



**Universidad de Concepción
Facultad de Arquitectura, Urbanismo y Geografía
Departamento de Geografía**



Evaluación de riesgos por incendios forestales y por procesos de remoción en masa en viviendas subsidiadas en el sector Escuadrón de la comuna de Coronel

Tesis presentada a la Facultad de Arquitectura, Urbanismo y Geografía de la Universidad de Concepción para optar al título profesional de Geógrafo

POR: Juan Carlos Espinoza Infante

Profesor Guía: Dr. Voltaire Alvarado Peterson

Concepción, Chile 2024.

AGRADECIMIENTOS

Cuando pienso en las personas a las que quiero agradecer, primero se me viene a la mente mi familia, especialmente mi mamá y mi papá, ya que, gracias a sus esfuerzos y sacrificios pude tener la oportunidad de tener estudios universitarios, y gracias a su cariño, amor y comprensión, estoy donde estoy hoy en día. A mi hermana Paola por las palabras de motivación. A Isabel por sus ricas comidas y cariño que me dejaron el estómago lleno y el corazón contento en incontables días de trabajo.

Agradezco a mis amigos que me dio la carrera de Geografía (Diego, Keko, Pape, Paulo y Soto). Gracias los buenos momentos, las salidas en las tardes y las interminables risas y buena amistad que me dieron durante estos años de formación universitaria.

A mis amigos de fuera de la universidad Giacomo y Jorge por siempre estar ahí y apoyar en todo momento, por las incontables noches de risas que ayudaban a hacer un poco más llevadero todo este proceso.

A mis mascotas Albi y Kiara, por su compañía durante días y noches mientras desarrollaba esta investigación. A veces el solo mirarlas durmiendo en mi cama detrás mío me daba fuerzas para seguir.

Quiero expresar un agradecimiento especial a mi profesor guía, Voltaire Alvarado, quien siempre me ha motivado y guiado en este trabajo. Gracias por su comprensión, empatía y por ayudarme a desarrollar mis capacidades. Su apoyo ha sido fundamental y estoy sinceramente agradecido por la oportunidad de realizar mi investigación bajo su tutela.

Esta investigación forma parte de los resultados del Proyecto FONDECYT de Iniciación N°11220778 “Geografías de la suburbanización propietaria en el centro sur de Chile. Estructura subsidiaria residencial y socioespacialidades del bienestar (1990 – 2022).

Tabla de contenido

1.	INTRODUCCIÓN.....	1
1.1	PLATEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	5
1.2	PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN.....	14
1.3	HIPÓTESIS.....	15
1.4	OBJETIVOS.....	15
2.	MARCO CONCEPTUAL.....	17
2.1.	Remociones en masa.....	17
2.2.	Incendios forestales.....	27
2.3.	Viviendas subsidiadas.....	30
2.4.	El riesgo y sus componentes.....	32
3.	METODOLOGÍA.....	37
4.	TÉCNICAS Y MÉTODOS.....	63
5.	PLAN DE TRABAJO.....	66
6.	RESULTADOS.....	68
6.1.	Evaluación de amenaza de incendios forestales y remociones en masa.....	68
6.2.	Evaluación de vulnerabilidad de la población frente a amenaza de incendios forestales y remociones en masa.....	85
7.	CONCLUSIONES.....	93
	Bibliografía.....	98

