que la Comuna de Lota cuenta con una superficie del 70% ocupado por alta y muy alta susceptibilidad y su población de un total de 43.082 habitantes, el 55% se encuentra en alta exposición a procesos de remociones en masa. Coronel por su parte cuenta con una superficie sobre el 45% ocupada por alta y muy alta susceptibilidad y su población de un total de 110.925 habitantes, el 9,3% se encuentra en alta exposición. Por último, la comuna de San Pedro de la Paz la superficie ocupada por alta y muy alta susceptibilidad no supera el 40% y su población de un total de 130.984, el 6,9% se encuentra en alta exposición. Es por todo lo anterior que es importante tener herramientas actualizadas que contribuyan en la gestión del riesgo, de esta forma se busca ayudar en la toma de decisiones a la hora de priorizar sectores donde hay mayor una susceptibilidad a procesos de remoción en masa.

**Palabras Claves:** Inventarios de Remociones en masa, susceptibilidad, borde costero.



## 1. Introducción

La susceptibilidad a la cual están expuestas las comunas de Coronel, Lota y San Pedro de la Paz respecto a procesos de remociones en masa se ha estudiado debido a que en la región de Biobío han ocurrido numerosos eventos de este tipo, entre los que se encuentran los flujos de barro, flujos de detritos, deslizamientos activos, deslizamientos de rocas y socavones (Sernageomin, 2016), por lo que es necesario el estudio de este fenómeno, el cual representa un agente de riesgo para la comunidad, principalmente en zonas de alta vulnerabilidad tanto social, estructural, educacional y socioeconómica.

Las pérdidas causadas por este fenómenos pueden ser evitables, si es que se logra identificar las zonas de mayor peligro y tomar medidas de prevención y es por esto por lo que realizar una zonificación en áreas de susceptibilidad y amenazas por deslizamientos es un gran paso para la comprensión de este tipo de fenómenos, así como también para llevar a cabo la formulación de futuras estrategias que ayuden en la reducción de la vulnerabilidad y, por ende, del riesgo asociado con amenazas naturales (Roa, 2007).

Para lograr llevar a cabo una zonificación es necesario localizar las áreas inestables donde se tenga registro de que ha ocurrido algún evento de este tipo, luego determinar el tipo de movimientos en masa que hay presente estableciendo factores que contribuyan con la inestabilidad de dicha área y la base para llevar a cabo todo esto es el concepto susceptibilidad, el cual 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 (Becerra, 2006). Según Baeza & de Rurange Espinoza (2018) el termino de susceptibilidad hace referencia a las características propias que presentan ciertas áreas para que se manifieste la posibilidad de generarse un proceso natural, a través del análisis de los factores condicionantes y desencadenantes, que afectan de diferente forma el desarrollo de estos procesos geodinámicos, determinando el grado de activación del proceso. Según Bonachea (2006) los procesos de remociones en masa pueden ser

analizados mediante modelos físicos y estadísticos, donde la búsqueda de correlaciones estadísticas entre factores condiciones, desencadenantes y la ocurrencia de estos procesos, permiten lograr llevar a cabo modelos de análisis de susceptibilidad de remociones en masa.

Las remociones en masa según Hauser (1993) son procesos de movilización lenta o rápida de un determinado volumen de suelo, roca o ambos en algunos casos y en diversas proporciones. Para Baeza & de Rurange Espinoza (2018) este proceso geodinámico es uno de los de origen natural más destructivos que afectan a los seres humanos, causando miles de muertes, daños en las infraestructuras y pérdidas monetarias enormes cada año en todo el mundo, mientras que para Henríquez (2019) dentro de todos los fenómenos naturales, las remociones en masa ocupan el quinto lugar en cantidad de fallecimientos a nivel mundial, ubicándose debajo de los terremotos y sobre las erupciones volcánicas.

Según Mergili et al., (2015) los factores responsables de provocar este fenómeno se dividen en dos:

- Factores desencadenantes los cuales contemplan los sismos y las precipitaciones. (tener en cuenta que las remociones en masa provocadas por precipitaciones son las más recurrentes).
- Factores condicionantes encontramos la geología y geotecnia, geomorfología, vegetación, condiciones hidrogeológicas y actividad antrópica.

A nivel nacional según Hauser (2000) estos eventos son una de las amenazas naturales más recurrentes en el país, pudiendo causar cuantiosos daños sociales y económicos. Las remociones en masa se desarrollan especialmente en terrenos con morfología empinada y material fragmentado suelto, son un factor determinante en algunos casos la actividad sísmica y las precipitaciones de gran intensidad las cuales ayudan en el desarrollo de voluminosos deslizamientos y desprendimientos.

El presente trabajo busca realizar la zonificación y análisis de susceptibilidad de procesos de remociones en masa, teniendo en consideración las características de cada comuna que se ve enfrentada a deslizamientos, desprendimientos y flujos que afectan tanto directamente como indirectamente a los habitantes de dichas zonas.

## **1.1 Problemática**

Chile a lo largo del tiempo y de su historia debido a diversos factores como lo es su topografía altamente accidentada, sus condiciones meteorológicas muy variables caracterizadas por una transición entre el clima mediterráneo y el clima lluvioso austral, una actividad sísmica y volcánica muy activa debido a su localización geotécnica que lo ubica sobre las placas Sudamericana y de Nazca, en donde todas estas condiciones anteriormente mencionadas dan lugar a diversos eventos tanto de origen geológico como meteorológico. Los terremotos, anegamientos, remociones en masa, erupciones volcánicas, entre otros son fenómenos naturales que ocurren frecuentemente en el país, ponen en riesgo a la población y dependiendo del tipo y magnitud del fenómeno se generan en algunos casos pérdidas humanas e incalculables daños en los bienes de las personas.

La región del Biobío no es ajena a los fenómenos naturales y en toda su historia ha sufrido el impacto de estos. Algunos de los eventos que han marcado a la región y por mencionar algunos de ellos, han sido las intensas precipitaciones del año 2006 las que fueron un factor determinante en las grandes inundaciones y anegamientos en la comuna de Concepción debido al desborde de los cauces de los ríos Andalién y Biobío, el terremoto del año 2010 que afectó a la región por completa, que devastó el borde costero y dejó innumerables daños en aspectos sociales y económicos, las nevazones de gran envergadura que afectaron zonas de Alto Bio Bío en el año 2011, los incendios forestales que afectan durante las temporadas de verano a la región cada año en el último tiempo, los procesos de remociones en masa que se dan en diversos cerros y que se desencadenan ya sea por actividad sísmica o

precipitaciones durante periodos de lluvias y así una innumerable cantidad de eventos que han azotado a la región y de los cuales se tiene registro. La región del Biobío como mencionan algunas autoridades es la única región del país que se encuentran expuesta a todos los fenómenos naturales y por ello es de vital importancia mantener actualizadas las herramientas que ayuden a identificar zonas de susceptibilidad para evitar pérdidas humanas y materiales.

El Área Metropolitana de Concepción (AMC) está compuesta por las comunas de Concepción, Coronel, Hualqui, Hualpén, Lota, Penco, San Pedro de la Paz, Santa Juana, Talcahuano y Tomé.

En las comunas de Coronel, Lota y San Pedro de La Paz han ocurrido importantes eventos de remociones en masa. El atlas de riesgos naturales y antrópicos comuna de San Pedro de la Paz posee un registro comunal donde señala que estos eventos se concentran en su mayoría en la Ruta 156 camino a Santa Juana (Anexo 1.), especialmente en los sectores Palco, San José y Pedro de Valdivia Sur. Según el Centro de Ciencias Ambientales EULA-Chile (2018) aquí se concentró la mayor cantidad de procesos en estado activo, donde se evidenció movimiento de material superficial en constante actividad. Por otro lado, se registraron procesos en el sector de Lomas Coloradas, entre las calles Las Lilas y Los Guindos.

En la comuna de Coronel, la superficie afectada por amenaza de remoción en masa alcanza una superficie de 7,01 km<sup>2</sup> en el área urbana Jaque et al., (2017) y al dividir a la ciudad de Coronel por distritos censales, los procesos de remociones en masas son el fenómeno natural que presenta mayor número de personas expuestas con 11.354 equivalente al 29%, las que se sitúan en tres distritos censales: Schwager, Villa Mora y Corcovado. Los procesos de remociones en masa en la comuna de Coronel de los cuales se tiene registro en el SERNAGEOMIN, en su mayoría tienen un factor desencadenante común y fue el terremoto ocurrido el 27 de febrero del 2010 (Anexo 1.).

A pesar de que los mecanismos de generación son distintos, los mapas de susceptibilidad de estos peligros dentro del documento mencionado anteriormente fueron tratados como uno solo, en función de la pendiente del terreno y de la existencia de peligros declarados, por otra parte, los peligros asociados a flujos de detrito y barro fueron trabajados en conjunto con el peligro de inundación por desborde de cauce.

En cuanto a la comuna de Lota, la geógrafa Claudia Espinoza en un estudio titulado "Estudio de Riesgos de Sismos y Maremoto para Comunas Costeras de la Región del Biobío" en el año 2010 señala que fue posible identificar una serie de eventos de remoción en masa a causa de la intervención antrópica de las laderas y por consecuencia de las lluvias. Los procesos de remociones en masa de los cuales se tiene una zonificación preliminar muestran que la comuna se vio afectada por deslizamiento de suelo y roca durante el sismo del 27 de febrero del 2010 (Figura 9.6. y 9.7.), así como también según Sernageomin (2010) hay subsidencia por antiguas labores mineras en algunos sectores de la comuna.

Llevar a cabo una zonificación y análisis de susceptibilidad de procesos remociones en masa en el Área metropolitana de Concepción específicamente en las comunas de San Pedro de la Paz, Coronel y Lota pretende ser una contribución para las herramientas disponibles actualmente como lo son los mapas de susceptibilidad de remociones en masa de las comunas objeto de estudio y el inventario de remociones en masa del SERNAGEOMIN (Tabla 1.1.), ya que, ambos se encuentran desactualizados o su registro de eventos está incompleto, por ende, la finalidad de este trabajo es dar una mejora a las herramientas mencionadas anteriormente, ayudar en la planificación territorial y junto a eso lograr un óptimo manejo del riesgo. Hauser (2000) menciona que la elaboración de cartas de riesgos, acompañadas de efectivos y eficientes planes de manejo ante emergencias, sumado a diseños de estructuras de control, junto a actividades de educación y divulgación, constituyen estrategias

eficaces para reducir los efectos negativos de los procesos de remoción en masa en Chile.

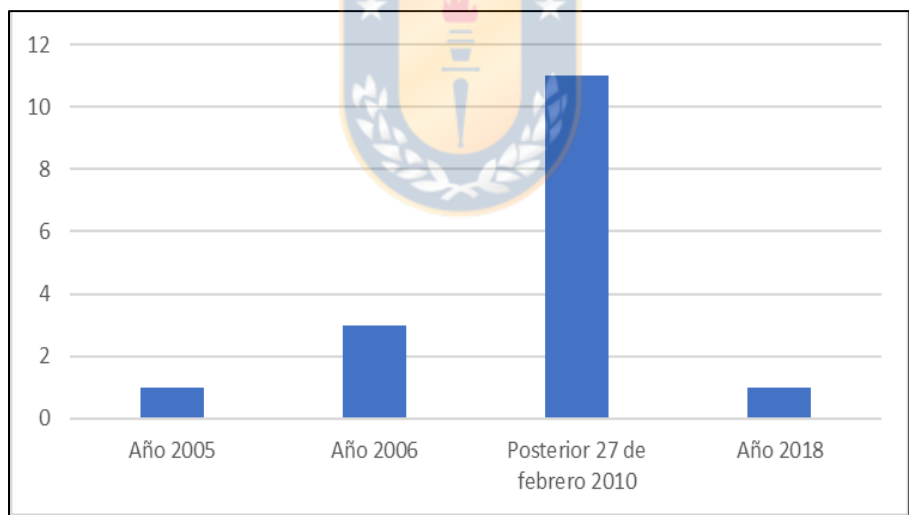
**Tabla 1.1.** Eventos ocurridos en las comunas de San Pedro de la Paz, Coronel y Lota registrados en el catastro remociones en masa del SERNAGEOMIN.

<b>Tipo de evento</b>	<b>Desencadenante</b>	<b>Tipo de material</b>	<b>Fecha de registro</b>	<b>Ubicación aproximada</b>
Deslizamiento	Precipitaciones	No especifica	Julio de 2006	Comuna de San Pedro de la Paz, región del Biobío
Propagación lateral por licuefacción de arena/limo	Acción antrópica	Suelo/sedimento	Posterior al 27 de febrero de 2010	Población Las Encinas, comuna de Coronel, región del Biobío
Deslizamiento	Acción antrópica	Roca y suelo/sedimento	27 de junio de 2018	Sector de cerro La Peña- Yobilo, comuna de Coronel, Región del Biobío.
Caída	Evento sísmico	Roca	Posterior al 27 de febrero de 2010	Población Nuevo Horizonte Pasaje Río Simpson, Comuna de Coronel, región del Biobío
Caída	Evento sísmico	Roca	Posterior al 27 de febrero de 2010	Población Gendarme Aguilera, pasaje Chañarillo (fondo), Comuna de Coronel, región del Biobío
Deslizamiento	Evento sísmico	Suelo/sedimento	Posterior al 27 de febrero de 2010	Sector Villa Los Héroes, Pasaje El Minero N°170, comuna de Lota, región del Biobío.
Deslizamiento	Evento sísmico	Suelo/sedimento	Posterior al 27 de febrero de 2010	Sector Villa Los Héroes, Pasaje El Minero, comuna de Lota, región del Biobío
Deslizamiento	Evento sísmico	No especifica	Posterior al 27 de febrero de 2010	Sector Villa Ilusión I y II, comuna de Lota, región del Biobío
Deslizamiento	Evento sísmico	No especifica	Posterior al 27 de febrero de 2010	Sector La Vega, comuna de Lota, región del Biobío
Deslizamiento	Evento sísmico	No especifica	Posterior al 27 de febrero de 2010	Sector 9 de Agosto, comuna de Lota, región del Biobío



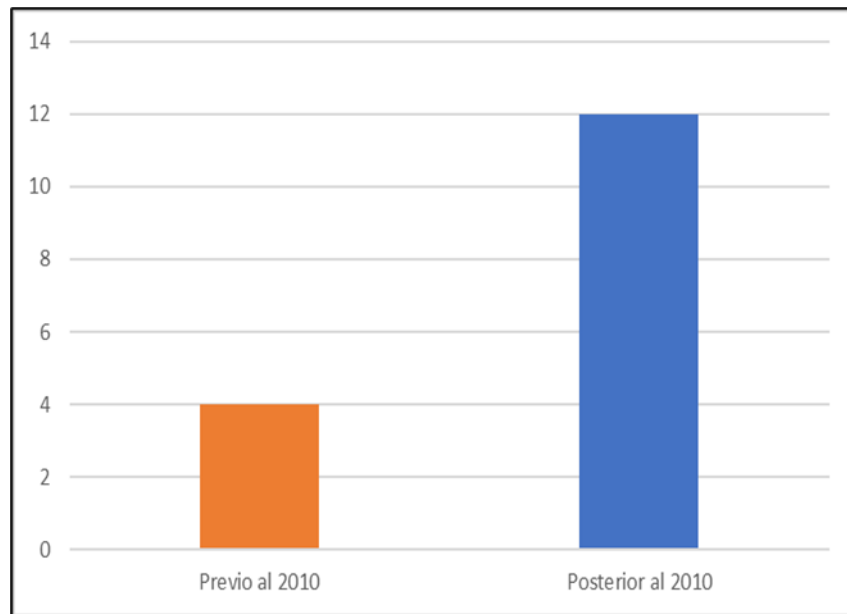
Deslizamiento	Evento sísmico	No especifica	Posterior al 27 de febrero de 2010	Comuna de Lota, región del Biobío
Caída	Evento sísmico	Roca	Posterior al 27 de febrero de 2010	Comuna de Lota, región del Biobío
Deslizamiento	Evento sísmico	No especifica	Posterior al 27 de febrero de 2010	Sector 9 de Agosto, comuna de Lota, región del Biobío
Deslizamiento	Precipitaciones	Suelo/sedimento	10 al 13 de julio de 2006	Comuna de Lota, región del Biobío
Deslizamiento	Precipitaciones	Suelo/sedimento	14 de agosto de 2006	Km 43 de la ruta 160, comuna de Lota, región del Biobío
Deslizamiento	Precipitaciones	No especifica	26 Y 27 de junio 2005	Calle lagos de Chile, comuna de Lota, región del Biobío.

**Figura 1.2.** Eventos registrados en el catastro remociones en masa del SERNAGEOMIN categorizados por fecha de registro.



Fuente: elaboración propia.

**Figura 1.3.** Eventos registrados en el catastro remociones en masa del SERNAGEOMIN categorizados por comuna.



Fuente: elaboración propia.

## 1.2 Preguntas de investigación

1. ¿Los inventarios de remociones en masa del SERNAGEOMIN disponibles públicamente y con los datos que tienen actualmente son una herramienta completa para la toma de decisiones en los ámbitos de la gestión del riesgo de desastre?
2. ¿Un mapa de susceptibilidad frente a remociones en masa, será una herramienta adecuada para tomar decisiones a nivel comunal?
3. ¿Puede la geografía proponer herramientas más prácticas para la disminución o la integración de las variables de susceptibilidad de remociones en masa a comunas pequeñas?

### **1.3 Hipótesis**

Para responder a estas preguntas tenemos las siguientes hipótesis de trabajo.

H1: Los inventarios de procesos de remoción en masa disponibles en las diferentes entidades de gobierno presentan información muy generalizada e incompleta, de esta forma dificultando la toma de decisiones de los niveles comunales.

H2: Después del terremoto del año 2010 comenzó a registrarse de manera más continua las remociones en masa a nivel nacional, lo que explicaría un mayor número de casos inventariados, sin embargo, la existencia de estos fenómenos es también significativa en el AMC en últimos treinta años.

H3: La gestión del riesgo requiere de herramientas actualizadas y que cuenten con un registro diario, el cual permita optimizar la gestión del riesgo de desastre desde los niveles locales.

### **1.4 Objetivos**

#### **1.4.1 Objetivo general**

Analizar la susceptibilidad a remociones en masa en las comunas de San Pedro de la Paz, Coronel y Lota para generar herramientas concretas que contribuyan a la gestión del riesgo en el área de estudio.

#### **1.4.2 Objetivos específicos**

1. Elaborar un inventario multitemporal de remociones en masa en los últimos treinta años.
2. Generar un mapa de susceptibilidad de remociones en masa a escala 1:10.000 como una herramienta de gestión del riesgo de remociones en masa.
3. Evaluar la exposición de la población frente a la amenaza de remociones en masa en las comunas de Coronel, Lota y San Pedro de la Paz.

## **2. Marco Teórico Conceptual**

El objetivo de este marco teórico es definir los principales conceptos presentes en este estudio, para llevar a cabo esto en primer lugar se debe realizar una revisión bibliográfica sobre diversos autores que en sus trabajos hablen sobre remociones en masa. Luego se procede a realizar la recopilación de información en base a los conceptos previamente seleccionados y por último se debe tener en cuenta que cada concepto en algunos casos tendrá más de una definición debido a que son trabajados por distintos autores o en distintas investigaciones.

### **2.1 Los riesgos y la gestión del riesgo urbano**

#### **2.1.1 Los riesgos**

Los riesgos según UNISDR (2004) son definidos como la probabilidad de que una amenaza se convierta en un desastre. El riesgo geológico según Varnes (1984) es la cuantificación de vidas perdidas, personas damnificadas, daños en edificaciones, entre otras, que causaría la ocurrencia de un fenómeno peligroso.

Foschiatti (2009), señala que la ONU define el riesgo como el grado de pérdida previsto, debido a un fenómeno natural determinado y en función tanto del peligro natural como de la vulnerabilidad.

#### **2.1.2 La gestión del riesgo urbano**

Según Narváez et al., (2009) la gestión del riesgo abarca formas de intervención muy variadas, que van desde la formulación e implementación de políticas y estrategias, hasta la implementación de acciones e instrumentos concretos de reducción y control.

La Oficina de las Naciones Unidas para Reducción de Riesgo de Desastres (UNDRR) en 2015, define la gestión del riesgo de desastres como el proceso sistemático de utilizar 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

## **2.2 Las remociones en masa como procesos que generan riesgo**

### 2.2.1 Remociones en masa

El concepto de remociones en masa con el pasar de los años y gracias a los aportes de diversos estudios científicos ha ido evolucionando y agregando mayores nociones en su conceptualización, este se caracteriza principalmente por querer agrupar numerosos procesos y tipos de eventos bajo un mismo concepto.

Las remociones en masa según Cruden & Varnes (1996) las conceptualizan como todo movimiento de una masa de roca, de detritos y suelos por efecto de la gravedad y estos fenómenos deben su origen a la suma y combinación de diferentes factores condicionantes ya sea de tipo geológicos, morfológicos, climáticos y antrópicos. Para Hauser (2000) las remociones en masa corresponden a procesos de movilización lenta o rápida de un determinado volumen de suelo, roca o ambos y en diversas proporciones, este es un fenómeno generado por diversos factores y corresponde intrínsecamente a un proceso gravitacional, puesto que una porción específica del conjunto del terreno se desplaza hasta una cota o nivel inferior del original.

- Clasificación de remociones en masa

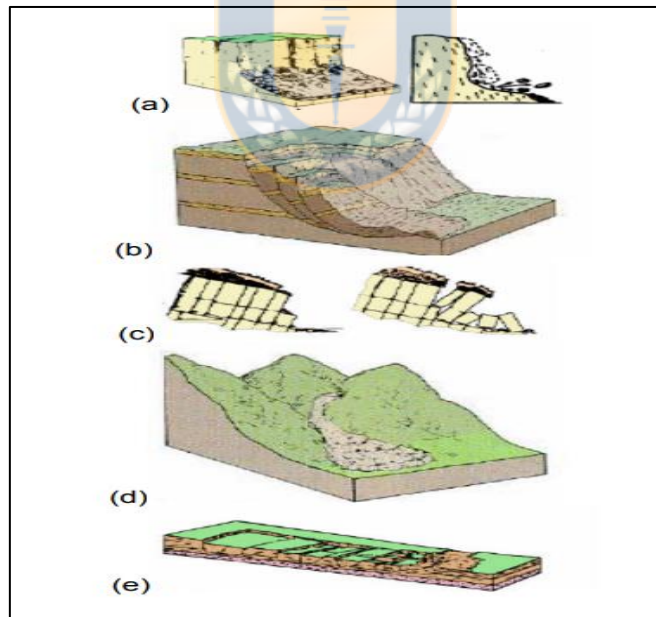
Debido a la gran variedad de condiciones en las que pueden ocurrir procesos de remociones en masa, existen diversas formas para clasificarlas, en esta investigación se utilizara la clasificación de Varnes (1978), la cual clasifica a través de dos criterios: por tipo de movimiento y el tipo de material (Tabla 2.1.). De esta forma teniendo, cinco tipos de movimientos principales (Figura 2.1.): caída (fall), volcamiento (topple), deslizamiento (slide), propagación (spread) y flujo (flow); y dos clases de materiales: rocas y suelos, éste último subdividido en detritos y tierra. Además, agrega un sexto tipo (complex), descrito como una combinación de dos o más tipos principales de movimiento.

**Tabla 2.1.** Tipos de remociones en masa.

Tipo de movimiento		Tipo de material		
		Roca	Suelo	
			Grano grueso	Grano fino
Caídas (falls)		Caída de roca	Caída de detrito	Caída de tierra
Volcamientos (Topples)		Volcamiento de roca	Volcamiento de detrito	Volcamiento de tierra
Deslizamientos (Slides)	Rotacional	Slump de roca	Slump de detrito	Slump de tierra
	Traslacional	Deslizamiento de roca	Deslizamiento de detrito	Deslizamiento de tierra
Extensiones Laterales (Lateral spreads)		Extensión de roca	Extensión de detrito	Extensión de tierra
Flujos (flows)		Flujo de roca	Flujo de detrito	Flujo de tierra
Complejos (complex)		Combinación de dos o más tipos de movimientos principales		

Fuente: elaboración propia basado en Varnes (1978)

**Figura 2.1.** Esquema de tipos de remociones en masa (a) Caídas, (b) Deslizamientos, (c) Volcamientos, (d) Flujos, (e) Extensiones laterales.



Fuente: Varnes (1978)

Caídas: Las caídas (falls) según U.S. Geological Survey (2004) corresponden a movimientos bruscos de masas de materiales geológicos, tales como rocas y cantos rodados (Figura 2.2.), que se desprenden desde laderas empinadas o acantilados. Estos tipos de remociones en masa según Huggett (2017) son

más comunes especialmente en paisajes con acantilados y pendientes rocosas empinadas e imponentes.

Volcamientos: según Cruden & Varnes (1996) un volcamiento (topple) es la rotación hacia delante fuera de la pendiente de una masa de suelo o roca alrededor de un eje por debajo del centro de gravedad de la masa desplazada. Se encuentran bajo la acción de la gravedad y las fuerzas ejercidas por unidades adyacentes o por fluidos en grietas (USGS, 2004).

Deslizamientos: Corresponde a un movimiento descendente de una masa de suelo o roca que ocurre predominantemente en superficies de ruptura o en zonas delgadas de intensa tensión de cizallamiento (Cruden & Varnes, 1996). Las causas que provocan los deslizamientos se relacionan principalmente:

Tanto con las propiedades inherentes de las unidades rocosas (presencia de minerales secundarios susceptibles de expansión, alteración, baja resistencia, presencia de discontinuidades regulares: fracturas, fallas, foliación, estratificación), como con factores externos: efecto de la gravedad (a través de erosión y/o precipitaciones) y acciones humanas (excavaciones para caminos y canales). (Hauser, 2000, p.44)

Dentro de los subtipos de deslizamientos según Huggett (2017) se encuentran los deslizamientos rotacionales y traslacionales.

Deslizamientos rotacionales: Se refiere a deslizamientos en los que "la rotura profunda o superficial ocurre a través de superficies curvas que pueden ser o no circulares, dependiendo de la uniformidad del material" (Ferrer, 1987). Según Hauser (2000) se desarrollan normalmente, en suelos cohesivos uniformes o macizos rocosos muy fracturados, carentes de estructura. Para Gonzalez de Vallejo et al., (2000) La parte inferior de la masa deslizada se acumula al pie de la ladera formando un depósito tipo lóbulo con grietas de tracción transversales. Dependiendo del tipo de suelos y del contenido en agua, se pueden generar flujos.

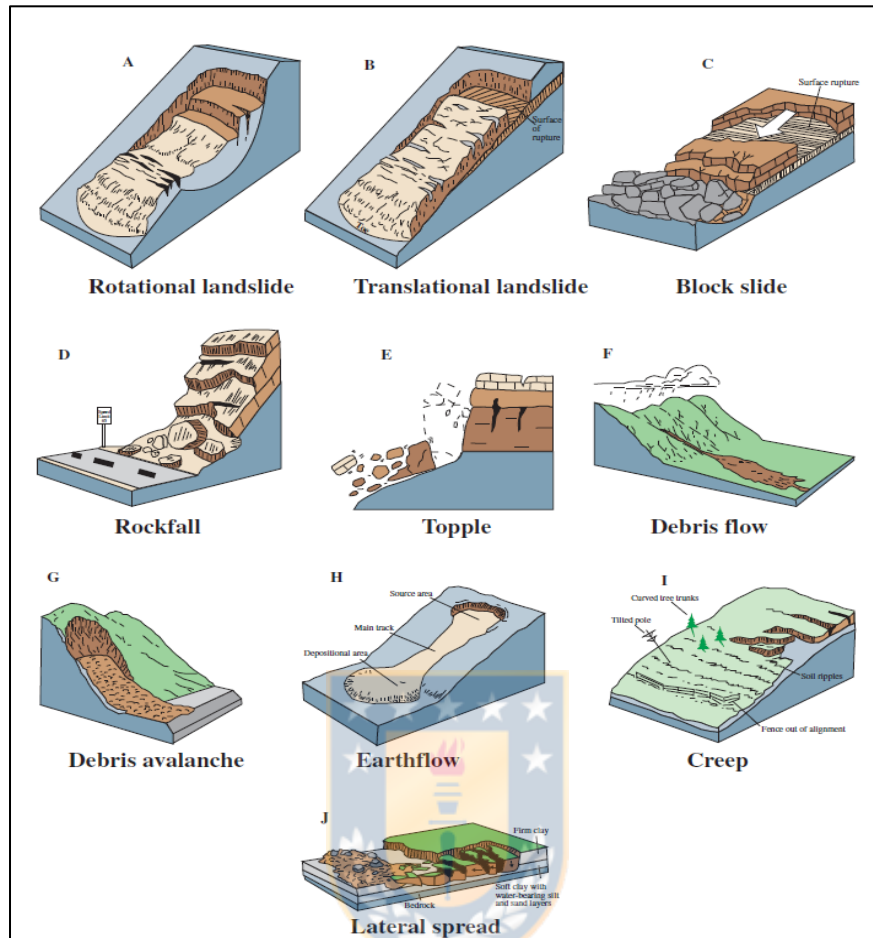
Deslizamientos traslacionales: Según Hugget (2017) ocurren a lo largo de planos de corte e incluyen deslizamientos de bloques de roca y de suelo. En este tipo de deslizamiento, según USGS (2004) la masa del deslizamiento se mueve a lo largo de una superficie aproximadamente plana con poca rotación o inclinación hacia atrás. Gonzalez de Vallejo et al., (2000) describen los deslizamientos traslacionales como cuales suelen ser menos profundos que los deslizamientos rotacionales, sin embargo suelen ser extensos y alcanzar grandes distancias. Cruden & Varnes (1996) señalan que el desplazamiento de un deslizamiento tralacional puede continuar sin control si la superficie de separación está lo suficientemente inclinada

Extensiones laterales: Según Huggett (2017) las extensiones laterales ocurren cuando una roca cohesiva o una masa de suelo se licua debido a la saturación total o parcial. Según Cruden & Varnes (1996) los materiales cohesivos también pueden hundirse, trasladarse, rotar, desintegrarse o licuarse y fluir, debido a esto según González de Vallejo et al., (2002) las zonas afectadas toman un aspecto caótico.

Flujos: según Hauser (2000) el termino de flujo es definido como movimientos de masas de mayor o menor velocidad propios de materiales sin cohesión, que tienen lugar en suelos muy susceptibles de experimentar una considerable pérdida de resistencia con el movimiento. Para Ferrer (1987) los materiales involucrados actúan, temporalmente, como un fluido, experimentan una deformación continua y no presentan superficies de rotura definida. Según Cruden & Varnes (1996) La distribución de las velocidades en la masa desplazada se asemeja a la de un líquido viscoso.



**Figura 2.2.** Ilustración de principales tipos de remociones en masa.

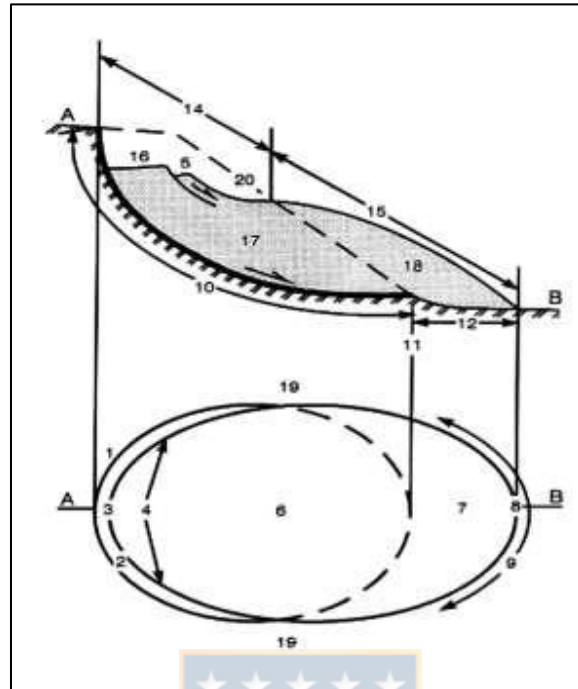


Fuente: USGS (2004).

- **Morfología de remociones en masa**

La morfología de las remociones en masa según Soriano (2009) es una explicación del tipo de mecanismo que le dio origen, por lo que es importante comprender sus diversos atributos en el entendimiento del proceso. La Asociación Internacional de Ingeniería Geológica (IAEG Commission on Landslides, 1990) diseñó un diagrama (Figura 2.3.) idealizado basándose en un esquema elaborado por Varnes (1978) para representar los atributos morfológicos de un movimiento de terreno.

**Figura 2.3.** Diagrama idealizado de los atributos morfológicos de un movimiento de ladera.



Fuente: IAEG Comission on Landslides (1990).

En el glosario multilingüe elaborado por el WPI/WLI de la UNESCO, se presenta la traducción de los términos identificados como atributos morfológicos. Se reconocen 20 atributos que conforman un movimiento de ladera, sin embargo, algunos de ellos son ajenos a nuestro lenguaje común, por lo que Corominas y García (1997) retroalimentan la traducción y uso de esos términos en español (Tabla 2.2.).

**Tabla 2.2.** Atributos morfológicos de un movimiento idealizado.

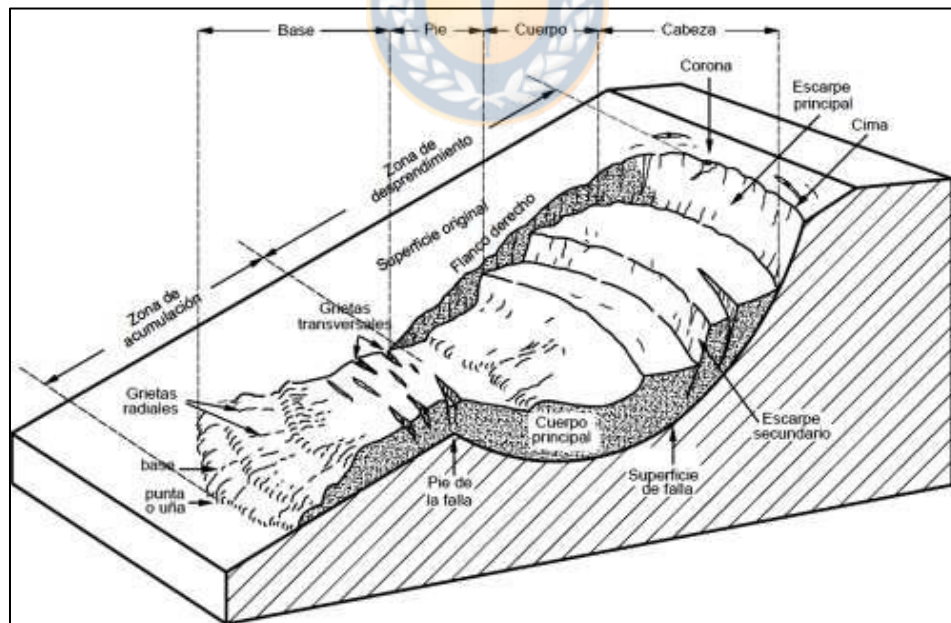
WP/WLI (Inglés)	WP/WLI (Español)	Corominas y García (1997)
1. Crown	Corona	Coronación
2. Main scarp	Escarpe principal	Escarpe principal
3. Top	Cima	Extremo superior
4. Head	Cabeza	Cabecera
5. Minor scarp	Escarpe menor	Escarpe secundario
6. Main body	Cuerpo principal	Cuerpo principal
7. Foot	Pata	Pie
8. Tip	Punta	Extremo inferior
9. Toe	Puntera	Arco o lóbulo inferior
10. Surface of ruptura	Superficie de falla	Superficie de rotura
11. Toe of Surface of rupture	Punta de superficie de falla	Extremo inferior de la superficie de rotura

12. Surface of separation	Superficie de separación	Superficie de separación
13. Displaced material	Material desplazado	Material desplazado
14. Zone of depletion	Zona de reducción	Zona de hundimiento
15. Zone of accumulation	Zona de acumulación	Zona de acumulación
16. Depletion	Reducción	hundimiento
17. Masa Depleted mass	Masa reducida	Masa hundida o deprimida
18. Accumulation	Acumulación	Acumulación
19. Flank	Flanco	Flanco
20. Original ground surface	Superficie original de terreno	Superficie original del terreno

Fuente: Elaboración propia basado en (Alcántara, 2000).

Dentro de los elementos morfológicos pueden ser asociados al terreno intacto en torno al movimiento o a la masa deslizada o desplazada, los atributos morfológicos asociados al terreno intacto son la corona, el escarpe principal, la superficie de ruptura principal y los flancos. Se reconoce una parte alta o superior, una parte intermedia semirecta y una parte baja donde se producen la depositación (Figura 2.4.).

**Figura 2.4.** Nomenclatura de las diferentes partes de un movimiento de ladera.



Fuente: Suarez (1998).

- **Causas y mecanismos condicionantes de remociones en masa.**

Corresponden a las características intrínsecas que dependen de la naturaleza, estructura y forma del terreno (González de Vallejo et al., 2002). Hauser (1993) establece una relación entre los factores más relevantes con cada tipo de remociones en masa (Figura 2.5.), siendo la geología y geotecnia, geomorfología y la hidrología e hidrogeología, los factores más importantes en los cinco tipos de eventos de remociones en masa de Varnes (1978). En cambio, factores como la Vegetación, Clima y actividad antrópica, no siempre van a generar una inestabilidad en las laderas.

**Figura 2.5.** Relación entre los factores condicionantes (Hauser, 1993) y tipos de remociones en masa (Varnes, 1978).

Factores Condicionantes \ Tipo de remoción en masa	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: Hauser (1993).

**Geología y geotecnia:** Las características geológicas de un sector son usualmente descritas a partir de los distintos tipos de materiales presentes (distintas litologías, sedimentos y coberturas de suelo), como por la disposición que presentan (estratificación, contactos, presencia de fallas y sistemas de diaclasas). Sin embargo, para estudiar las remociones en masa no sólo es importante conocer la composición y tipo de masa sensible a ser movilizada, sino que también como se espera que se comporte en términos mecánicos y resistentes. Es importante considerar el grado de alteración y meteorización de los macizos rocosos, así como caracterizar su fábrica estructural (tipo,

disposición y condición de las discontinuidades), además de obtener valores de su resistencia, tanto de la roca intacta, del macizo como de sus discontinuidades, además de parámetros como la permeabilidad, humedad, densidad de los materiales que lo componen.

**Geomorfología:** las condiciones geomorfológicas de un área estarán gobernadas por los distintos procesos que modelan la superficie, y pueden ser descritas en términos de rangos de pendientes, topografía presente, a altura de las laderas y la forma que presentan (laderas regulares o irregulares, con pendiente positiva o negativa). De esta forma, topografías escarpadas, con altas pendientes, propiciarán la generación de varios tipos de remociones en masa (como flujos, deslizamientos y caídas), favoreciendo la acción gravitatoria. En algunos tipos de remoción en masa, donde es relevante el espesor de suelo y cobertura vegetal, se consideran además aspectos geográficos del área, como por ejemplo orientación con respecto al norte lo que puede finalmente influir por ejemplo en el grado de humedad de la ladera y exposición al sol.

**Clima y vegetación:** Las condiciones climáticas influyen directamente en el grado de meteorización y erosión que tendrá un área, especialmente al verse expuesta a precipitaciones, viento, cambios de temperatura y radiación solar. Por ejemplo, la meteorización física y química de los materiales (que es más intensa en climas húmedos), genera mayores espesores de suelo y horizontes orgánicos, y traerá como consecuencia la pérdida de resistencia de los materiales. No obstante, un clima húmedo propiciará la presencia de cobertura vegetal, que además de reducir la erosión, puede en algunos casos ser una barrera natural de contención de material movilizado por remociones en masa. Otro ejemplo es el caso de las precipitaciones, que pueden ser incluidas como condicionantes dentro de la variable climática, pero que también actúan como desencadenante de algunos procesos. Para evaluar cómo el clima y la vegetación condicionan la ocurrencia de remociones en masa, se hace

necesario además conocer las características particulares del área a evaluar y los fenómenos asociados.

**Condiciones hidrológicas e hidrogeológicas:** El agua, tanto en superficie como por debajo de ella, condiciona en forma directa e indirecta la generación de remociones. La forma y distribución de sistemas de drenaje en superficie, así características de caudales, escorrentías, infiltración y posición del nivel freático, además de propiedades de permeabilidad y porosidad de las unidades, influyen en la incorporación de agua en suelos y macizos rocosos (Lara, 2007). El agua juega un papel negativo en la resistencia de los materiales, ya que por un lado, genera presiones intersticiales lo que reduce la resistencia, aumenta los esfuerzos de corte por el incremento del peso del terreno y genera fuerzas desestabilizadoras en grietas y discontinuidades (González de Vallejo et al., 2002) y reduce la resistencia al corte de discontinuidades al lavar los rellenos de estas.

**Intervención antrópica:** El ser humano genera de forma planificada o no, modificaciones en el medio que habita. La generación de obras constructivas, cortes, terraplenes, plataformas, obras de minería, etc., en muchas ocasiones deja las laderas más susceptibles a la ocurrencia de eventos producto de diseños mal concebidos, con ángulos mayores a los que es capaz de resistir en forma natural los materiales, o que no consideran el control estructural que tendrá un talud de forma natural. En algunas ocasiones, el resultado son geometrías de laderas irregulares o con pendientes negativas que finalmente causarán desestabilización. Sin embargo, también existen obras antrópicas robustas, que disminuirán la susceptibilidad ante remociones en masa, y esa consideración será incluida y abordada en el presente trabajo. Cabe señalar, que al igual que las precipitaciones, la intervención antrópica en algunos casos resulta el agente desencadenante de un evento de remoción en masa.

### **2.3 Factores desencadenantes de remociones en masa**

Los agentes desencadenantes corresponden a fenómenos externos que se comportan como agentes activos que provocan inestabilidad. Según

(Wieczorek, 1996 en Lara y Sepúlveda, 2008) los factores desencadenantes corresponden a condiciones externas que generan una respuesta traducida en una remoción en masa mediante el rápido incremento de esfuerzos o la reducción de la resistencia del material de una ladera, caracterizados por un corto lapso de tiempo entre causa y efecto. Por lo general influyen en la magnitud y velocidad de los movimientos (González de Vallejo et al., 2002). Dentro de los agentes más importantes considerados en estudios relacionados con remociones en masa, se encuentran los sismos y las precipitaciones.

#### **2.4 Mapas de Susceptibilidad ante remociones en masa**

La susceptibilidad para Sepúlveda (1998) es definida como la probabilidad de que ocurra un evento peligroso en un área determinada. Según Navarro (2012) la susceptibilidad indica la predisposición del terreno a deslizarse, pero no implica el aspecto temporal del fenómeno. Este concepto en el marco de las remociones en masa es definido como la favorabilidad del ambiente físico y de los elementos inherentes de las masas de terreno y superficie como la geología, pendiente, geomorfología, usos del suelo, etc. a la ocurrencia de deslizamientos. Los mapas de susceptibilidad según Jiménez (2005) buscan valorar las condiciones geotécnicas de estabilidad de las vertientes para la planificación de urbanizaciones, obras civiles o movimientos de tierras. Desde esta perspectiva, el mapa de susceptibilidad se debe emplear como una guía que muestra las zonas en las que las intervenciones mencionadas pueden ser ejecutadas con mayor o menor dificultad en cuanto a la posible inestabilidad del terreno.

#### **2.5 Exposición**

Para la UNISDR (2004) la exposición se define como la disposición sobre el territorio de un conjunto de bienes a preservar que pueden ser dañados por una amenaza natural.