Índice de Tablas

Tabla 1.1. Eventos ocurridos en la comuna de Coronel 2010-2021, registrados en el catastro de remociones en masa del SERNAGEOMIN.	11
Tabla 3.1. Precipitación histórica anual en mm de la ciudad de Concepción periodo años 1992-2007. Datos estación meteorológica Carriel Sur.	53
Tabla 3.2. Precipitación histórica anual en mm de la ciudad de Concepción periodo años 2008-2022. Datos estación meteorológica Carriel Sur.	54
Tabla 3.3. Temperatura media (°C) de la ciudad de Concepción periodo años 1992-2007. Datos estación meteorológica Carriel Sur.	55
Tabla 3.4. Temperatura media (°C) de la ciudad de Concepción periodo años 2008-2022. Datos estación meteorológica Carriel Sur.	55
Tabla 4.1. Matriz de evaluación riesgo de derrumbe (peligrosidad).	63
Tabla 4.2. Matriz de evaluación de amenaza de remociones en masa, basado en el trabajo de Mardones et al. (2001).	64
Tabla 4.3. Matriz de evaluación de susceptibilidad de incendios forestales, basado en el trabajo de Mardones et al. (2001).	64
Tabla 6.1. Datos utilizados en mapa de Amenaza.	69
Tabla 6.2. Ponderaciones, áreas (km ²) y porcentaje ocupado de cada variable procesos de remoción en masa.	78
Tabla 6.3. Ponderaciones, áreas (km ²) y porcentajes de cada variable incendios forestales.	79
Tabla 6.4. Rangos de amenaza y superficie (km ²) por remociones en masa.	82
Tabla 6.5. Rangos de amenaza y superficie (km ²) por incendios forestales.	82
Tabla 6.6. Capas de información utilizadas.	86
Tabla 6.7. Rangos de vulnerabilidad y superficie (km ²) por remociones en masa.	92
Tabla 6.8. Rangos de vulnerabilidad y superficie (km ²) por incendios forestales.	92

Índice de figuras

Figura 1.1. Cantidad de eventos de remociones en masa registradas en el catastro del SERNAGEOMIN, categorizados por fecha de registro, comuna de Coronel.....	13
Figura 1.2. Ocurrencia de incendios forestales comuna de Coronel, registrados en el catastro de CONAF, 2010-2022.....	14
Figura 2.1. Esquema de tipos de remociones en masa según Varnes (1978).....	19
Figura 2.2. Factores condicionantes relevantes para cada tipo de remoción en masa.	23
Figura 3.1. Área de estudio sector Escuadrón, comuna de Coronel.....	39
Figura 3.2. Modelo digital de elevación del área de estudio.	41
Figura 3.3. Mapa de pendientes del área de estudio.....	43
Figura 3.4. Modelo de orientación de laderas.	45
Figura 3.5. Cobertura vegetal del área de estudio, año 2013. Imagen Landsat 8.....	49
Figura 3.6. Cobertura vegetal del área de estudio, año 2016. Imagen Landsat 8.....	50
Figura 3.7. Cobertura vegetal del área de estudio, año 2019. Imagen Landsat 8.....	51
Figura 3.8. Cobertura vegetal del área de estudio, año 2022. Imagen Landsat 8.....	52
Figura 3.9. Precipitación histórica anual en mm de la ciudad de Concepción, en un periodo de 30 años.	54
Figura 3.10. Densidad de población.....	60
Figura 3.11. Usos de suelo del área de estudio.	62
Figura 6.1. Reclasificación pendiente – Amenaza.....	70
Figura 6.2. Reclasificación orientación de laderas – Amenaza.....	72
Figura 6.3. Reclasificación usos de suelo – Amenaza.....	74
Figura 6.4. Reclasificación cobertura vegetal Landsat 8 – Amenaza.....	77
Figura 6.5. Porcentaje de superficie ocupado por amenaza de remociones en masa.	81
Figura 6.6. Porcentaje de superficie ocupado por amenaza de incendios forestales...	82
Figura 6.7. Mapa de amenaza por procesos de remoción en masa.	83
Figura 6.8. Mapa de amenaza por incendios forestales.	84
Figura 6.9. Mapa de vulnerabilidad por procesos de remociones en masa.	89
Figura 6.10. Mapa de vulnerabilidad por incendios forestales.....	90
Figura 6.11. Porcentaje de superficie ocupado por vulnerabilidad de remociones en masa.....	91
Figura 6.12. Rangos y porcentaje de superficie ocupado por vulnerabilidad de incendios forestales.....	91

RESUMEN

El sector Escuadrón, ubicado en la comuna de Coronel, enfrenta diversas amenazas naturales que impactan la seguridad y la calidad de vida de sus habitantes, siendo las remociones en masa e incendios forestales especialmente destacados entre ellos. La presente investigación se orienta hacia la realización de una evaluación de riesgos específica para estos eventos en Escuadrón, con el objetivo general de identificar fuentes de amenaza y características de vulnerabilidad comunitaria. La finalidad última final consiste en generar herramientas adicionales a las ya existentes con el fin de fortalecer la gestión del riesgo de desastres en el área de estudio.