### 3 Metodología

#### 3.1 Enfoque metodológico

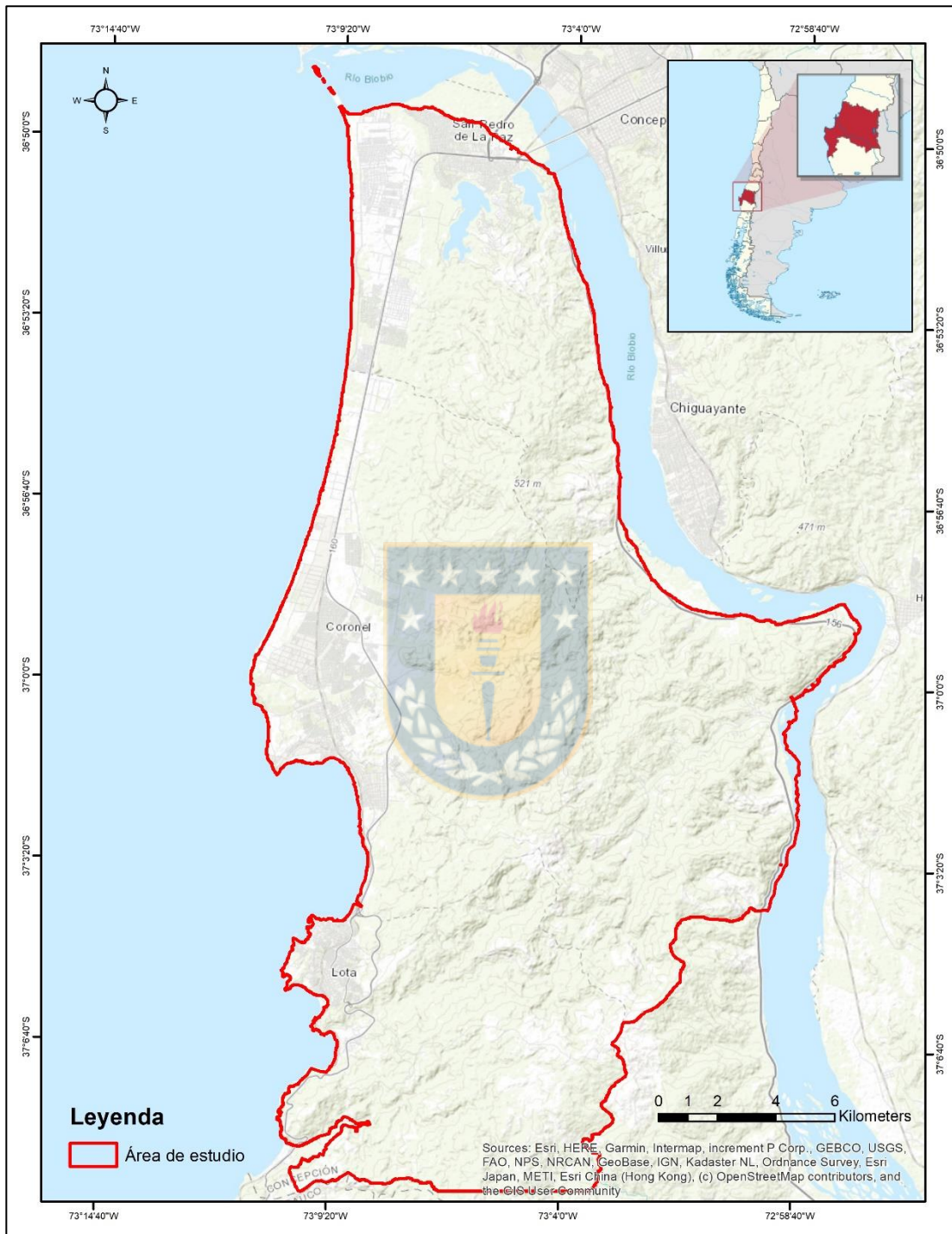
La investigación en su primer parte se llevará a cabo el análisis de fuentes donde se busca inventariar la recurrencia de eventos de remociones en masa en el AMC, específicamente en las comunas de Coronel, Lota y San Pedro de la Paz, utilizando archivos de prensa del diario “El Sur” y los registros del servicio nacional de geología y minería de Chile (Sernageomin) en este caso el catastro de remociones en masa. Luego, se elaborará un inventario donde se identifican y clasifican los procesos de remociones en el área de estudio para luego llevar a cabo la recolección de datos en terreno y constatar visualmente los eventos, caracterizando cada uno de los tipos de procesos. Para llevar a cabo una zonificación y análisis de susceptibilidad se trabajará a partir de un enfoque basado en metodologías cualitativas (observación y descripción) de enfoque heurístico y cuantitativas de enfoque determinístico, dado que representan el trabajo de terreno y el uso de herramientas y técnicas geomáticas: Sistema de Información Geográfica (SIG).

#### 3.2 Área de estudio

Las comunas de Coronel, Lota y San Pedro de la Paz (Figura 3.1.), estas se encuentran ubicados en la Región del Biobío y pertenecen al Área Metropolitana del Gran Concepción. San Pedro de la Paz situada al sur y al poniente del río Biobío ( $36^{\circ} 50' S$  y  $73^{\circ} O$ ) corresponde a la tercera comuna más poblada del Área Metropolitana del Gran Concepción y cuenta con una población total de 131.808 habitantes según datos del censo de 2017. Coronel localizada en la vertiente occidental del macizo de Nahuelbuta ( $36^{\circ} 58' S$  y  $73^{\circ} O$ ), es la cuarta comuna más poblada del Área Metropolitana del Gran Concepción y cuenta con una población total de 116.262 habitantes según datos del censo de 2017. Y, por último, Lota ubicada al norte de la provincia de Arauco ( $37^{\circ} 4' S$  y  $73^{\circ} O$ ) cuenta con una población total de 43.535 habitantes según datos del censo de 2017.



**Figura 3.1.** Área de estudio la cual comprende las comunas de Coronel y Lota San Pedro, de la Paz.

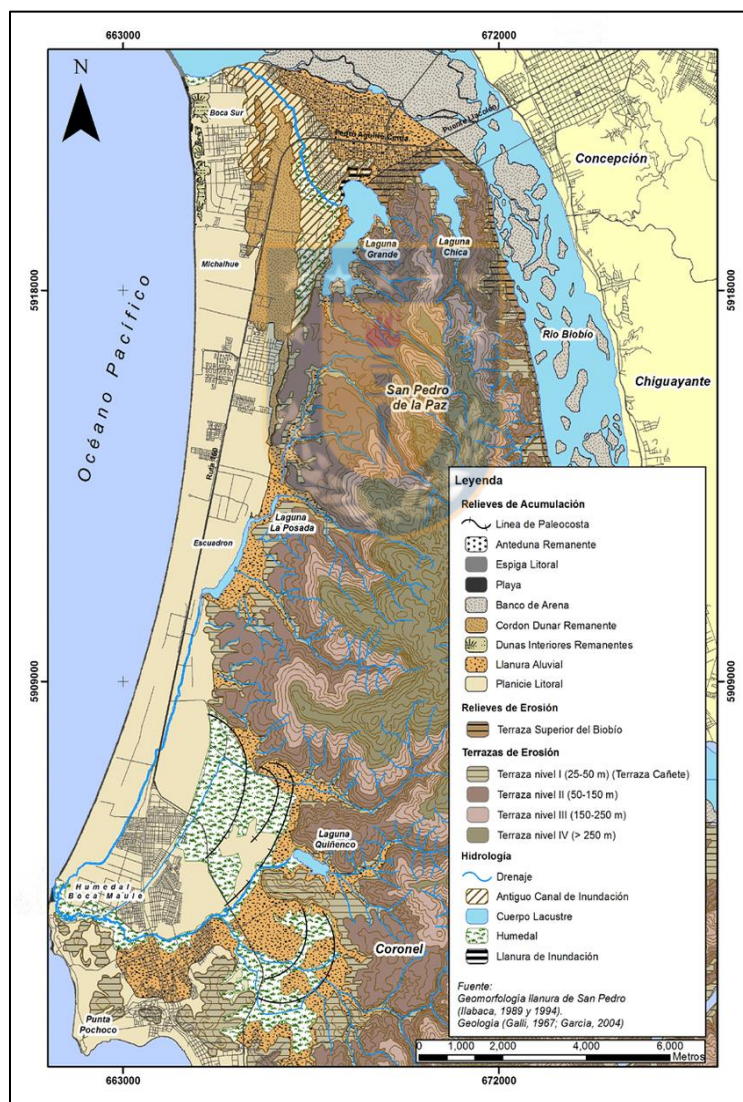


Fuente: elaboración propia.

### 3.2.1 Caracterización Geomorfológica

Antecedentes geomorfológicos levantados para la comuna de San Pedro de la Paz y parte de su conurbación con Coronel, por Martínez, Quezada & López (2017) identifican una serie de geoformas (Figura 3.2.) entre las que destacan formas de erosión y de acumulación que permiten reconocer aspectos relevantes para el análisis de la amenaza de remoción en masa del área a investigar.

Figura 3.2. Geomorfológica de la llanura de San Pedro de la Paz.



Fuente: Martínez, Quezada & López (2017)

- **Terrazas de erosión del basamento metamórfico de la cordillera de Nahuelbuta**

Martínez et al, (2017) señala que estos relieves de erosión forman superficies escalonadas en cuatro niveles de altura y se desarrollan en la vertiente occidental de la cordillera de Nahuelbuta. Forman un relieve de altura que en conjunto presenta 228 km<sup>2</sup> (61.5% de la superficie total) y está constituido por rocas fuertemente meteorizadas y disectadas por el drenaje local.

- **Terraza superior del Biobío**

Según Martínez, Quezada & López (2017) esta corresponde a una terraza fluvio-deltaica localizada a una altitud entre 4 y 12 m sobre la cual se asienta la ciudad de San Pedro de la Paz. Presenta una superficie de 6.2 km<sup>2</sup> (1.7 % de la superficie total del área de estudio). Esta terraza ha provocado el represamiento natural de las lagunas Grande y Chica de San Pedro. De acuerdo con Galli (1967) en Martínez et al, (2017) corresponde a la terraza Nivel II holocénica de la llanura de agradación del Biobío, que se encuentra bien drenada y sobre la cual se han fundado las ciudades de San Pedro y Concepción.

- **Planicie litoral**

La planicie litoral según Martínez et al, (2017) es la unidad con mayor superficie en el sistema costero, ocupa 93.2 km<sup>2</sup> (25.1% de la superficie total) y se extiende hasta 7,2 km al interior en Coronel y 2.1 km en el sector de Michaihue. La altura fluctúa entre 0 y 8 msnm, fue formada a expensas de la progradación de bermas sucesivas de playas asociadas a procesos de transgresión marina ocurridos durante el Holoceno. La mayor transgresión marina es conocida como transgresión flandrense, cuyo nivel más alto habría ocurrido entre 8.000 y 6.400 años AP de acuerdo a dataciones efectuadas, lo cual es coincidente con otros registros en la región (Martínez, 1968; Galli, 1967). Está compuesta por depósitos litorales provenientes principalmente de la Formación Huachipato, es decir por arenas volcánicas (basálticas)

provenientes del valle del río Laja, las cuales forman la mayor potencia sedimentaria (Galli, 1967). Los materiales presentan granulometría fina, moderadamente seleccionada, con fragmentos de magnetita, plagioclasa, hematita y vidrio volcánico (Galli, 1967 en Ilabaca, 1994; García, 2004).

- **Cordones dunares**

En la llanura de San Pedro, sector norte, se desarrolló hasta los años setenta un extenso campo dunar, con alturas de hasta 30 m (Ilabaca, 1979 en Martínez et al, (2017). Se identificaron dos tipos de dunas en el área: las dunas antiguas o paleodunas y las antedunas o dunas primarias vegetadas.

Dunas antiguas o paleodunas: Forman cordones remanentes de unos 4.9 km<sup>2</sup> (1.3% del total) localizados principalmente en la zona norte (Los Batros) ocupada por antiguos pantanos, sin embargo, han sido geoformas relevantes en la evolución geomorfológica de la llanura de San Pedro.

Antedunas: Son dunas monticulares de baja altura y estabilizan la playa trasera a través de la fijación de las arenas por parte la vegetación pionera. Presentan mayor desarrollo solo en algunos sectores ya que por causas antrópicas se encuentran fuertemente degradadas. Dado que las marejadas son fenómenos cada vez más frecuentes en esta costa, las dunas presentan perfiles truncados debido a la erosión de las olas. Las especies que contribuyen a fijar las arenas son *Ambrosia chamissonis* y *Carpobrotus aequilaterus* (doña). Otras especies fijadoras son *Nolana paradoxa* (suspiro de mar) y *Dichondra sericea* (oreja de ratón).

- **Llanura aluvial**

Martínez et al, (2017) señala que la llanura aluvial se localiza dentro de la antigua llanura fluvio-marina del Biobío y corresponde principalmente a un área de depositación de materiales aluviales al estero Los Batros. Presenta 18.5 km<sup>2</sup> (5% de la superficie total). Las alturas no superan los 5 m y genéticamente correspondería a un antiguo desagüe de áreas bajas y pantanosas delimitados por cordones marinos y por lo tanto, de antiguas líneas

de costa (Ilabaca, 1994). En esta llanura se localizan además cordones dunares remanentes, constituidos por arenas finas a medias y limo eólico mezclado con arenas muy finas (García, 2004).

- **Playa**

La playa actual según Martínez et al, (2017) tiene una extensión de 18,6 km de largo, su ancho fluctúa entre 30 m y 40 m en verano y 20 m en invierno debido a la estacionalidad climática. De acuerdo a investigaciones recientes, la línea litoral de la playa Escuadrón presenta una tasa media de avance de 0.60 m/año para el período 1978-2013, sin embargo, en algunos tramos, como por ejemplo frente a la desembocadura y frente a Coronel, presenta una tendencia erosiva de -0.20 m/año (Martínez, 2013).

Las arenas son medianas a gruesas y están compuestas por cuarzo plagioclasa, hematita y magnetita (Martínez, 2013). La playa prograda en la ribera sur a través de una espiga litoral recurvada de unos 1.3 km de largo, siendo un factor relevante de la morfología estuarial del Biobío y su funcionamiento ecosistémico.

- **Humedales**

Las lagunas de San Pedro fueron formadas por represamiento debido a la sedimentación aportada por los acantilados de la cordillera de Nahuelbuta, en un período en que el área constituía el antiguo frente deltaico (Ilabaca, 1994 en Martínez et al, (2017). El humedal más representativo de San Pedro es Los Batros, mientras que las lagunas son laguna Grande y Chica, otros cuerpos de agua la desembocadura del río Biobío, Boca Maule, La Posada, Coronel, Lagunillas (Ruta-160) y la laguna Quiñenco (Coronel).

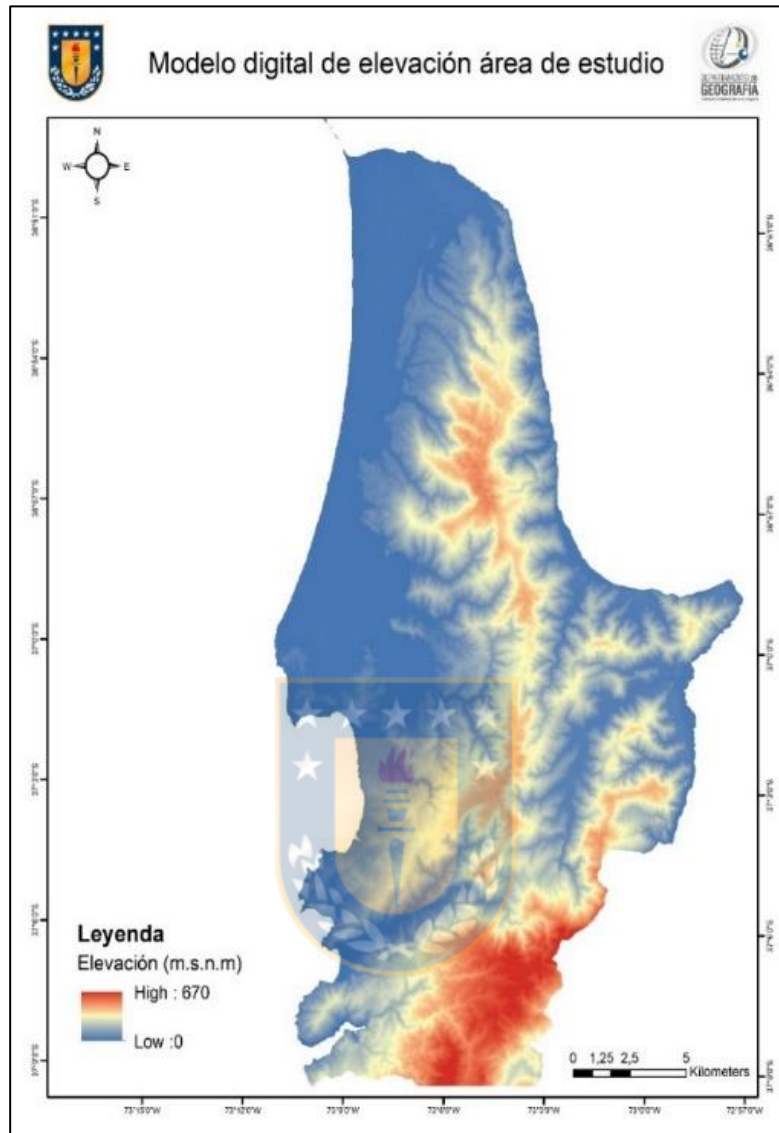
La llanura de San Pedro constituye un espacio costero de alto valor natural y patrimonial que ha posibilitado el desarrollo de ambientes costeros diversos tales como campos dunares, humedales costeros, pantanos y marismas.

La comuna de Lota según Sernageomin (2010) se encuentra sobre una planicie marina, intermareal a fluvial, caracterizada por depósitos sedimentarios no consolidados de origen fluviomarino y fluvial, y en cerros de altura variable consistentes en rocas sedimentarias de la Formación Curanilahue y por rocas del basamento metamórfico. En diversos lugares la ciudad se emplaza sobre depósitos antrópicos de diverso origen (rellenos de corte de cerros, terraplenes, botaderos de estéril).

### **3.2.1.1. Elevaciones**

En el modelo de elevaciones para el área de estudio (Figura 3.3.) se observa que la mayor altitud se ubica a los 670 m.s.n.m. y la menor corresponde al nivel del mar. Al dividir por comunas el DEM encontramos que en San Pedro de la Paz las zonas más deprimidas se encuentran vecinas a la línea de costa y gran parte de la zona urbana de la comuna, que no supera los 10 m.s.n.m. Hacia el interior encontramos algunos niveles donde la elevación aumenta y llega a estar entre los 20 - 80 m.s.n.m y la mayor altitud la encontramos al mucho más al interior de la comuna justo al límite con Coronel donde llega a los 470 m.s.n.m. La comuna de Coronel por su parte sucede casi lo mismo que en San Pedro de la Paz, en la línea de la costa encontramos altitudes que rondan los 5 m.s.n.m y al interior algunas zonas que rondan los 5 – 7 m.s.n.m, pero también hay sectores más altos donde llega a los 50 m.s.n.m, aquí la mayor altitud también se sitúa al muy al interior de la comuna donde llega a los 400 m.s.n.m. Por último, la comuna de Lota en la zona costera encontramos altitudes que rondan entre los 30 – 90 m.s.n.m y la altitud más alta la encontramos en el límite con Arauco donde llega a los 670 m.s.n.m.

**Figura 3.3.** Modelo digital de elevación (DEM) del área de estudio.

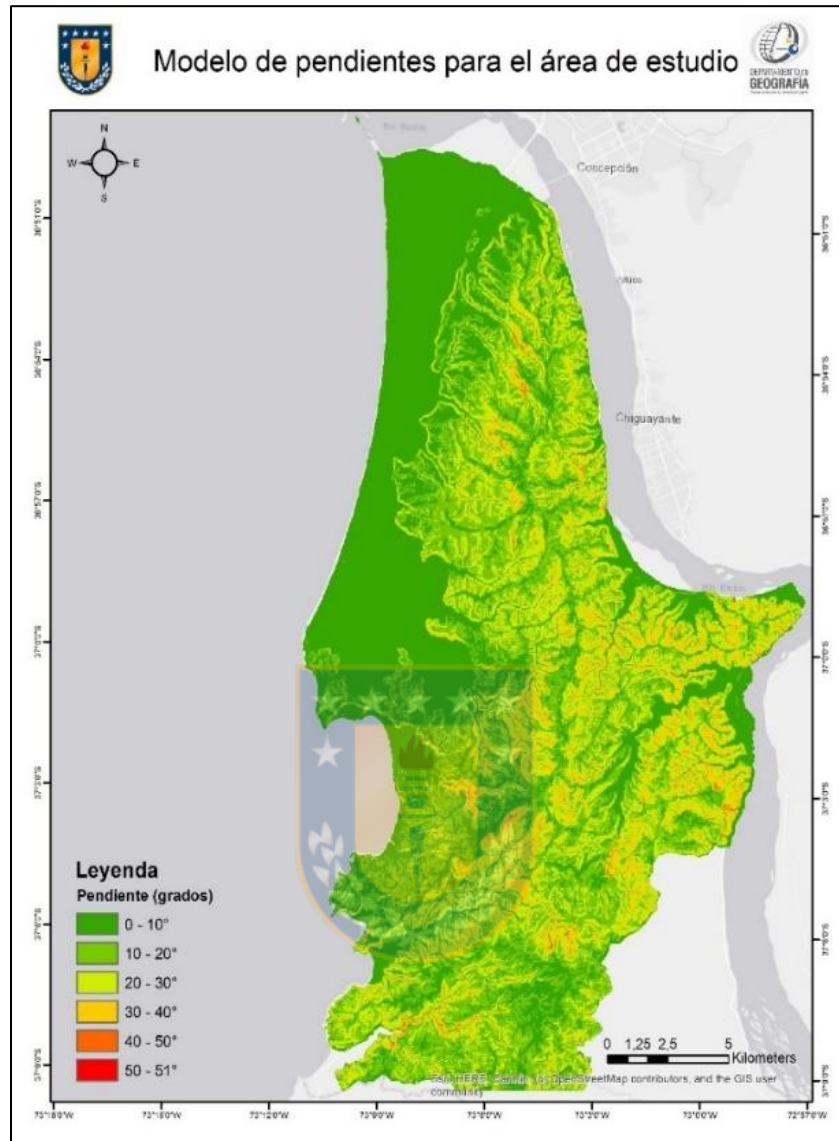


Fuente: elaboración propia.

### 3.2.1.2. Pendientes

Con el fin de analizar la distribución de pendientes (Figura 3.4.) debido a la irregularidad del terreno, se clasificó las pendientes en 6 categorías: pendientes entre 0 – 10°, entre 10 – 20°, entre 20 – 30°, entre 30 y 40°, entre 40 y 50° y entre 50 y 51°. En el área de estudio se llegaron a alcanzar como valor máximos los 51° de inclinación. En contraste, hay mayoritariamente pendientes entre 0 – 10°, ya que son las que ocupan un área de 202, 95 km<sup>2</sup> del total que son 525,24 km<sup>2</sup>.

**Figura 3.4.** Mapa de pendientes del área de estudio.



Fuente: elaboración propia.

### 3.2.2. Caracterización geológica

Las unidades geológicas del área fueron obtenidas del estudio elaborada por Quinzio et al., (2010) en el trabajo: “Geología del sector costero de la provincia de Concepción, Región del Biobío” el cual fue georreferenciada en el software ArcMap 10.5 y de esta forma obteniéndose la carta geológica para el área de estudio (Figura 3.5.).





máximo en el año 1997 con 1.535 mm de agua caída y un mínimo en el año 1998 con 598,6 mm de agua caída. Esta estación se encuentra alejada del área de estudio, lo que puede provocar una leve diferencia de estos valores con las precipitaciones reales que se dan en la zona.

**Tabla 3.1.** Precipitación histórica anual en mm periodo años 1990-2005 de la ciudad de Concepción. Datos estación meteorológica Carriel Sur.

Año	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005
Total anual	848	1142.4	1454.9	1146.2	844.3	952.9	630.8	1535	598.6	1091.2	1406.4	1358.6	1363.2	871.7	1126.9	1382.9

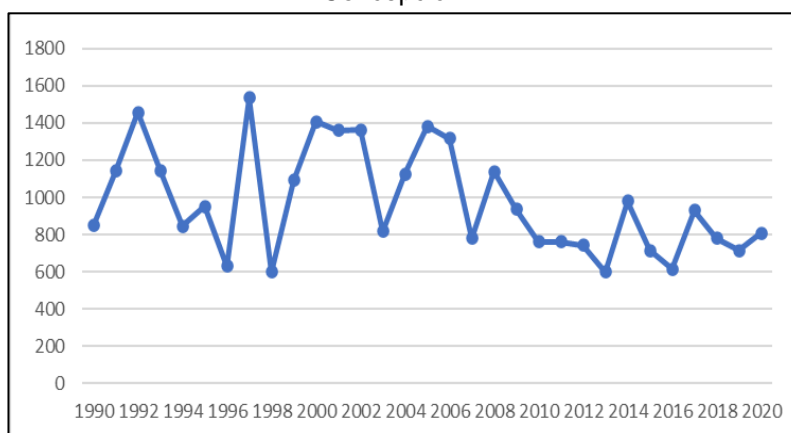
Fuente: Dirección meteorológica de Chile

**Tabla 3.2.** Precipitación histórica anual en mm periodo años 2006-2020 de la ciudad de Concepción. Datos estación meteorológica Carriel Sur.

Año	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Total anual	1315.5	779.4	1137	935.2	760.2	762.4	742.4	599.8	980.8	715.4	616	929.8	781.3	715.6	808.8

Fuente: Dirección meteorológica de Chile.

**Figura 3.6.** Precipitación histórica anual en mm periodo años 1990-2020 de la ciudad de Concepción.



Fuente: elaboración propia.

Las temperaturas medias anuales medidas entre los años 1990 y 2020 (Tabla 3.3; 3.4.) y (Figura 3.7.) en la Estación Carriel Sur de Concepción muestra un mínimo de 11,9°C en el año 2007 y un máximo de 13,6°C en los años 1997 y 2016.

**Tabla 3.3.** Temperatura media (°C) periodo años 1990-2005 de la ciudad de Concepción.  
Datos estación meteorológica Carriel Sur.

Año	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005
Temperatura media	12.5	12.8	12.8	13.1	13.1	12.8	13.2	13.6	13	13	12.7	12.5	12.2	12.9	13	12.8

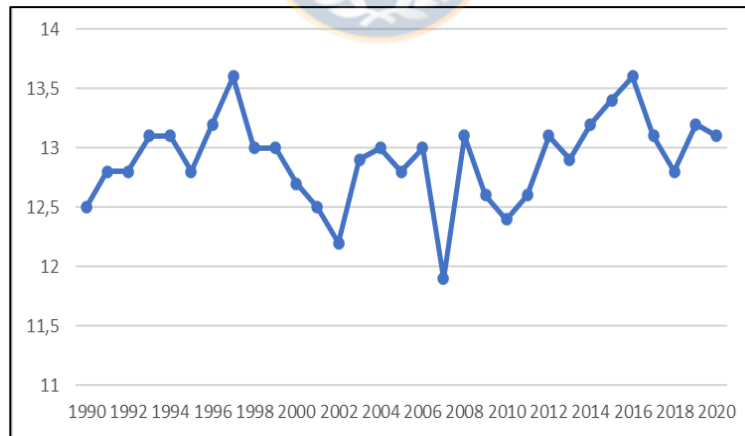
Fuente: Dirección meteorológica de Chile.

**Tabla 3.4.** Temperatura media (°C) periodo años 2006-2020 de la ciudad de Concepción.  
Datos estación meteorológica Carriel Sur. Fuente: Dirección meteorológica de Chile

Año	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Temperatura media	13	11.9	13.1	12.6	12.4	12.6	13.1	12.9	13.2	13.4	13.6	13.1	12.8	13.2	13.1

Fuente: elaboración propia.

**Figura 3.7.** Temperatura media (°C) periodo años 1990-2020 de la ciudad de Concepción



Fuente: elaboración propia.

En la comuna de Coronel el clima predominante es templado húmedo, con asociación templada fría; donde las temperaturas excepcionalmente bajan en relación de la altitud, principalmente por la advección fría de la corriente marina

de Humboldt, de tipo de mediterráneo, donde el régimen de lluvias se manifiesta en la época más fría (Quintanilla, 1985 en Zevallos y Matthei, 1994).

La comuna de Lota se encuentra en el dominio del Clima Subtropical o Mediterráneo de Costa Occidental, tipo Cordillera de la Costa, con amplitud térmica moderada, actuando como regulador térmico la proximidad con el Océano Pacífico, tiene un clima tipo templado donde la estación seca corresponde al verano con un índice de humedad estival seco y un índice de humedad invernal extremadamente alto, período libre de heladas de 300 a 350 días (11 meses), siendo estas del tipo suave (PLADECO, 2015).

### **3.2.4 Caracterización Socio - Económica**

Las comunas de Coronel, Lota y San Pedro de la Paz forman parte del Área Metropolitana de Concepción (AMC).

El AMC según Salinas & Pérez (2011) corresponde a la segunda concentración urbana del país después del Área Metropolitana de Santiago. Cuenta con una variada e importante actividad económica basada en la industria (forestal, minera, pesquera y manufacturera, entre otras) y es también un importante centro de servicios. Es además un enclave estratégico nacional debido a que confluyen en su territorio cuatro modos de transporte: aeroportuario, portuario marítimo, ferroviario y vial.

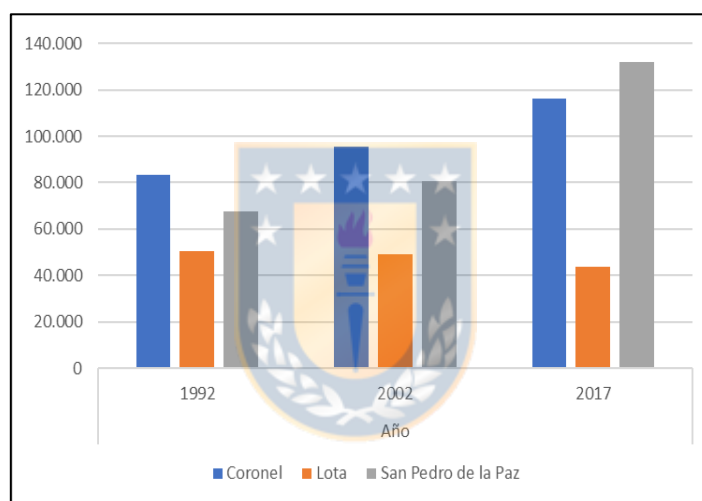
El AMC desde su aspecto físico ocupa un territorio que lo caracterizan tres elementos: el borde costero con las bahías de Concepción, San Vicente y Coronel; el río Biobío; y la cordillera de la costa conocida también como cordillera de Nahuelbuta. Todos los elementos anteriormente mencionados han sido determinantes en los procesos de asentamiento, configuración y crecimiento de los centros urbanos.

El crecimiento de las comunas de Coronel y San Pedro de la Paz (Figura 3.8.) se ve evidenciado en los últimos tres censos realizados (1992, 2002 y 2017), a diferencia del decrecimiento de Lota en cuanto a población según La

Biblioteca del Congreso Nacional entre el censo del 2002 y 2017 la comuna presentó una variación del -11.31%.

De acuerdo a la información entregada por el Instituto Nacional de Estadísticas la población total al año 1992 era de 201.224, en el año 2002 llegó al número de 225.064 logrando un aumento de 23.840 personas en 10 años. Para el año 2017 las comunas de Coronel, Lota y San Pedro de la Paz registraron un total de 291.605 habitantes, es decir, un aumento de 66.451 en 15 años (censo 2002 – censo 2017).

**Figura 3.8.** Población total de las comunas de Coronel, Lota y San Pedro de la Paz según censos realizados en los años 1992, 2002 y 2017.



Fuente: elaboración propia.

## 4 Técnicas y métodos.

### 4.1 Inventario multitemporal de Remociones en Masa

#### 4.1.1 Trabajo de gabinete

El inventario de remociones en masa del Área metropolitana de Concepción para llevarlo a cabo en primer lugar se realizará la revisión de prensa en las dependencias de la biblioteca central de la Universidad de Concepción, en este caso usando como fuente el diario “El Sur” centrándonos a partir del año 1990 hasta el año 2020, con esto se irá recopilando toda la información entregada por la prensa local acerca de procesos de remociones en masa, esta información será guardada en formato de fotos (JPG) en una nube de Google drive.

Luego de terminar la revisión de diarios y la posterior recopilación de eventos que se hayan registrado, se procede a realizar las fichas de toma de datos (ANEXO B.) la cual está en formato Word, donde cada evento es registrado junto con toda la información entregada y un mapa donde se señale la ubicación aproximada de donde haya ocurrido el evento.

Luego de terminar la revisión de diarios y la posterior recopilación de eventos que se hayan registrado, se procede a realizar las fichas de toma de datos (Figura N°15) la cual está en formato Word, donde cada evento es registrado junto con toda la información entregada y un mapa donde se señale la ubicación aproximada de donde haya ocurrido el evento.

El mapa de ubicación aproximada que se encuentra en cada ficha de registro de remociones en masa será trabajado a partir del uso del software QGIS 3.16.14 y Google Earth. El software QGIS se utilizará para realizar los mapas, en este trabajo se necesitarán de archivos shapefile (Tabla 4.1.)

**Tabla 4.1.** Archivos shapefile utilizados.

<b>Nombre archivo</b>	<b>Formato</b>	<b>Entidad informante</b>
Comunas	Shapefile	BCN
Regiones	Shapefile	BCN
Catastro de suelos R VIII	Shapefile	IDE Chile
Red vial 2019	Shapefile	BCN

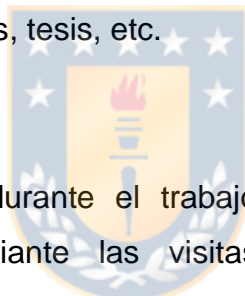
Fuente: elaboración propia.

Mientras que la ubicación de cada evento de remoción en masa se obtendrá a partir de un punto aproximado de cada evento en el programa Google Earth y será guardada en formato de punto KMZ.


Luego de tener listo todo lo anterior, se procede a añadir al inventario de remociones en masa, los eventos recopilados en trabajos, informes de instituciones gubernamentales, tesis, etc.

#### 4.1.2 Trabajo en terreno

La información recopilada durante el trabajo de gabinete pasará a ser verificada en terreno mediante las visitas a terreno de las áreas documentadas. En caso de que se vea un evento de remoción en masa que no esté registrado pasará a ser añadida en terreno, mediante una ficha de terreno (Figura 4.1.).



**Figura 4.1.** Ficha de terreno para inventario de remociones en masa en el AMC.

 Ficha de terreno para inventario de procesos de remociones en masa en el Área Metropolitana de Concepción, Región del Biobío, Chile.				
Fecha de ejecución:		Hora de llegada:		Hora de salida:
Localización:			Coordenadas:	
Altura				
Cota más alta:			Pie de ladera:	
Alcance de material (km):				
Tipología de procesos				
Deslizamientos: Rotacional <input type="checkbox"/> Traslacional <input type="checkbox"/>		Caídas o desprendimientos: Roca <input type="checkbox"/> Tierra <input type="checkbox"/>		Vuelcos <input type="checkbox"/>
Flujos: De detritos <input type="checkbox"/> De tierra <input type="checkbox"/> De barro <input type="checkbox"/>			Propagaciones o extensiones laterales <input type="checkbox"/>	
Factores condicionantes				
Geología	Geomorfología	Vegetación	Condiciones hidrogeológicas	Actividad antrópica
Litológicas <input type="checkbox"/>	Pendiente <input type="checkbox"/>	Ausencia <input type="checkbox"/> Escasez <input type="checkbox"/>	Precipitaciones <input type="checkbox"/>	
Perfil de vertiente		Suelo		Estado de actividad
Cóncavo <input type="checkbox"/> Convexo <input type="checkbox"/> Recto <input type="checkbox"/> Horizontal <input type="checkbox"/>		Sólido <input type="checkbox"/> Parcialmente sólido <input type="checkbox"/> Suelto <input type="checkbox"/> Cohesionado <input type="checkbox"/>		Activo <input type="checkbox"/> Reactivo <input type="checkbox"/> Suspendido <input type="checkbox"/> Latente <input type="checkbox"/> Relicto <input type="checkbox"/> Dormido <input type="checkbox"/>

Fuente: elaboración propia.

## 4.2 Modelo de susceptibilidad

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

- Revisión bibliográfica
- Recopilación de información acerca de modelos de susceptibilidad de remociones en masa.



- Caracterización de procesos geológicos de remociones en masa y análisis de vías de acceso para visita en terreno a la zona de estudio.
- Visitas a terreno y reconocimiento de remociones en masa pre-existentes además de zonas de potencial generación de remociones en masa.
- Aplicación de la metodología de evaluación de riesgos de derrumbes propuesta por Mardones & Vidal (2001).

Se propone usar como metodología la matriz de riesgo de derrumbes (Tabla 4.2.) trabajada por Mardones & Vidal (2001), esta matriz de evaluación de peligrosidad será usada como metodología para evaluar la susceptibilidad a procesos de remoción en masa utilizando variables condicionantes y asignándoles valores de uno a tres, donde 1 corresponde a susceptibilidad baja, 2 a susceptibilidad intermedia y 3 a susceptibilidad alta.

**Tabla 4.2.** Matriz de evaluación riesgo de derrumbe (peligrosidad).

<b>Evaluación/Factores de riesgo</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>
Pendientes	< 10°	10 – 20 °	> 20°
Morfología	Terrazas, escarpe débil, plataforma, llanura	Escarpe mediano	Escarpe fuerte
Litología	Roca sana, roca coherente	Roca fracturada, semicoherente	Roca alterada, roca incoherente
Cobertura vegetal	Cob. >75%	Cob. 75-50%	Cob. <50%

Fuente: Mardones & Vidal (2001).

Teniendo como base la metodología mencionada anteriormente, esta será usada (contemplando la disponibilidad de datos) con ciertas modificaciones de variables condicionantes a tener en cuenta (Tabla 4.3), en este caso se reemplazará la geomorfología con la orientación de laderas y la cobertura

vegetal con los usos de suelo. Todo lo anterior permite obtener una zonificación de susceptibilidad mediante la utilización de factores condiciones y asignándoles un peso relativo.

**Tabla 4.3.** Matriz de evaluación de susceptibilidad de remociones en masa basado en el trabajo de Mardones & Vidal (2001).

<b>Evaluación/Factores de riesgo</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>
Pendientes	< 10°	10 – 20 °	> 20°
Orientación de laderas	Flat, south, southeast, southwest	East, west	North, northeast, northwest
Geología	Depósitos de origen fluvial o marino recientes	Rocas fracturadas	Rocas alteradas
Usos de suelo	Cuerpos de agua, humedales, bosque nativo y áreas agrícolas	Áreas urbanas y plantaciones forestales	Matorrales y zonas sin vegetación

Fuente: elaboración propia.

#### **4.3. Evaluación de exposición ante remociones en masa**

La metodología usada para evaluar la exposición será mediante la superposición de capas de información, esta fue utilizada por Jaque, Lara & Merino (2017). La técnica utilizada se basa en la modelación del riesgo de remociones en masa en los Sistema de Información Geográfica (SIG) y en el cálculo de su exposición mediante análisis de superposición de capas de información. Para generar el mapa de susceptibilidad de remociones en masa de las comunas de Coronel, Lota y San Pedro de la Paz se utilizó la cartografía trabajada durante esta investigación. Luego para elaborar el mapa de exposición, se utilizará la unidad de manzanas censales del año 2017 del INE, en formato vectorial y la base de datos asociada al censo de población y vivienda del INE del mismo año.

Para clasificar la población que se encuentra mayormente expuesta a procesos de remoción en masa se realizarán geoprocesos de superposición de capas de información, mediante lo cual se identificarán las áreas de mayor exposición al riesgo de remociones en masa en las comunas de Coronel, Lota y San Pedro de la Paz.



## 5 Cronograma de actividades

El cronograma de actividades entiende que el trabajo de esta investigación se desarrollará durante 4 meses (agosto – diciembre), y comprende 6 actividades principales: 1. Desarrollo del inventario; 2. Evaluación de susceptibilidad; 3. Validación del modelo de susceptibilidad; 4. Evaluación modelo de exposición al riesgo de remociones en masa; 5. Validación de los datos del modelo de exposición y 6. Redacción de tesis y revisiones finales.

Todo lo anterior a su vez lo comprenden subactividades:

1. El desarrollo del inventario posee dos fases, una ya realizada, la cual fue la revisión de información de prensa lo cual se desarrolló entre los meses de marzo y mayo (3 meses), ahora viene la segunda fase la cual está compuesta por actividades como la digitalización de la información recabada en prensa (2 semanas), revisión de fotografías aéreas e imágenes satelitales (6 semanas), planificación del trabajo de campo (2 semanas), trabajo de terreno (5 semanas) y validación datos trabajo de campo (2 semanas).
2. La Evaluación de susceptibilidad comprende las subactividades de en primer lugar realizar el trabajo de gabinete y pre – terreno, donde se espera reunir toda la información necesaria para trabajar con la metodología propuesta (1 semana) y la siguiente subactividad es la de aplicación de la metodología de (Mardones & Vidal, 2001) lo cual tendrá una duración de (2 semanas).
3. Comparación y validación del modelo de susceptibilidad y datos obtenidos comprende un trabajo de 3 semanas
4. Evaluación de exposición al riesgo de remociones en masa tomando en cuenta el modelo propuesto por (Jaque, Lara & Merino, 2017), comprende 3 semanas y dentro de esta actividad encontramos las siguientes subactividades: trabajo de gabinete reuniendo las capas de información necesarias para generar el mapa de exposición y búsqueda de datos censales a utilizar en bases de datos estadísticos.

5. La validación del modelo de exposición de (Jaque, Lara & Merino, 2017) lo comprende un trabajo de 2 semanas, en donde se van a contrastar y analizar los datos obtenidos.
6. La redacción de la tesis compuesta por subactividades como resultados, discusión, conclusión y revisiones finales se llevará a cabo todo el mes de noviembre y la primera semana de diciembre (4 semanas).

Algunas actividades se realizarán de forma paralela y el detalle de esto se presenta en el Cronograma de actividades (Tabla 5.1.)