En una primera etapa de la investigación, se llevará a cabo la zonificación de las áreas propensas a amenazas por incendios forestales y remociones en masa. Variables como la orientación de laderas, pendiente, usos de suelo y cobertura vegetal serán consideradas en este análisis. La combinación y posterior reclasificación de estos factores permitirán la creación de un mapa de amenazas, destacando de manera precisa las áreas más susceptibles a estos eventos naturales. Posteriormente, se realizará un análisis de vulnerabilidad de la población del sector Escuadrón frente a remociones en masa e incendios forestales, tomando en cuenta factores antrópicos como la densidad de población, las características socioeconómicas de la población, la presencia de viviendas subsidiadas y la fragilidad de las zonas urbanas de suburbios. La evaluación resultante, combinada con la reclasificación de factores antrópicos, generara un mapa

de vulnerabilidad que complementara la comprensión de los riesgos presentes en la comunidad suburbana.

La evaluación de riesgos integrara los mapas de amenaza y vulnerabilidad para identificar áreas de mayor riesgo. Con estos resultados, se espera obtener una base sólida para establecer medidas preventivas y de preparación adecuadas. Esta información contribuirá a la toma de decisiones, priorizando zonas de mayor riesgo y reforzando las herramientas disponibles para la gestión del riesgo de desastres en el área de estudio.

La implementación de políticas y medidas de gestión del riesgo, derivadas de los resultados de esta evaluación, será fundamental para disminuir la fragilidad de la comunidad, especialmente de las viviendas subsidiadas, ante desastres. Además, la difusión de la información obtenida fomentara la conciencia sobre la importancia de la prevención y la preparación, promoviendo una mayor resiliencia comunitaria frente a los riesgos identificados.

Palabras clave: Remociones en masa, incendios forestales, gestión del riesgo, amenaza, vulnerabilidad, viviendas subsidiadas.

ABSTRACT

The Escuadrón sector, located in the Coronel commune, faces various natural threats that impact the security and quality of life of its inhabitants, with mass movements and forest fires being particularly prominent among them. This research is oriented towards conducting a specific risk assessment for these events in Escuadrón, with the general objective of identifying sources of threat and characteristics of community vulnerability. The ultimate purpose is to generate additional tools to strengthen disaster risk management in the study area.

In the initial stage of the research, zoning of areas prone to threats from forest fires and mass movements will be carried out. Variables such as slope orientation, gradient, land use, and vegetation cover will be considered in this analysis. The combination and subsequent reclassification of these factors will allow the creation of a threat map, accurately highlighting the most susceptible areas to these natural events. Subsequently, a vulnerability analysis of the Escuadrón sector's population to mass movements and forest fires will be conducted, taking into account anthropogenic factors such as population density, socioeconomic characteristics, the presence of subsidized housing, and the fragility of suburban urban areas. The resulting evaluation, combined with the reclassification of anthropogenic factors, will generate a vulnerability map that complements the understanding of risks present in the suburban community.

The risk assessment will integrate threat and vulnerability maps to identify areas of higher risk. With these results, a solid foundation is expected to be obtained for establishing appropriate preventive and preparedness measures. This information will contribute to decision-making, prioritizing high-risk areas and reinforcing the available tools for disaster risk management in the study area.

The implementation of risk management policies and measures, derived from the results of this assessment, will be crucial to reduce the fragility of the community, especially subsidized housing, in the face of disasters. Furthermore, the dissemination of the obtained information will foster awareness of the importance of prevention and preparedness, promoting greater community resilience against identified risks.

Keywords: Mass movements, forest fires, risk management, vulnerability, subsidized housing.