**Tabla 5.1.** Cronograma de actividades.

Actividades		Meses																
		AGO			SEP			OCT			NOV			DIC				
Desarrollo del inventario	Digitalización de de información	■																
	Revisión de fotografías áreas e imágenes satelitales	■	■															
	Planificación Trabajo de campo	■	■	■														
	Trabajo en terreno	■	■	■	■													
	Validación datos trabajo de campo	■	■	■	■													
Evaluación de susceptibilidad	Trabajo de gabinete y pre terreno				■	■	■											
	Aplicación de modelo de susceptibilidad de Mardones & Vidal (2001)				■	■	■											
Validación modelo de susceptibilidad	Análisis de resultados						■	■										
Evaluación modelo de exposición	Aplicación de modelo de exposición de Jaque, Lara & Merino (2017)							■	■	■								
Validación modelo de exposición	Análisis de resultados									■	■							
Redacción de tesis	Resultados											■	■	■	■			



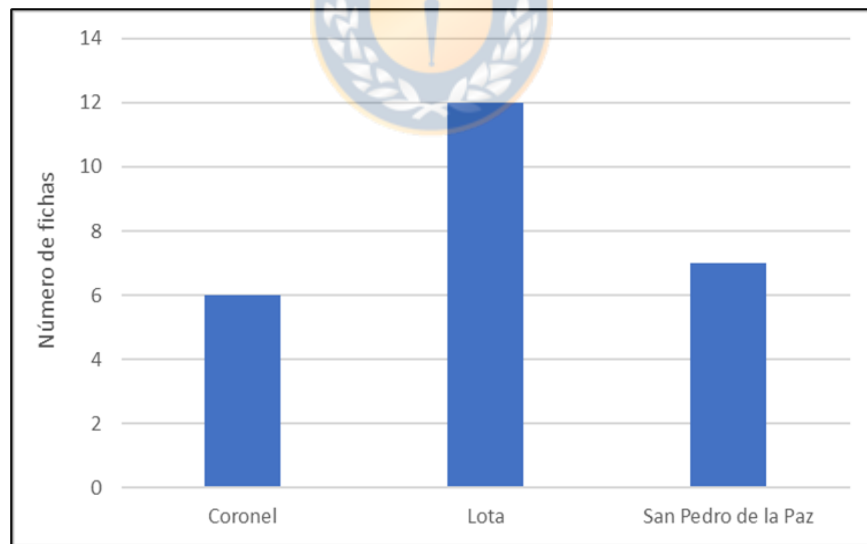
## 6 Análisis y resultados

### 6.1. Resultados análisis de archivos de prensa local sobre remociones en masa

La revisión de prensa realizada durante el primer semestre donde el diario “El Sur” fue la fuente consultada y los años en los que nos centramos fue entre 1990 – 2020, obtuvo los siguientes resultados:

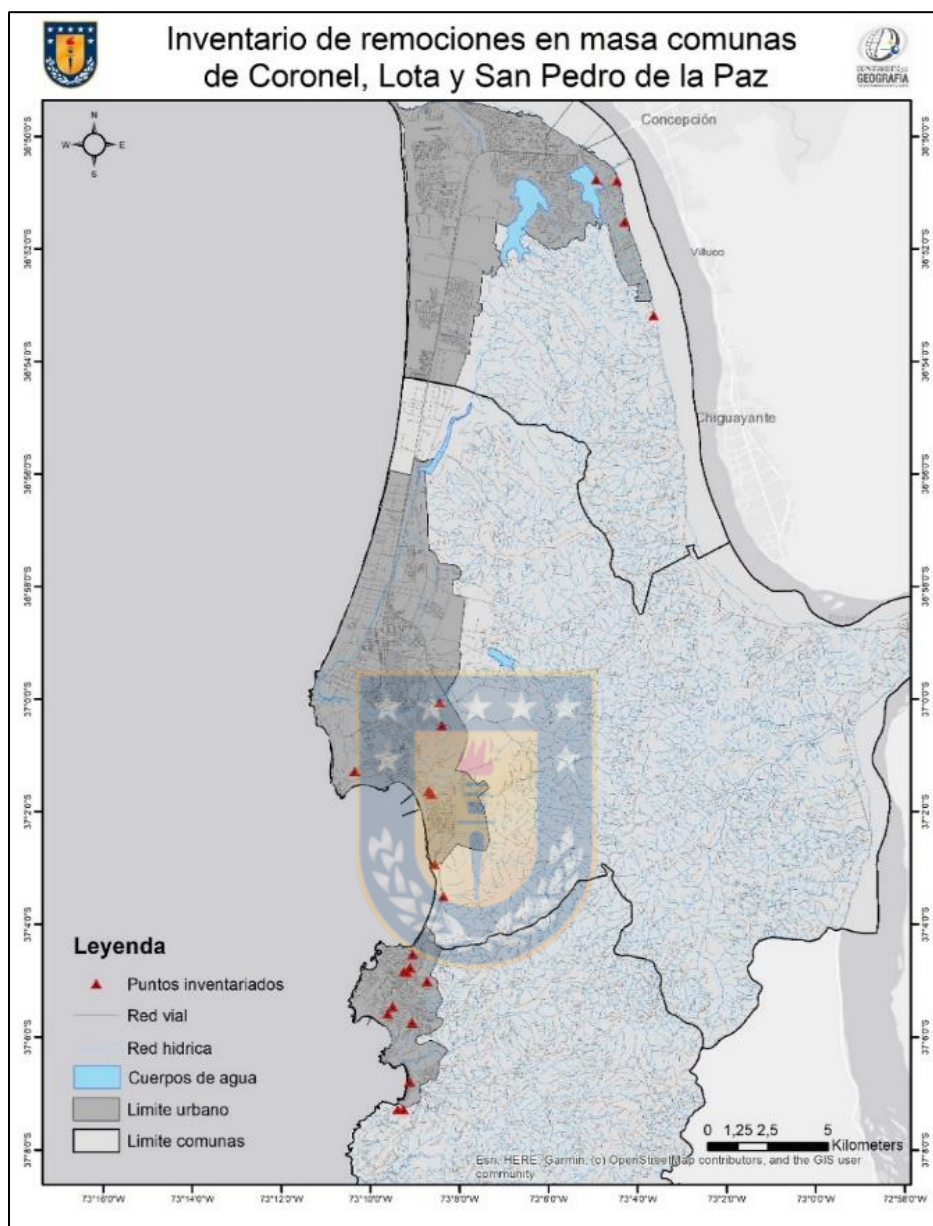
Se tiene registro con información de 25 eventos de remociones en masa ocurridos en las comunas de Coronel, Lota y San Pedro de la Paz (Figura 6.1.) en fichas de toma de datos (Anexo B) y con las cuales se llevó a cabo un inventario de remociones en masa donde Coronel cuenta con 6 fichas de eventos de remociones en masa ocurridos durante los últimos 30 años, Lota por su parte cuenta con 12 fichas de eventos registrados y por último en San Pedro de la Paz cuenta con 7 fichas sobre eventos registrados por la prensa local (Figura 6.3.).

**Figura 6.1.** Gráfico con número de fichas y comunas.



Fuente: Elaboración propia.

**Figura 6.3.** Inventario de remociones en masa.

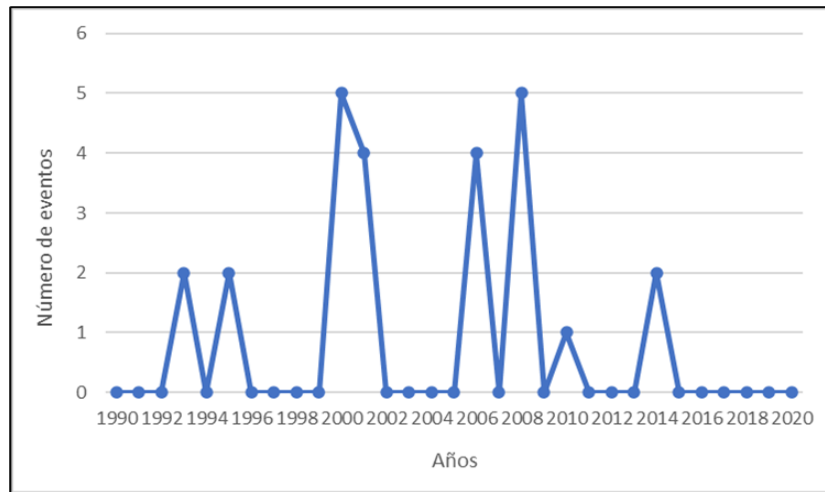


Fuente: Elaboración propia.

De los 25 eventos de remociones en masa de los cuales la prensa local tiene registro, los años 2000 y 2008 cuentan con 5 eventos registrados cada uno (siendo los años donde más eventos ocurrieron), luego lo siguen los años 2001 y 2006 con 4 eventos, los años 1993, 1995 y 2014 con 2 eventos y por último el año 2010 con 1 evento (Figura 6.4.).



**Figura 6.4.** Gráfico con número de eventos entre los años 1990 – 2020.



Fuente: Elaboración propia.

Otro resultado que se logró obtener es que los eventos de remociones en masa se concentran mayoritariamente en los meses más lluviosos del año (junio, julio y agosto). El mes donde más se registró esta clase de evento durante los últimos 30 años fue en el mes de julio con 9 eventos en total y lo sigue junio y agosto con 5 cada uno (Figura 6.5.).

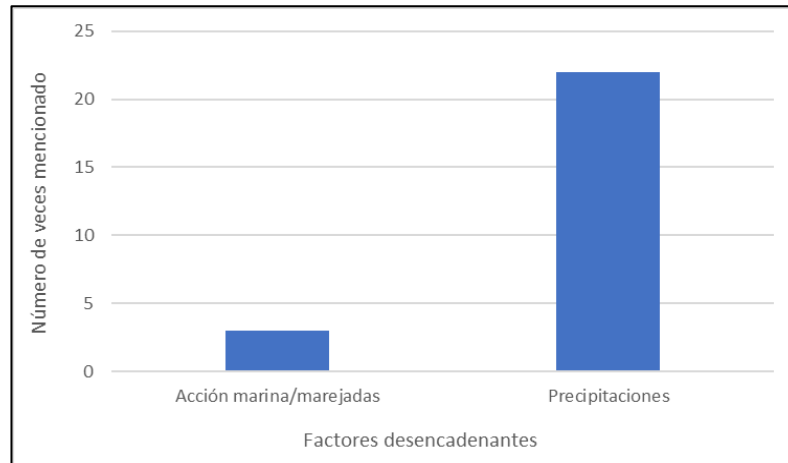
**Figura 6.5.** Gráfico con número de eventos por meses del año.



Fuente: Elaboración propia.

Los factores desencadenantes que mayor impacto tienen en procesos de remociones en masa en las comunas de estudio son: La acción marina/marejadas y las precipitaciones (Figura 6.6.)

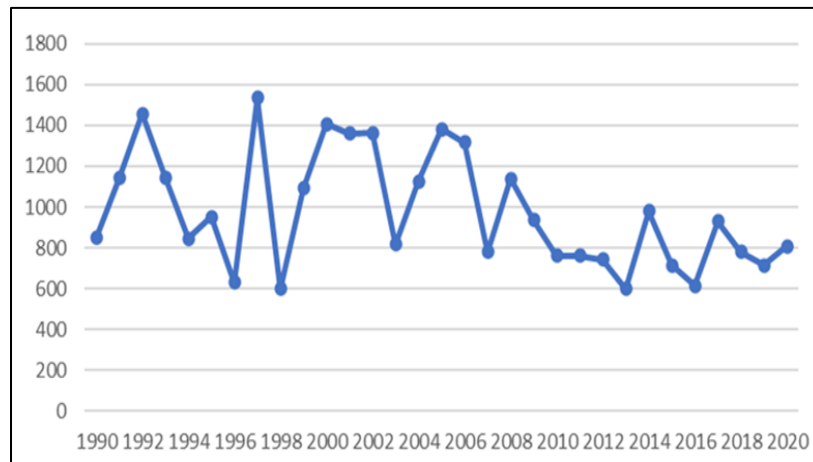
**Figura 6.6.** Factores desencadenantes en procesos de remociones en masa.



Fuente: Elaboración propia.

Las precipitaciones al ser un factor desencadenante importante, se debe hacer una relación entre los años donde mayormente se produjeron procesos de remoción en masa y junto a las cifras procedentes de la dirección meteorológica de Chile (DMC) sobre precipitación histórica anual en mm entre los años 1990 – 2020 (Figura 6.7.), se puede concluir que los años con alto nivel de precipitaciones es probable que ocurran procesos de remociones en masa.

**Figura 6.7.** Precipitación histórica anual en mm entre los años 1990- 2020.



Fuente: Elaboración propia.

## 6.2. Evaluación de la susceptibilidad de remociones en masa en las comunas de Coronel, Lota y San Pedro de la Paz, Región del Biobío.

### 6.2.1. Reclasificación de factores.

En este capítulo se detallan los factores condicionantes considerados en el presente análisis de susceptibilidad a remociones en masa, la influencia que tienen en la generación de este y la reclasificación de cada factor en tres clases que representan la susceptibilidad relativa del factor a generar desprendimientos de material, asignando el valor 1 a zonas con baja susceptibilidad, 2 a susceptibilidad intermedia y 3 a alta susceptibilidad, para posteriormente asignar valores de peso a cada uno de los factores condiciones, integrarlos mediante Raster Calculator en ArcMap 10.5 y tener como resultado el mapa de susceptibilidad de remociones en masa.

Los datos para confeccionar las capas que representan cada factor (tabla 6.1.) son obtenidos a partir de geoprocesamiento del DEM y bibliografía.

**Tabla 6.1.** Datos usados para mapa de Susceptibilidad

<b>Factor</b>	<b>Fuente</b>	<b>Unidad</b>
Geología	Bibliografía	Pixel
Uso de suelo		
Pendiente	Geoprocesamiento DEM	
Orientación de laderas		

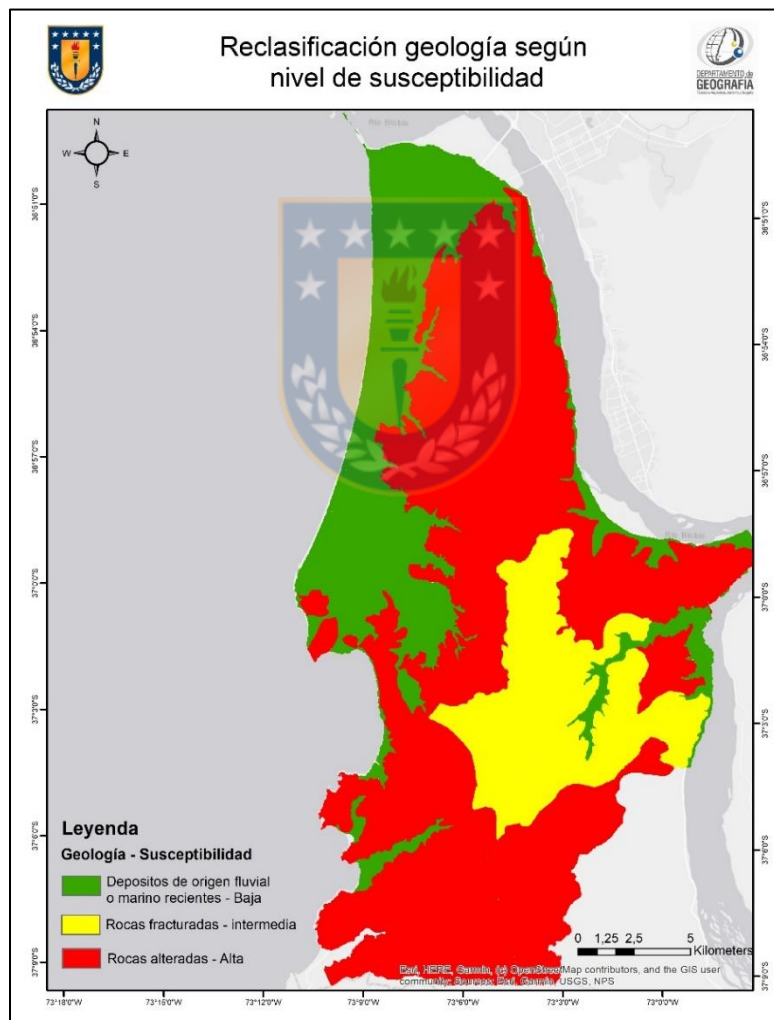
Fuente: Elaboración propia.

#### 6.2.1.1. Geología

A las 11 formaciones, complejos o depósitos presentes en el área de estudio se les realizó la reclasificación (Figura 6.8.) y se consideran con una alta susceptibilidad al complejo metamórfico serie occidental (Pzoc), serie oriental

(Pzorb, Pzora, Pzors), al Complejo Intrusivo Concepción (CTrct), la Formación Cosmito – Curanilahue (Pgcc) y los estratos Molino El Sol (Pliemp) esto debido a su posición topográfica y el avanzado desarrollo de suelo. A una susceptibilidad intermedia corresponderían la Unidad Metamórfica Patagual (PTrp) y la Formación Santa Juana (Trsj). Por último, la Formación Huachipato (PIHh), Depósitos Fluviales y marinos antiguos (PIHfm) y Depósitos Fluviales Actuales (Hf) se les asigna una susceptibilidad baja, esto debido a su posición topográfica desfavorable para los procesos de remociones en masa.

**Figura 6.8.** Reclasificación geología - susceptibilidad

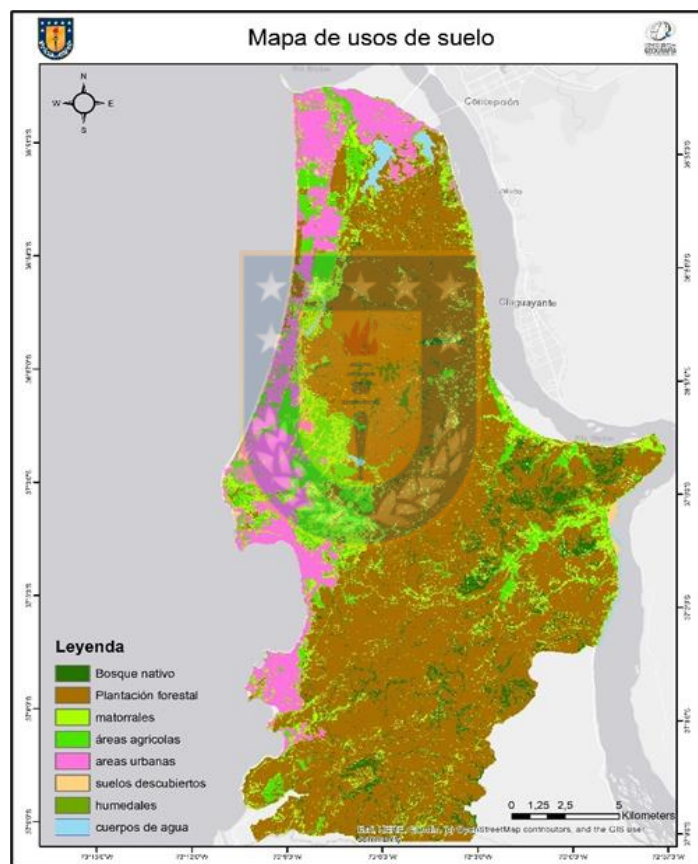


Fuente: Elaboración propia.

### 6.2.1.2. Uso del suelo

El uso de suelo muestra la presencia o ausencia de urbanización, el tipo de vegetación en áreas no urbanizadas, ausencia de la vegetación o actividades de tipo agrícola o forestal. Cada uso influye sobre la superficie donde se encuentra, por ejemplo, en la capacidad de infiltración del agua en el suelo, facilitando o retrasando la saturación de este. En el área de estudio existen ocho usos de suelo (Figura 6.9.)

**Figura 6.9.** Usos de suelo en las comunas de Coronel, Lota y San Pedro de la Paz

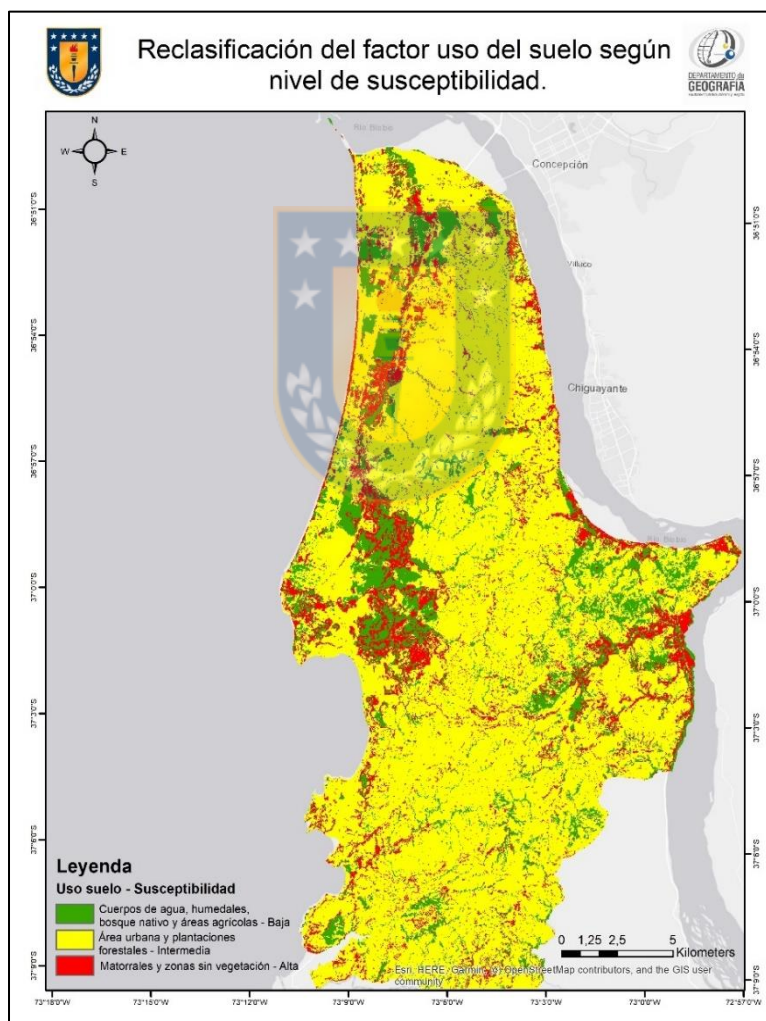


Fuente: Elaboración propia.

A los 8 usos de suelos se les realizó la reclasificación (Figura 6.10.) y se consideran con una alta susceptibilidad a los suelos de matorrales y suelos descubiertos de vegetación, esto debido a la poca cubierta vegetal presente, ya que esta ayuda a absorber el agua de lluvia y retrasa la saturación del terreno. A una susceptibilidad intermedia corresponderían los suelos de

uso urbano y forestal, las áreas urbanas debido a la alta intervención en el terreno lo cual genera inestabilidad en los taludes y las plantaciones forestales que con el pasar del tiempo los suelos presentan gran erosión y deterioro en la calidad del suelo, lo anterior corresponde a factores que favorecen la ocurrencia de procesos de remociones en masa. Por último, los suelos de uso bosque Nativo, áreas agrícolas, humedales y cuerpos de agua se les asigna una susceptibilidad baja, esto debido al nivel de vegetación presente o las técnicas de conservación de suelo.

**Figura 6.10.** Reclasificación uso de suelo - susceptibilidad

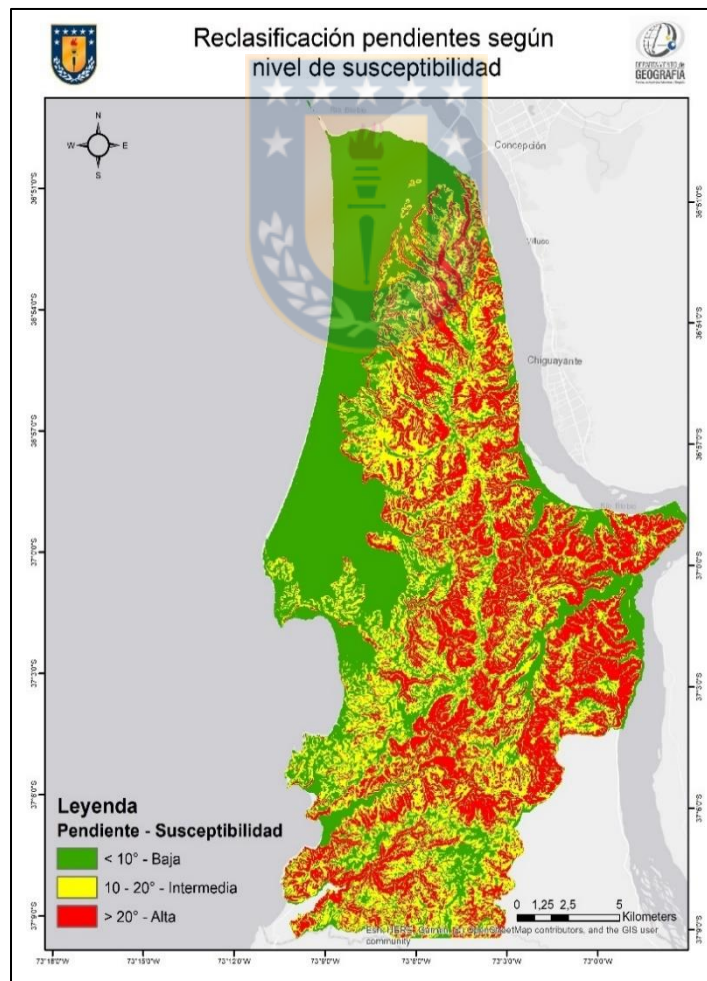


Fuente: Elaboración propia.

### 6.2.1.3. Pendiente

La distribución y grados de pendiente del terreno en el área de estudio fueron analizados en el apartado 2.2.1.2. y en la fig. 2.4. La distribución de pendientes es reagrupada (Figura 6.11.) en base a su capacidad generadora de movimientos gravitacionales, que se debe a la mayor tensión en los materiales a mayores pendientes. Las pendientes de menos de 10° son consideradas suaves y representan una baja susceptibilidad a remociones en masa; aquellas entre 10° y 20° corresponden a pendientes moderadas con una susceptibilidad intermedia o moderada y con más de 20° se consideran abruptas, se les asigna una alta susceptibilidad.

**Figura 6.11.** Reclasificación pendientes - susceptibilidad

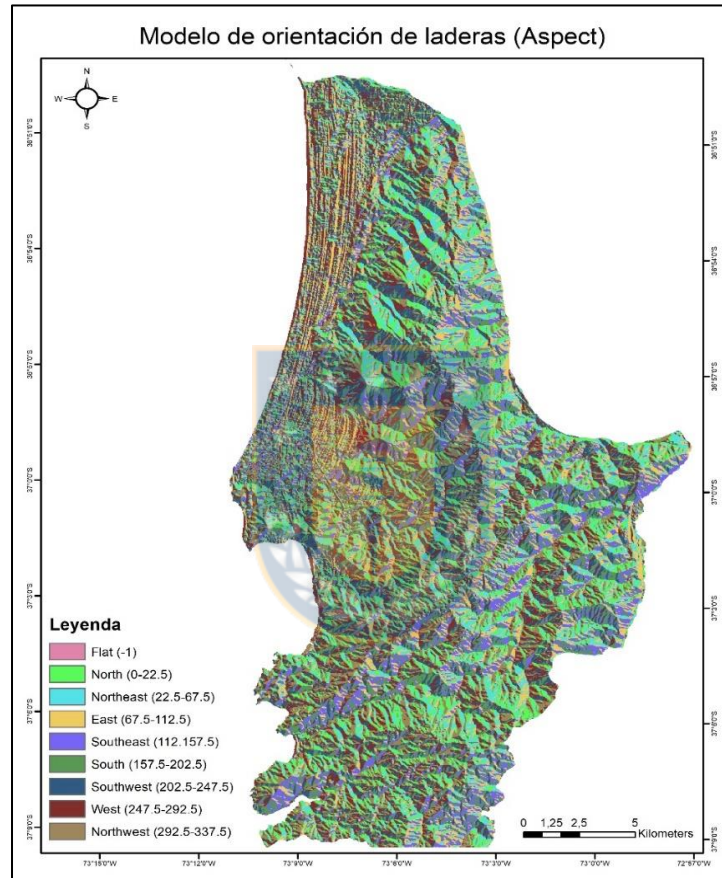


Fuente: Elaboración propia.

#### 6.2.1.4. Orientación de laderas

La orientación de las laderas (Figura 6.12.) contribuye a los deslizamientos al afectar a otros parámetros. Esta variable determina el efecto de la dirección de las precipitaciones, la cantidad de luz solar, la humedad del suelo, el viento y la sequedad del aire.

**Figura 6.12.** Modelo orientación de laderas del área de estudio.



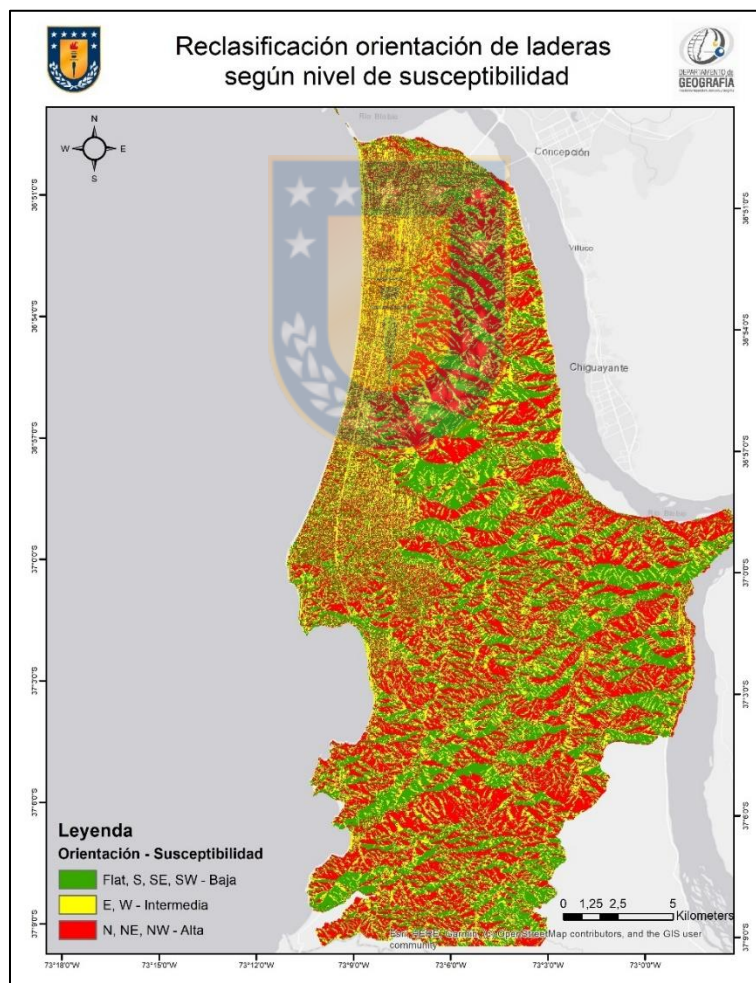
Fuente: Elaboración propia.

Las laderas que están más expuestas a los rayos del sol revelan evapotransferencia. Esto afecta la humedad del suelo. Además, la evaporación afecta la distribución y el tipo de vegetación. En la literatura existen estudios que determinan que las laderas de solana son más propensas a deslizamientos que las laderas de umbría.



En gran parte del área de estudio, se determinaron zonas con orientación Norte, Noreste y Noroeste, lo que determina una importante solana durante el día, es decir, menor cobertura vegetal y mayor erosión superficial. En cambio, los rangos Sur, Suroeste-Sureste manifestaron áreas con mayor umbría. En este caso, se considera una alta susceptibilidad para laderas orientadas al Norte, Noreste y Noroeste. Las pendientes con orientación al Este, Oeste y Plana son consideradas en el nivel intermedio y finalmente las laderas orientadas al Sur, Sureste y Suroeste se consideran de baja susceptibilidad porque se ven menos expuestas a la erosión (Figura 6.13.).

**Figura 6.13.** Reclasificación orientación – susceptibilidad.



Fuente: Elaboración propia.

### 6.2.2. Integración de variables raster al SIG

Se analizaron las cartas temáticas de cada uno de los factores condicionantes, con el fin de establecer diferentes pesos en porcentajes (%). Con la ayuda de las visitas a terrenos y bibliografía se determinó la ponderación de cada variable. Este valor permitió establecer su mayor o menor influencia en los procesos de remociones en masa. En la Tabla 6.2; se presentan las áreas de influencia de los rangos de cada variable en estudio y su porcentaje en relación con el total del área de estudio.

**Tabla 6.2.** Susceptibilidad, rangos, áreas (km<sup>2</sup>), porcentaje ocupado por las variables de pendiente, geología, uso de suelo y orientación.

Susceptibilidad raster	Pendiente			Geología			Uso de suelo			Orientación		
	Rango	Área (km <sup>2</sup> )	%	Rango	Área (km <sup>2</sup> )	%	Rango	Área (km <sup>2</sup> )	%	Rango	Área (km <sup>2</sup> )	%
Baja	< 10°	202,95	38,64	Depósitos de origen fluvial o marino recientes	128,03	24,38	Cuerpos de agua, humedales, agrícola y bosque nativo	76,66	14,6	Flat, S, SW, SE	177,41	33,78
Moderada	10-20°	166,62	31,72	Rocas fracturadas, semicoherentes.	83,26	15,85	Suelo urbano y uso forestal	386,36	73,56	E, W	139,62	26,58
Alta	> 20°	155,67	29,64	Zonas alteradas o diaclasadas	313,94	59,77	Matorrales y sin vegetación	62,21	11,84	N, NE, NW	208,20	39,64
Porcentaje de cada variable	40			30			20			10		

Fuente: Elaboración propia.

La ecuación que se utilizó para obtener como resultado el mapa de susceptibilidad en el Raster Calculator fue la siguiente:

$$\text{Susceptibilidad} = [\text{pendiente}] * 0.4 + [\text{Geología}] * 0.3 + [\text{Uso de suelo}] * 0.2 + [\text{Orientación de laderas}] * 0.1$$

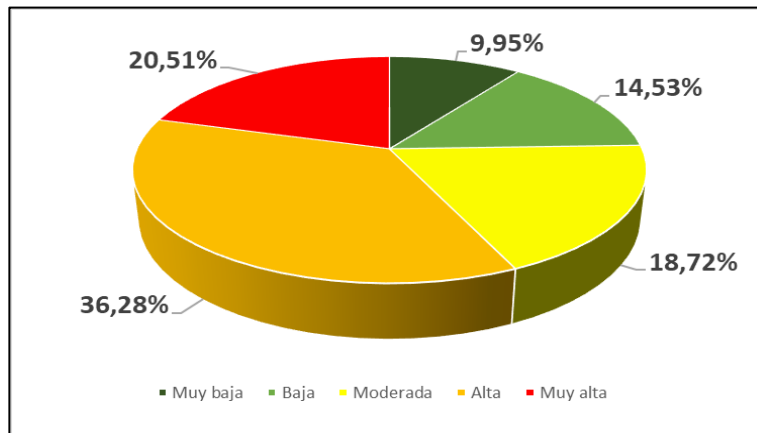
### 6.2.3. Mapa de susceptibilidad

Se obtuvieron tres rangos en cartografía ráster mediante la relación de las variables condicionantes, pero para mostrar una carta de susceptibilidad con resultados más heterogéneos se decidió utilizar la clasificación “natural breaks (jenks)” de 5 intervalos. El método de clasificación de cortes naturales de Jenks, también llamado método de optimización de Jenks, es un método de clasificación de datos diseñado para determinar la mejor disposición de valores en diferentes clases. Esto se hace buscando minimizar la desviación promedio de cada clase con respecto a la media de la clase, mientras se maximiza la desviación de cada clase con respecto a las medias de los otros grupos.

El área de estudio contempla un área total de 525,24 km<sup>2</sup> (Figura 6.14.), donde las zonas que presentaron una susceptibilidad muy baja, abarcan 52,28 Km<sup>2</sup>, esto corresponde a un 9,95% del total. En estas zonas, los procesos de remociones en masa la probabilidad de que ocurran es casi nula, por lo cual no afectan a las vías de comunicación y la población. Aquellas zonas que presentaron una susceptibilidad baja, ocupan un área de 76,34 Km<sup>2</sup>, lo cual corresponde a un 14,53% del total. No se desarrollan movimientos de material de gran magnitud que puedan provocar problemas a las vías de comunicación o que afecten a la población. Las zonas que presentaron una susceptibilidad moderada o intermedia poseen una superficie de 98,31 Km<sup>2</sup>, lo que representa un 18,72% del total. La susceptibilidad moderada indica el inicio de procesos de movimientos de material, tanto de suelo y roca. En cuanto a las zonas que presentaron susceptibilidad alta, estas ocupan una superficie de 190,57 Km<sup>2</sup>, esto corresponde a un 36,28% del total. Una susceptibilidad alta, quiere decir que es de los sectores que presenta problemas para la vías de comunicación y la población. Por último, aquellas zonas que presentan una susceptibilidad muy alta, corresponden a 107,74 Km<sup>2</sup> del total del área de estudio, cifra que corresponde a un 20,51% del total. Estas zonas ocupan una superficie

importante y son las que presentan una mayor probabilidad de ocurrencia de procesos de remoción en masa, lo que la convierte en la zona con mayor daño o problemas a la vía de comunicación y la población.

**Figura 6.14.** Rangos y porcentaje (%) de superficie ocupado por susceptibilidad de remociones en masa.



Fuente: Elaboración propia.

Las áreas de susceptibilidad se encuentran focalizadas en ciertas zonas del terreno (Figura 6.15.) y (Anexo C), En San Pedro de la Paz encontramos una muy alta susceptibilidad en la ruta camino a Santa Juana lo cual coincide con el registro de remociones en masa que se tiene, por otra parte, se observa una muy baja y baja susceptibilidad en la zona urbana de la comuna. De los 111,53 km<sup>2</sup> correspondientes a la superficie (km<sup>2</sup>) total de la comuna la susceptibilidad muy alta abarca 19,62 km<sup>2</sup> y la alta 23,49 km<sup>2</sup> (Tabla 6.3.), lo que equivale a un % de la superficie total (Figura 6.15). En Coronel la situación cambia un poco, debido a que en la zona urbana hay sectores de moderada y alta susceptibilidad (Tabla 6.4.), sector Yobilo y Cerro la Virgen presentan niveles de susceptibilidad a tener en cuenta y en cuanto a superficie el total de la comuna es de 293,1 km<sup>2</sup> y obtenemos como resultado zonas de alta susceptibilidad correspondientes a 105,57 km<sup>2</sup> y muy alta susceptibilidad una superficie de 52,98 km<sup>2</sup> lo que equivale al % de la superficie total (Figura 6.16). Por último, la comuna de Lota dentro de su límite urbano encontramos zonas de susceptibilidad moderada a muy alta, un ejemplo es el sector camino a Colcura donde se observa una muy alta susceptibilidad a procesos de

remociones en masa y en cuanto a superficie en km<sup>2</sup> predominan las zonas de alta y muy alta susceptibilidad con 55,73 km<sup>2</sup> y 31,75 km<sup>2</sup> de una superficie total de 120,54 km<sup>2</sup> (Tabla 6.5.), lo que equivale al % del área de la comuna (Figura 6.17).

**Tabla 6.3.** Rangos de susceptibilidad y superficie (km<sup>2</sup>) en la comuna de San Pedro de la Paz

<b>San Pedro de la Paz</b>	
Rango	Superficie (km <sup>2</sup> )
Muy alta susceptibilidad	19,62 km <sup>2</sup>
Alta susceptibilidad	23,49 km <sup>2</sup>
Moderada susceptibilidad	16,15 km <sup>2</sup>
Baja susceptibilidad	29,25 km <sup>2</sup>
Muy baja susceptibilidad	23,02 km <sup>2</sup>

Fuente: elaboración propia.

**Tabla 6.4.** Rangos de susceptibilidad y superficie (km<sup>2</sup>) en la comuna de Coronel

<b>Coronel</b>	
Rango	Superficie (km <sup>2</sup> )
Muy alta susceptibilidad	52,98 km <sup>2</sup>
Alta susceptibilidad	105,57 km <sup>2</sup>
Moderada susceptibilidad	54,35 km <sup>2</sup>
Baja susceptibilidad	48,66 km <sup>2</sup>
Muy baja susceptibilidad	31,54 km <sup>2</sup>

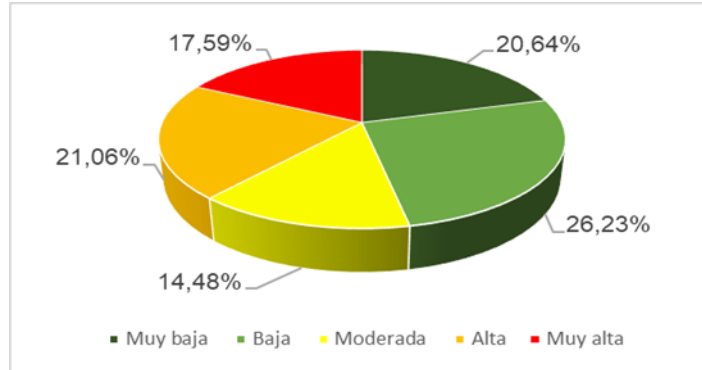
Fuente: elaboración propia

**Tabla 6.5.** Rangos de susceptibilidad y superficie (km<sup>2</sup>) en la comuna de Lota.

<b>Lota</b>	
Rango	Superficie (km <sup>2</sup> )
Muy alta susceptibilidad	31,75 km <sup>2</sup>
Alta susceptibilidad	55,73 km <sup>2</sup>
Moderada susceptibilidad	27,75 km <sup>2</sup>
Baja susceptibilidad	4,19 km <sup>2</sup>
Muy baja susceptibilidad	1,12 km <sup>2</sup>

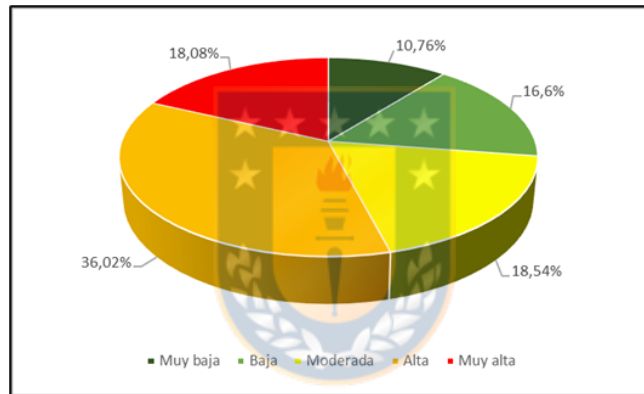
Fuente: elaboración propia.

**Figura 6.15.** Rangos y porcentaje (%) de superficie ocupado por susceptibilidad de remociones en masa en la comuna de San Pedro de la Paz.



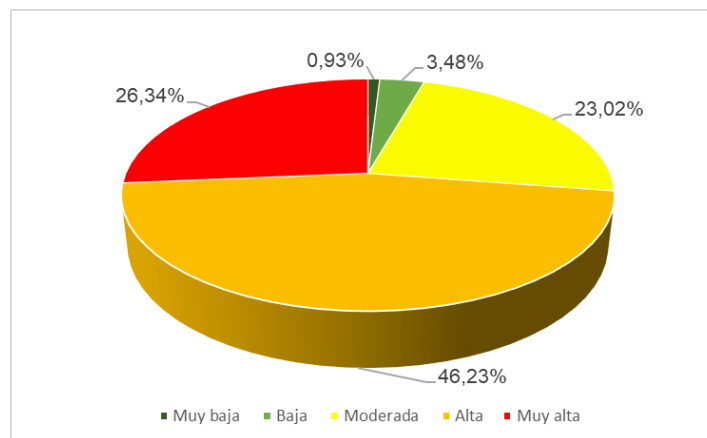
Fuente: elaboración propia

**Figura 6.16.** Rangos y porcentaje (%) de superficie ocupado por susceptibilidad de remociones en masa en la comuna de Coronel.



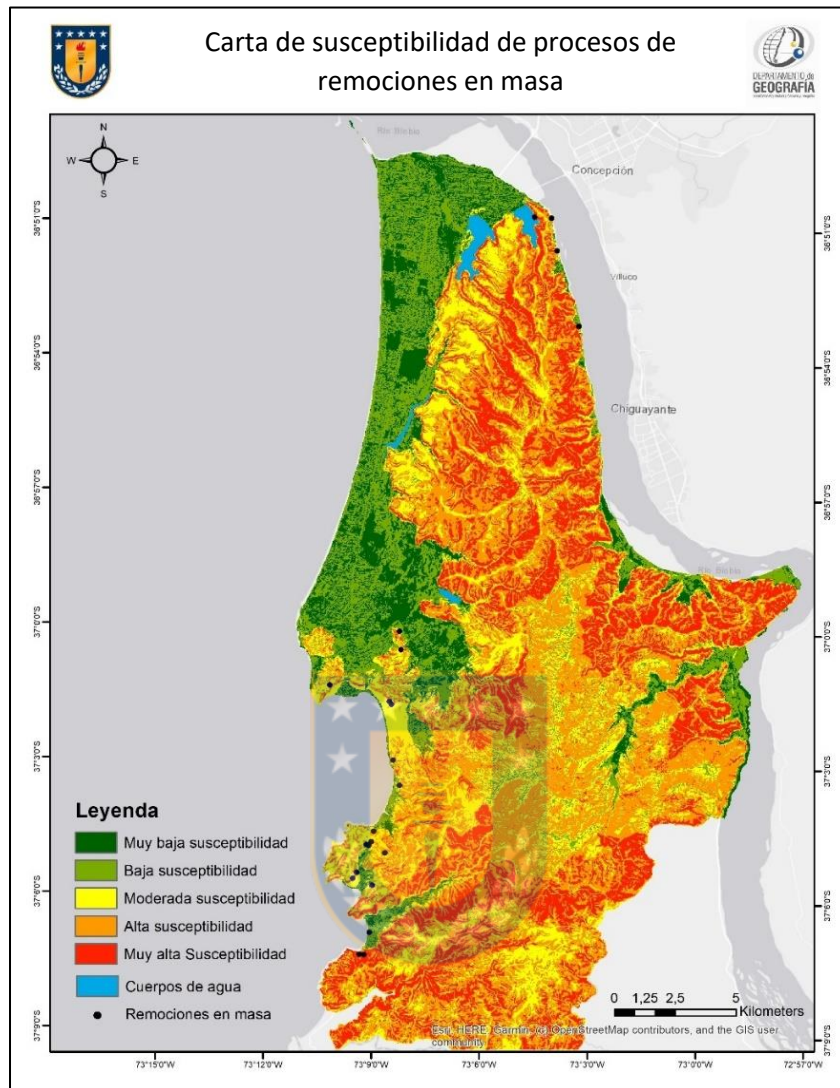
Fuente: elaboración propia

**Figura 6.17.** Rangos y porcentaje (%) de superficie ocupado por susceptibilidad de remociones en masa en la comuna de Lota.



Fuente: elaboración propia

**Figura 6.18.** Carta de susceptibilidad de remociones en masa.



Fuente: Elaboración propia.

### **6.3. Evaluación de exposición de la población frente a la amenaza de remociones en masa en las comunas de Coronel, Lota y San Pedro de la Paz.**

En este capítulo se detallan las capas de información consideradas y los procesos para llevar a cabo la presente evaluación de exposición a remociones en masa en las comunas de Coronel, Lota y San Pedro de la Paz. La técnica utilizada para realizar este objetivo constó de la superposición de capas de información (Manzanas censales y el mapa de susceptibilidad de

remociones en masa) mediante el geoproceto “selection by location” en ArcMap 10.5, para que de esta forma se superpongan las capas de información y de esta manera obtener como resultado una aproximación acerca de las zonas y la cantidad de población que se encuentran, ya sea en baja, media o alta exposición. Para finalizar, se obtuvo como resultado el mapa de exposición de la población a procesos de remociones en masa en las comunas de Coronel, Lota y San Pedro de la Paz.

Las capas de información que serán usados en este apartado (tabla 6.3.) son obtenidos a partir búsqueda en bases de datos gubernamentales, mientras que el mapa de riesgo de remociones en masa forma parte de los resultados de esta misma investigación.

**Tabla 6.6.** Capas de información utilizadas.

<b>Capa de información</b>	<b>Fuente</b>	<b>Tipo</b>
Manzanas censales	INE CHILE	Shapefile
Distritos censales	INE Chile	Shapefile
Limites urbanos	IDE observatorio de ciudades UC	Shapefile
Mapa de susceptibilidad de remociones en masa	Elaboración propia	Ráster y shapefile

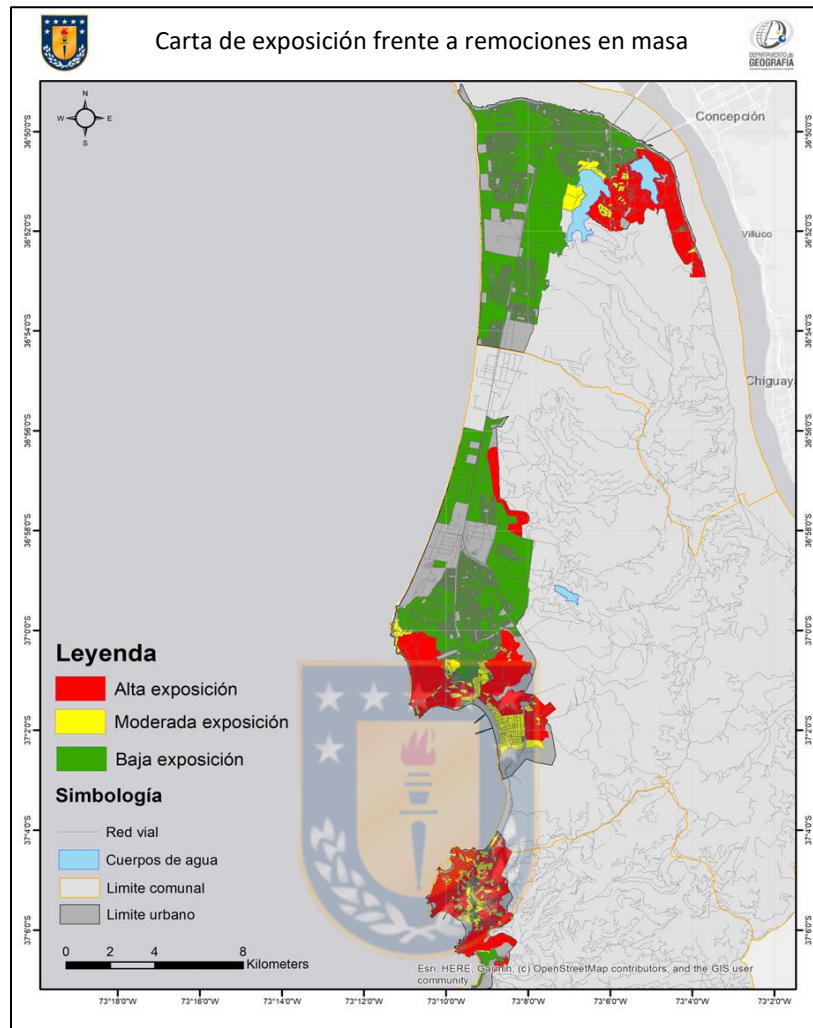
Fuente: Elaboración propia.

### **6.3.1. La exposición frente a remociones en masa en las comunas de Coronel, Lota y San Pedro de la paz**

Las personas que se encontrarían ante un alto nivel de exposición a procesos de remociones en masa (Figura 6.19.) y (Anexo D) dentro de los límites urbanos actuales de Coronel, Lota y San Pedro de la Paz corresponden a 43.383 personas de un total de 284.707 habitantes esto es el 15,24% de la población de las 3 comunas mencionadas anteriormente, 31.378 habitantes se encuentran ante una exposición moderada lo que equivale a un 11,02% y 209.946 habitantes están en sectores de baja exposición lo que es un 73,74%. (Figura 6.20.).

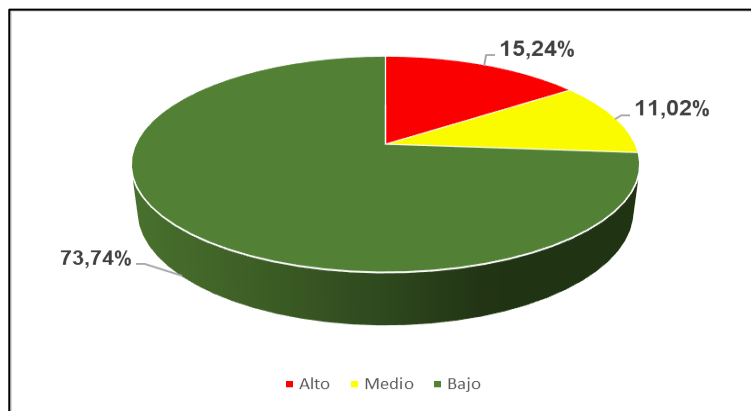


Figura 6.19. Carta de exposición a procesos de remociones en masa.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 6.20. Porcentaje (%) de población por niveles de exposición



Fuente: Elaboración propia.

Los resultados obtenidos a través del modelo de exposición procesos de remociones en masa con respecto a la cantidad de personas por comuna que se encuentra ante una Baja, intermedia y alta exposición es la siguiente (Tabla 6.7.):

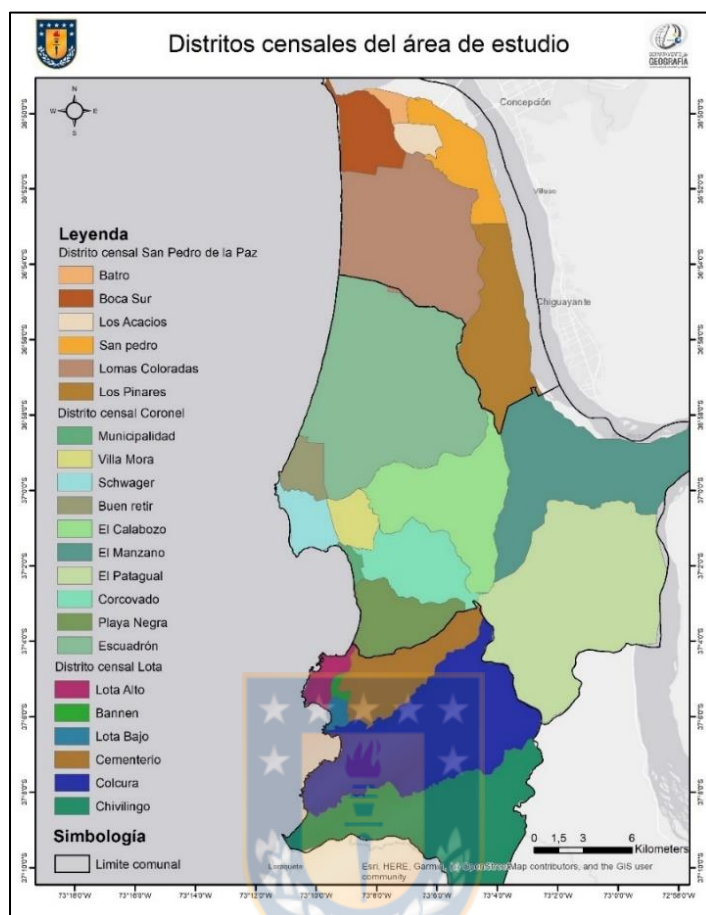
**Tabla 6.7.** Población por comunas – nivel de exposición

Comunas	Cantidad de población por nivel de exposición		
	Baja	Moderada	Alta
Coronel	86.860	13.712	10.353
Lota	3.430	15.608	24.044
San Pedro de la Paz	119.940	2.058	8.986

Fuente: elaboración propia

El área de estudio y su división por distrito censal (Figura 6.21.) y cantidad de población por cada uno (Tabla 6.8; Tabla 6.9 y Tabla 6.10.) es la siguiente: San Pedro de la Paz cuenta con 6 distritos censales Batro, Boca Sur, Los Acacios, Lomas Coloradas, Los Pinares y San Pedro. La comuna de Coronel por su parte su división distrital es de 11 y son Municipalidad, Villa Mora, Schwager, Buen Retiro, El Calabozo, El Manzano, El Patagual, Corcovado, Playa Negra y Escuadrón. Por último, Lota y su división distrital es de 6 y son Lota Alto, Bannen, Lota Bajo, Cementerio, Colcura y Chivilingo.

**Figura 6.21.** Distritos censales de las comunas de San Pedro de la Paz, Coronel y Lota.



Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 6.8.** Distritos censales de Coronel y cantidad de población

Comuna: Coronel		
Distrito censal	Superficie (km <sup>2</sup> )	Población Total (Urbano-rural) Censo 2017
01 Municipalidad	1,1	2.881
02 Villa Mora	5,2	16.726
03 Schwager	6,4	14.031
04 Buen Retiro	4,8	14.945
05 El Calabozo	28,7	139
06 El Manzano	42,1	761
07 El Patagual	62,6	624
08 Corcovado	15,6	7.877
09 Playa Negra	12,3	298
10 Santa María	29,6	1.260
11 Escuadrón	64,7	55.703

Fuente: elaboración propia

**Tabla 6.9.** Distritos censales de Lota y cantidad de población

Comuna: Lota		
Distrito censal	Superficie (km <sup>2</sup> )	Población Total (Urbano-rural) Censo 2017
01 Lota Alto	3,4	17.228
02 Bannen	0,6	7.105
03Lota Bajo	1,3	6.198
04 Cementerio	16,0	10.775
05 Colcura	48,0	1.997
06 Chivilingo	45,4	77

Fuente: elaboración propia.

**Tabla 6.10.** Distritos censales de San Pedro de la Paz y cantidad de población

Comuna: San Pedro de la Paz		
Distrito censal	Superficie (km <sup>2</sup> )	Población Total (Urbano-rural) Censo 2017
01 Batro	1,8	15.578
02 Boca Sur	10,3	48.175
03 Los Acacios	3	12.584
04 San Pedro	12	23.137
05 Lomas Coloradas	41,7	32.057
06 Los Pinares	22,7	114

Fuente: elaboración propia.

Analizando desde la perspectiva de la exposición por distrito censal se obtuvieron los siguientes resultados: En la comuna de Coronel con una baja exposición (Tabla 6.11.) está el distrito Escuadrón con una población de 55.031 y 54.708 personas en un nivel de exposición bajo. Ante una moderada exposición (Tabla 6.12.) está el distrito Municipalidad el cual posee 2.881 habitantes y el 100% de ese distrito se encuentra ante una moderada exposición. Y por último, con una alta exposición (Tabla 6.13.) nos encontramos los distritos Villa Mora, Schwager y Corcovado, el primer distrito censal cuenta con una población de 16.726 habitantes y 3.647 personas se encuentran en un alto nivel de exposición lo que equivale a un 21,8% de la población de su distrito, el distrito Schwager posee una población de 12.828 habitantes y 3.464 personas se encuentran en un nivel de alta exposición a remociones en masa lo que es un 27% de población altamente expuesta y el distrito Corcovado posee un total de 7.853 habitantes y 2919 personas lo que es un 37,17% en alta exposición.

**Tabla 6.11.** Comuna de Coronel y baja exposición a amenaza de remociones en masa por distritos censales.

<b>Distritos censales – Baja Exposición</b>				
Comuna	Distrito censal	Población	Nro. De Población en baja exposición	Baja exposición en porcentaje (%)
Coronel	01 Municipalidad	2.881	0	0%
Coronel	02 Villa Mora	16.726	10.203	61%
Coronel	03 Schwager	12.828	6.620	51,61%
Coronel	04 Buen Retiro	14.945	14.945	100%
Coronel	05 El Calabozo	139	77	55,4%
Coronel	06 El Manzano	761	No hay datos	No hay datos
Coronel	07 El Patagual	624	No hay datos	No hay datos
Coronel	08 Corcovado	7.853	307	3,91%
Coronel	09 Playa Negra	298	No hay datos	No hay datos
Coronel	10 Santa María	1.260	No hay datos	No hay datos
Coronel	11 Escuadrón	55.031	54.708	99,41%

Fuente: elaboración propia.

**Tabla 6.12.** Comuna de Coronel y moderada exposición a amenaza de remociones en masa por distritos censales.

<b>Distritos censales – Moderada Exposición</b>				
Comuna	Distrito censal	Población	Nro. De Población en moderada exposición	Moderada exposición en porcentaje (%)
Coronel	01 Municipalidad	2.881	2.881	100%
Coronel	02 Villa Mora	16.726	3.194	19,1%
Coronel	03 Schwager	12.828	3.010	23,46%
Coronel	04 Buen Retiro	14.945	0	0%
Coronel	05 El Calabozo	139	0	0%
Coronel	06 El Manzano	761	No hay datos	No hay datos
Coronel	07 El Patagual	624	No hay datos	No hay datos
Coronel	08 Corcovado	7.853	4.627	58,92%
Coronel	09 Playa Negra	298	No hay datos	No hay datos
Coronel	10 Santa María	1.260	No hay datos	No hay datos
Coronel	11 Escuadrón	55.031	0	0%

Fuente: elaboración propia

**Tabla 6.13.** Comuna de Coronel y alta exposición a amenaza de remociones en masa por distritos censales.

<b>Distritos censales – Alta Exposición</b>				
Comuna	Distrito censal	Población	Nro. De Población en alta exposición	Alta exposición en porcentaje (%)
Coronel	01 Municipalidad	2.881	0	0%
Coronel	02 Villa Mora	16.726	3.647	21,80%
Coronel	03 Schwager	12.828	3.464	27%
Coronel	04 Buen Retiro	14.945	0	0%
Coronel	05 El Calabozo	139	0	0%
Coronel	06 El Manzano	761	No hay datos	No hay datos
Coronel	07 El Patagual	624	No hay datos	No hay datos
Coronel	08 Corcovado	7.853	2.919	37,17%
Coronel	09 Playa Negra	298	No hay datos	No hay datos
Coronel	10 Santa María	1.260	No hay datos	No hay datos
Coronel	11 Escuadrón	55.031	323	0,59%

Fuente: Elaboración propia.

La comuna de Lota por su parte los distritos censales de Bannen, Lota Alto, Lota Bajo, Cementerio y Colcura presentan altos niveles de población expuesta a procesos de remociones en masa (Tabla 6.14.); el distrito de Bannen el cual cuenta con 7.105 habitantes, 2.313 se encuentra ante una alta exposición lo que equivale al 35,55% de la población del distrito y 3.135 habitantes ante una moderada exposición (Tabla 6.15.) y ante una baja exposición (Tabla 6.16.) 1.485 habitantes. Por otra parte el distrito Lota Alto cuenta con una población de 17.228 habitantes y 10.005 habitantes de ese total residen en una zona de alta exposición lo que equivale a un 58,07%, a su vez el distrito censal Lota Bajo cuenta con 6.182 habitantes y de estos 3.030 personas están altamente expuestas, Cementerio tiene 10.775 habitantes y 7.782 personas que se encuentran altamente expuestas en porcentajes esto equivale a un 72,22% de la población total del distrito y el distrito de Colcura que cuenta con 1.966 total de habitantes y un 46,49% se encuentra en un sector de alta exposición.

**Tabla 6.14.** Comuna de Lota y alta exposición a amenaza de remociones en masa por distritos censales.

<b>Distritos censales – Alta Exposición</b>				
Comuna	Distrito Censal	Población	Nro. De Población en alta exposición	Alta exposición en porcentaje (%)
Lota	01 Lota Alto	17.228	10.005	58,07%
Lota	02 Bannen	7.105	2.313	32,55%
Lota	03 Lota Bajo	6.182	3.030	49,01%
Lota	04 Cementerio	10.775	7.782	72,22%
Lota	05 Colcura	1.966	914	46,49%
Lota	06 Chivilingo	77	No hay datos	No hay datos

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 6.15.** Comuna de Lota y moderada exposición a amenaza de remociones en masa por distritos censales.

<b>Distritos censales – Moderada Exposición</b>				
Comuna	Distrito Censal	Población	Nro. De Población en moderada exposición	Moderada exposición en porcentaje (%)
Lota	01 Lota Alto	17.228	6.962	40,41%
Lota	02 Bannen	7.105	3.135	44,12%
Lota	03 Lota Bajo	6.182	2.293	37,09%
Lota	04 Cementerio	10.775	2.993	27,78%
Lota	05 Colcura	1.966	225	11,44%
Lota	06 Chivilingo	77	No hay datos	No hay datos

Fuente: elaboración propia.

**Tabla 6.16.** Comuna de Lota y baja exposición a amenaza de remociones en masa por distritos censales.

<b>Distritos censales – Baja Exposición</b>				
Comuna	Distrito Censal	Población	Nro. De Población en Baja exposición	Baja exposición en porcentaje (%)
Lota	01 Lota Alto	17.228	274	1,59%
Lota	02 Bannen	7.105	1.485	20,09%
Lota	03 Lota Bajo	6.182	844	13,65%
Lota	04 Cementerio	10.775	0	0%
Lota	05 Colcura	1.966	827	42,07%
Lota	06 Chivilingo	77	No hay datos	No hay datos

Fuente: elaboración propia.

Por último, en la comuna de San Pedro de la Paz los resultados obtenidos nos dicen que hay dos distritos donde el 100% de su población se encuentra ubicada en una zona de baja exposición y son Boca Sur y Batro (Tabla 6.17.). En cuanto moderada exposición (Tabla 6.18.) los distritos de Los Acacios y Lomas Coloradas tienen población en nivel moderado de exposición, el primero posee una población de 12.584 habitantes y 322 están ante una moderada exposición, mientras que Lomas Coloradas cuenta con 32.047 habitantes y 665 residen en sectores donde hay una moderada exposición. Por último, los distrito en donde hay una alta exposición es el distrito censal San Pedro que cuenta con 23.137 habitantes y de ese total 7.544 personas están en una zona de alta exposición esto es el 32,61% del total de habitantes del distrito censal (Tabla 6.19).

**Tabla 6.17.** Comuna de San Pedro de la Paz y baja exposición a amenaza de remociones en masa por distritos censales.

<b>Distritos censales – Baja Exposición</b>				
Comuna	Distrito censal	Población	Nro. De Población en baja exposición	Baja exposición en porcentaje (%)
San Pedro de la Paz	01 Batro	15.578	15.578	100%
San Pedro de la Paz	02 Boca Sur	48.175	48.175	100%
San Pedro de la Paz	03 Los Acacios	12.584	12.165	96,67%
San Pedro de la Paz	04 San Pedro	23.137	14.522	62,77%
San Pedro de la Paz	05 Lomas Coloradas	32.047	30.037	93,73%
San Pedro de la Paz	06 Los Pinares	114	No hay datos	No Hay datos

Fuente: elaboración propia.

**Tabla 6.18.** Comuna de San Pedro de la Paz y moderada exposición a amenaza de remociones en masa por distritos censales.

<b>Distritos censales – Moderada Exposición</b>				
Comuna	Distrito censal	Población	Nro. De Población en moderada exposición	Moderada exposición en porcentaje (%)
San Pedro de la Paz	01 Batro	15.578	0	0%
San Pedro de la Paz	02 Boca Sur	48.175	0	0%
San Pedro de la Paz	03 Los Acacios	12.584	322	2,56%



San Pedro de la Paz	04 San Pedro	23.137	1.071	4,63%
San Pedro de la Paz	05 Lomas Coloradas	32.047	665	2,08%
San Pedro de la Paz	06 Los Pinares	114	No hay datos	No Hay datos

Fuente: elaboración propia.

**Tabla 6.19.** Comuna de San Pedro de la Paz y alta exposición a amenaza de remociones en masa por distritos censales.

<b>Distritos censales – Alta Exposición</b>				
Comuna	Distrito censal	Población	Nro. De Población en alta exposición	Alta exposición en porcentaje (%)
San Pedro de la Paz	01 Batro	15.578	0	0%
San Pedro de la Paz	02 Boca Sur	48.175	0	0%
San Pedro de la Paz	03 Los Acacios	12.584	97	0,77%
San Pedro de la Paz	04 San Pedro	23.137	7.544	32,61%
San Pedro de la Paz	05 Lomas Coloradas	32.047	1.345	4,2%
San Pedro de la Paz	06 Los Pinares	114	No hay datos	No Hay datos

Fuente: Elaboración propia.



## 7 Conclusiones

De acuerdo con las hipótesis propuestas en el apartado introductorio, se pueden obtener del trabajo realizado las siguientes conclusiones:

- En relación a los inventarios de remociones en masa disponibles actualmente (catastro de remociones en masa del SERNAGEOMIN), esta herramienta no es representativa para llevar a cabo la toma de decisiones a una escala comunal. La susceptibilidad a cualquier amenaza y la exposición en la cual se encuentra la población es algo que se debe representar en mapas de riesgo temáticos actualizados, que muestren una zonificación específica de zonas de riesgo. En el caso de las comunas de Coronel, Lota y San Pedro de la Paz encontramos que hay alrededor de un 20% de la superficie en km<sup>2</sup> que es altamente susceptible a remociones en masa y es por ello por lo que se debe mantener a la población informada acerca del sector donde ellos residen, para así trabajar en conjunto desde los niveles más pequeños de organización
- Muchos de los eventos registrados por SERNAGEOMIN o las mismas municipalidades para mantener un catastro sobre remociones en masa datan a partir del año 2010, pero las remociones en masa han venido afectando algunos sectores específicos de las 3 comunas que son objeto de estudio desde mucho antes y un ejemplo claro son los resultados obtenidos de la revisión de prensa realizada con datos a partir del año 1990 hasta el 2020 esto nos ayuda a tener una visión sobre el panorama de cada comuna, ya que, al inventariar todos los eventos registrados por la prensa obtenemos como resultado que en los años 2000, 2001, 2006 y 2008 hubo un total de 18 eventos, donde tan solo 4 de estos han sido registrados en catastros de remociones en masa.
- El plan regulador de la comuna de Lota es del año 1983, el último estudio sobre riesgos realizado en Coronel data del año 2017, pero con

datos censales del año 2002 y la comuna de San Pedro de la Paz presenta un trabajo sobre riesgos naturales del año 2018 con algunos datos de relevantes que sirvieron para esta investigación, pero a su vez el catastro de remociones en masa del SERNAGEOMIN solo registra 1 evento en la comuna. Por todo lo mencionado anteriormente es de suma importancia tener un registro actualizado para optimizar la gestión del riesgo de desastres, esto debido también por el alto nivel de exposición en el que se encuentran un número considerable de habitantes ante eventos de remociones en masa, ya que, la investigación presente arrojó como resultado un total 43.383 personas que se encuentran en zonas de alta exposición y la gran mayoría es de la comuna de Lota, la cual con los resultados conseguidos a partir del mapa de susceptibilidad identifico un área total de 55,73 km<sup>2</sup> con alta y 31,75 km<sup>2</sup> con muy alta susceptibilidad lo que equivale al 72,57% del área de la comuna y en cuanto al total de personas 43.082 es la cantidad de habitantes de Lota y en alta exposición hay un total de 24.044 personas lo que equivale a un 55,81% de la población.

Algunos de los alcances que se lograron obtener con este trabajo son los siguientes:

1. Lota es una comuna con alto nivel de susceptibilidad a remociones en masa y su población está altamente expuesta a procesos de remociones en masa.
2. En San Pedro de la Paz la prensa local registró varios eventos de remociones en masa en la carretera que une la comuna de Concepción con la de Santa Juana (Ruta 156), pero el catastro de remociones en masa del SERNAGEOMIN no los tiene registrados.
3. Hay sectores como los distritos censales de Boca Sur y Batro que cuentan con un 100% de población en baja exposición a procesos de remociones en masa.

Por otra parte, se encuentran algunas de las limitaciones presentes durante el transcurso de este trabajo y fueron las siguientes:

1. La información geológica y geomorfológica del Área Metropolitana de Concepción es escasa y muy general para realizar un estudio más detallado.
2. Algunos de los eventos de remociones en masa registrados por la prensa no presentan mayor información con respecto a ubicación relativa o alguna fotografía referencial y solo son mencionados.
3. El conocimiento de la población acerca de remociones en masa muy limitado y por ello en algunos casos no se lograba obtener mayor información acerca de un evento reciente sobre el cual no se tenía registro alguno.
4. El trabajo de parte de profesionales donde tuviesen que concurrir a sectores donde han ocurrido procesos de remociones en masa depende meramente de la junta de vecinos, por ende, si esta no se comunica con autoridades no es posible llevar un registro de estos eventos actualizado y las organizaciones que deben estar al tanto de cada evento no logran llevar un catastro actualizado.

La evaluación de la susceptibilidad por medio de la utilización de Sistemas de Información Geográfica (SIG) y las técnicas de evaluación multicriterio resultaron ser herramientas óptimas para llevar a cabo como resultado la obtención de mapas de susceptibilidad y para posteriormente poder lograr el análisis de población que se encuentra expuesta a remociones en masa en las comunas de Coronel, Lota y San Pedro de la Paz. La elaboración de este tipo de trabajos, que integran diversos factores condicionantes para la modelación de la susceptibilidad y exposición posee un importante potencial para la toma de decisiones a nivel territorial y ya sea a una escala vecinal, comunal o regional, ya que, proporciona herramientas y un producto cartográfico que es de fácil interpretación y análisis para toda persona que se interese en los riesgos que lo rodean. Esta investigación puede ser utilizada como una

herramienta eficiente para orientar la planificación territorial y una gestión óptima del riesgo en el área de estudio.



## 8 Bibliografía

- Alcántara Ayala, I. (2000). Landslides: ¿deslizamientos o movimientos del terreno? Definición, clasificaciones y terminología. *Investigaciones geográficas*, (41), 7-25.
- Baeza, C. B., & de Rurange Espinoza, 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. *Investigaciones Geográficas*, (55), 89-110.
- Becerra, C. (2006). *Análisis de riesgo natural por remociones en masa, carretera El Cobre, División El Teniente. Rancagua, Chile*. Corporación Nacional del Cobre (CODELCO).
- Bonachea J. (2006). *Desarrollo, aplicación y validación de procedimientos y modelos para la evaluación de amenazas, vulnerabilidad y riesgo debidos a procesos geomorfológicos*. (Tesis para optar al grado de Doctor, Universidad de Cantabria, España). Recuperada de <https://www.tdx.cat/handle/10803/10610>.
- Cruden, D. M. & Varnes, D.J. (1996). Landslide types and processes. En A.K. Turner & R.Schuster (Eds.), *Landslides, investigation and mitigation*, Special report 247, pp. 36-75. Washington D.C.: Transportation Research Board. ISBN: 030906208X.
- EULA – Chile. (2018). Atlas de Riesgos Naturales y Antrópicos Comuna de San Pedro de la Paz. Ciudad de San Pedro de la Paz, Región del Biobío, Chile.
- González de Vallejo, L., Ferrer, M., Ortuño, L., & Oteo, C. (2002). *INGENIERÍA GEOLÓGICA*. Madrid: PEARSON.
- Hauser, A. (1993). *Remociones en Masa en Chile*. Servicio Nacional de Geología y Minería, Boletín 45, Santiago de Chile.

- Hauser, A. (2000). Remociones en masa en Chile (versión actualizada). SERNAGEOMIN. Santiago, Chile.
- Henríquez Messing, E. A. (2019). Análisis de susceptibilidad a remociones en masa en la comuna de Corral, al norte de los 39° 54´ S, Región de los Ríos, Chile.
- Hidalgo C, & Pacheco.A. (2011). Metodología para evaluación preliminar de riesgo en carreteras por deslizamientos detonados por lluvia. Universidad de Medellín, 10.
- Huggett, R. (2017). *Fundamentals of Geomorphology*. New York: Routledge.
- ISRM. 1981. *Rock Characterization Testing and Monitoring*. Brown, E., Ed., Pergamon Press, Oxford, 211 p.
- Jaque Castillo, E. D. C., Lara San Martín, A., & Merino González, C. (2017). Fortaleciendo el uso de los instrumentos de planificación urbana, para la gestión de riesgos. Ciudad de Coronel, Región del Biobío. *Revista INVI*, 32(90), 107-124.
- Jiménez, J. (2005). Análisis de la susceptibilidad a los movimientos de ladera mediante un SIG en la cuenca vertiente al embalse de Rules, Granada. *Memoria de Doctorado. Departamento de Ingeniería Civil Área de Ingeniería del Terreno. Universidad de Granada*.
- Lara, M. & Sepúlveda, S. 2008. Remociones en Masa. Apuntes del curso, Universidad de Chile, Departamento de Geología (Inédito): 63 pp. Santiago.
- Mardones, M. y Hernández, 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. *Revista de Geografía Norte Grande*. Vol. 53, pp. 57-74.
- Mardones, María, & Vidal, Claudia. (2001). La zonificación y evaluación de los riesgos naturales de tipo geomorfológico: un instrumento para la

planificación urbana en la ciudad de Concepción. EURE (Santiago), 27(81), 97-122.

Martínez, C. Quezada, J. & López, P. (2017). Geomorfología de la llanura de San Pedro, San Pedro de la Paz. Libro Urbanización Humedal Los Batros. Obtenido de: <https://www.urbancost.cl/2020/08/30/libro-urbanizacion-en-humedal-los-batros/>

Mergili, M., Marchant Santiago, C. I., & Moreiras, S. M. (2015). Causas, características e impacto de los procesos de remoción en masa, en áreas contrastantes de la región Andina. Cuadernos de Geografía: Revista Colombiana de Geografía, 24(2), 113-131.

Muñoz, E. (2013). Susceptibilidad de remociones en masa y de respuesta sísmica asociada a fallas mayores en zonas urbanas. Estudio de caso en Viña del mar, V región. Tesis para optar al grado de magíster en ciencias mención Geología. Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas. Departamento de Geología, 164 p.

Narváez, L., Pérez Ortega, G., & Lavell, A. (2009). La gestión del riesgo de desastres. Un enfoque basado en procesos.

Navarro, J. (2012). Susceptibilidad y Amenaza de Movimientos de Ladera mediante SIG en el Municipio de Berlín, El Salvador. Trabajo Fin de Máster: Tecnologías de la Información Geográfica. Universidad Complutense de Madrid. 78 pp.

Roa, J. (2007). Estimación de áreas susceptibles a deslizamientos mediante datos e imágenes satelitales: cuenca del río Mocotíes, estado Mérida-Venezuela. Revista Geográfica Venezolana, 48, 183-219.

Sepúlveda, S. (1998). Metodología para Evaluar el Peligro de Flujos de Detritos ne Ambientes Montañosos: Aplicación en la Quebrada Lo Cañas, Región Metropolitana. Memoria para optar al Título de Geólogo, Departamento de Geología, Universidad de Chile.



- Sernageomin. (2010). Evaluación preliminar de peligros geológicos: área de Lota. Mapa de remociones en Masa. Comuna de Lota, Región del Biobío, Chile.
- Sernageomin. (2016). Registro Nacional de Desastres de Origen Geológico. Santiago
- Soriano, D. (2009). Identificación y análisis de derrubios en el macizo de Montserrat mediante GOOGLE EARTH Y SIG. Tesis de especialidad, Universidad Politécnica de Catalunya, Departamento de Ingeniería del Terreno, Cartografía y Geofísica. Barcelona, España. Disponible en: <http://upcommons.upc.edu/pfc/handle/2099.1/8612>
- Stewart, L. B. (2002). The RTA Guide to Slope Risk Analysis. Aust Geomechanics 3.1, 115-148.
- Suárez, J. (1998). Deslizamientos: análisis geotécnico. (2ª. Ed.). Bucaramanga, Colombia.: Editorial Universidad Industrial de Santander UIS, Facultad de Ingenierías Físico Mecánica.
- UNISDR. (2004). ¿Qué es el Riesgo?. Oficina de las Naciones Unidas para Reducción de Riesgo de Desastres.
- UNISDR. (2018). UNISDR annual report 2017. United Nations Office for Disaster Risk Reduction. United States, 2018.
- USGS. (2004). Landslide Types and Processes. U.S. Department of the Interior.
- Varnes, D. J. (1978). Slope movement types and processes. *Special report, 176*, 11-33.
- Varnes, D. J. (1984). Landslides hazard zonation: A review of principles and practice. *Natural Hazard 3*, UNESCO. p. 63.

## **ANEXO 1**

**FOTOGRAFÍAS DE REMOCIONES EN MASA OBTENIDAS A PARTIR DE  
LA PRENSA O REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.**



**Figura 9.1.** Deslizamiento de tierra en el kilómetro 5 de la ruta 156, comuna de San Pedro de la Paz, región del Biobío.



Fuente: Municipalidad de San Pedro de la Paz

**Figura 9.2.** Deslizamiento de tierra en la ruta 156, comuna de San Pedro de la Paz, región del Biobío. (13/07/2020)



Fuente: Diario "Soy Chile"

**Figura 9.3.** Deslizamiento de suelo en el cerro la Virgen, calle Santiago Steel, comuna de Coronel, región del Biobío. (Posterior 27 de febrero 2010).



Fuente: Informe técnico Sernageomin.

**Figura 9.4.** Caída de rocas y bloques desde el Cerro La Virgen hacia la Calle Carvallo, comuna de Coronel, región del Biobío. (Posterior 27 de febrero 2010).



Fuente: Informe técnico Sernageomin.

**Figura 9.5.** Deslizamiento de suelo y roca en el sector de cerro La Peña- Yobilo, comuna de Coronel, Región del Biobío.



Fuente: Informe técnico Sernageomin.

**Figura 9.6.** Deslizamiento de tierra en la ruta 160, sector Fernando Maira, comuna de Lota, región del Biobío.



Fuente: Radio Biobío

Figura 9.7. Grietas, hundimientos y deslizamientos de suelo en el sector de Villa La Ilusión, comuna de Lota, región del Biobío.



Fuente: Informe técnico Sernageomin.



**ANEXO 2**

**FICHA PARA INVENTARIO MULTITEMPORAL DE REMOCIONES EN**





Ficha de toma de datos para llevar a cabo el inventario de procesos de remociones en masa en el Área Metropolitana de Concepción, Región del Biobío, Chile.

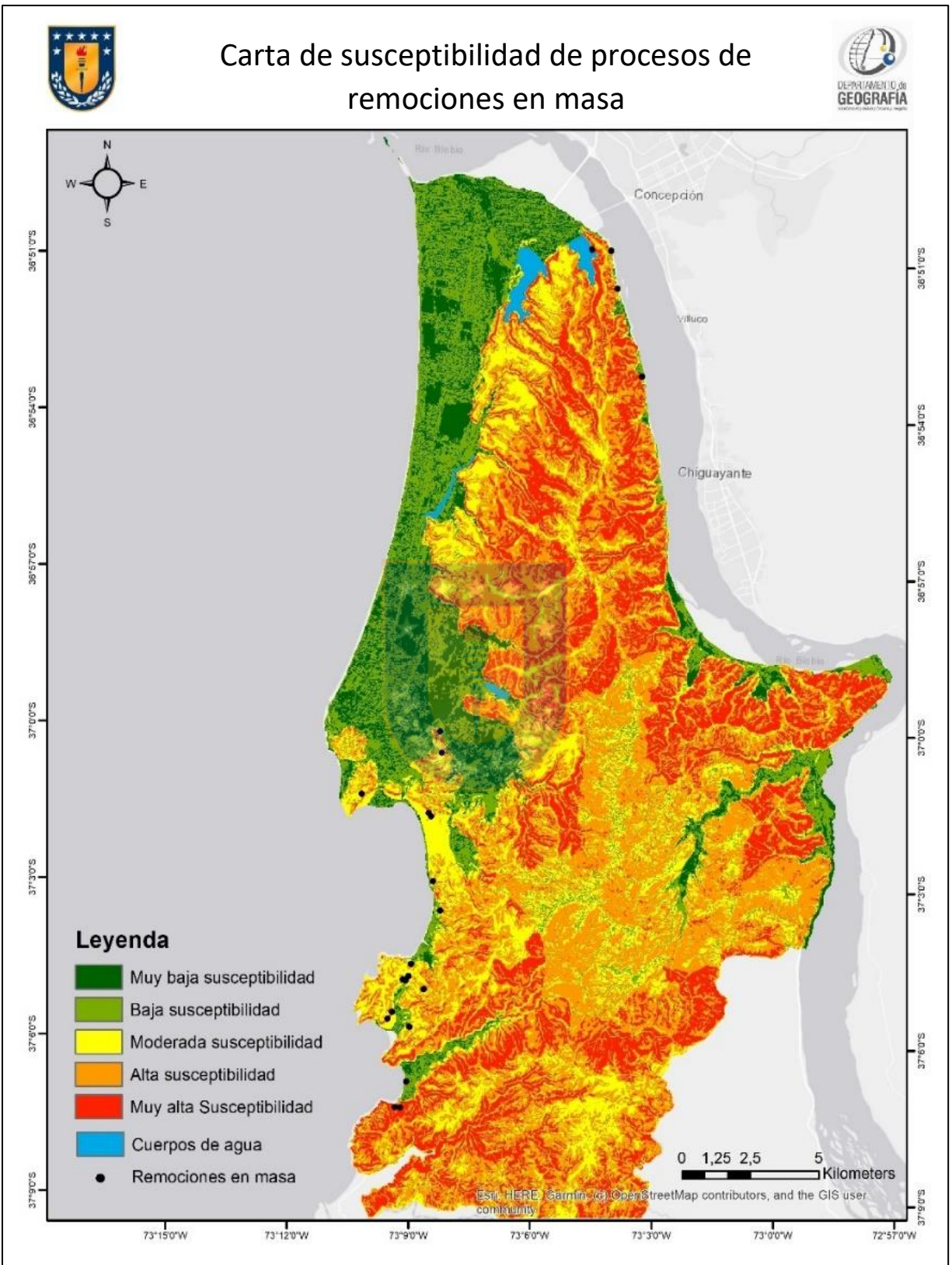
<b>Tipo de Remoción en Masa</b>	
<b>Fecha de ocurrencia</b>	
<b>Fecha de publicación</b>	
<b>Factor desencadenante</b>	
<b>Intensidad pp. o magnitud sismo</b>	
<b>Ubicación relativa</b>	
<b>Fuente de información (URL, etc.)</b>	
<b>Víctimas fatales</b>	
<b>Desaparecidos</b>	
<b>Damnificados</b>	
<b>Infraestructura afectada</b>	
<b>Costo de los daños</b>	
<b>Otros datos</b>	
<b>Imagen de la noticia</b>	
<b>Ubicación aproximada</b>	



**ANEXO 3**

**CARTA DE SUSCEPTIBILIDAD DE REMOCIONES EN MASA EN LAS  
COMUNAS DE CORONEL, LOTA Y SAN PEDRO DE LA PAZ**





**Figura 6.15.** Mapa de susceptibilidad de remociones en masa.



**ANEXO 4**

**CARTA DE EXPOSICIÓN A RIESGO DE REMOCIONES EN MASA EN LAS  
COMUNAS DE CORONEL, LOTA Y SAN PEDRO DE LA PAZ.**



# Carta de exposición frente a remociones en masa

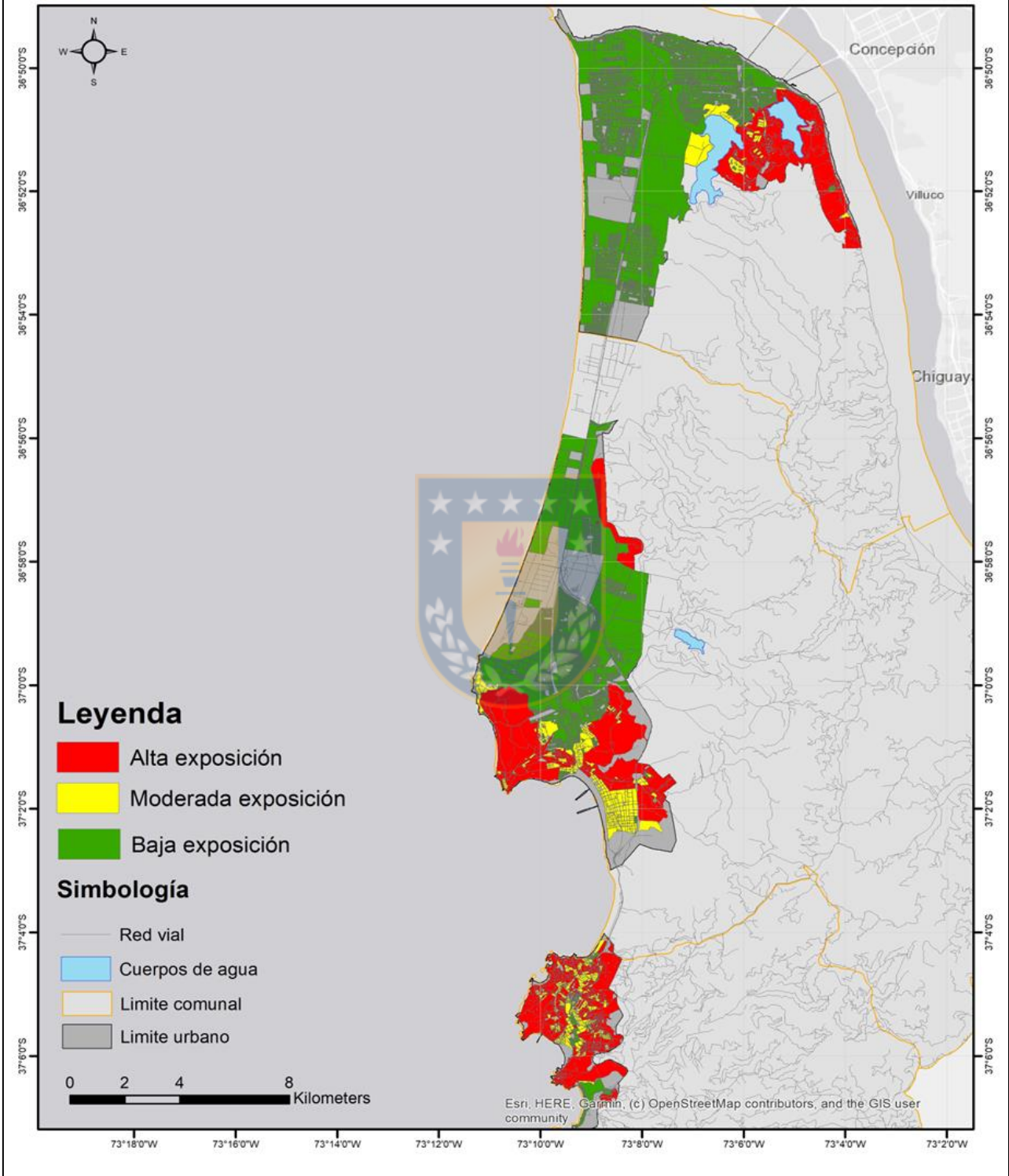


Figura 6.16. Mapa de exposición a procesos de remociones en masa