1. INTRODUCCIÓN

Los deslizamientos de tierra y los incendios forestales representan desastres naturales con el potencial de causar daños significativos tanto a las comunidades como al medio ambiente. A nivel mundial, los deslizamientos y las avalanchas resultan en numerosas pérdidas humanas y económicas anuales, mientras que los incendios forestales pueden arrasarse vastas extensiones de bosques y afectar a la fauna silvestre. A pesar de implementar prácticas de protección, los incendios forestales siguen causando devastación a extensas áreas boscosas a nivel mundial. En Sudamérica, se estima que en las últimas tres décadas se han registrado al menos 290 mil incendios forestales, afectando aproximadamente 51.7 millones de hectáreas. De este total, alrededor de 300 mil hectáreas correspondían a plantaciones forestales (Global Fire Monitoring Center, 2011). La destrucción de viviendas y la pérdida de vidas a causa de los incendios en las áreas de la interfaz urbano-rural son motivo de titulares en varias partes del mundo (Gill & Stephens, 2009). La interfaz urbano-rural se define como los espacios físicos en los que la vegetación y las edificaciones coexisten en un entorno propicio para la ocurrencia de incendios (Ribeiro et al., 2010). Por ejemplo, en Portugal, se ha observado que los incendios forestales en estas áreas urbano-rural representan un problema en aumento no sólo para este país, sino a nivel global. El incremento en la frecuencia y la peligrosidad de los incendios tiende a coincidir con la presencia humana en los asentamientos (Ribeiro et al., 2010).

De igual manera, Canadá, países del norte de Europa y Rusia se enfrentan este nuevo escenario caracterizado por períodos de sequía y ciclos excepcionalmente cálidos, factores que aumentan la probabilidad de grandes incendios forestales. En Canadá, por

ejemplo, se registró la pérdida de 4910 km² de bosques en el año 2017 (Úbeda et al., 2018). De acuerdo con Úbeda et al. (2018) en varias ocasiones, al igual que en Chile, los bosques en países como Suecia o Finlandia tienden a ser monocultivos, y, además, desempeñan un papel significativo en la economía de estos países. En Canadá, diversos estudios anticipan un rápido y profundo impacto del cambio climático en la frecuencia, extensión y severidad de los incendios en los bosques boreales (Weber MG & MD Flannigan, 1997). La región del bosque boreal, abarcando aproximadamente un tercio de la cobertura forestal global, ha experimentado un aumento notorio en la actividad incendiaria en las últimas décadas, atribuido al incremento de las temperaturas globales (Kasischke & Turetsky, 2006; Stocks et al., 2003). Un estudio realizado por McAlpine (1998) en la región mencionada sugiere que el aumento en la frecuencia de años de sequía y eventos climáticos extremos, combinado con temporadas de incendios más prolongadas, podría resultar en un aumento significativo de la actividad de incendios y la expansión de áreas afectadas en la provincia de Ontario, Canadá.

En temas de prevención y mitigación de incendios forestales, Ramos (1995) señala que, en países como Brasil, caracterizados por altas tasas anuales de producción de biomasa y una amplia diversidad vegetal, la implementación de un programa nacional para prevenir y combatir estos eventos representa un desafío considerable. Este proceso implica esfuerzos significativos y un plazo prolongado, principalmente debido a la necesidad de llevar a cabo cambios profundos en los comportamientos existentes.

Retomando el caso específico de Chile, la topografía accidentada del país expone al país a una variedad de riesgos naturales, siendo las remociones en masa e incendios forestales dos de las amenazas más destacadas. De acuerdo con el Servicio Nacional

de Geología y Minería (SERNAGEOMIN), Chile se destaca como uno de los países con mayor cantidad de áreas propensas a deslizamientos y remociones en masa a nivel global (SERNAGEOMIN, 2017).

Las remociones en masa son eventos geológicos en los cuales una porción de suelo o roca experimenta desplazamiento debido a la fuerza de la gravedad. A lo largo de la historia geológica de la Tierra, estos eventos han sido naturales, pero la intervención humana, como la edificación en terrenos inestables y la deforestación, ha acelerado tanto su frecuencia como su intensidad (Harshbarger, 2003). En Chile, especialmente en la zona centro-sur, factores como la actividad tectónica, precipitaciones intensas, actividad antrópica y la actividad volcánica incrementan la probabilidad de remociones en masa (Hermosilla et al., 2019).

Por otro lado, los incendios forestales representan una amenaza recurrente en Chile, particularmente durante los meses estivales. A nivel nacional, se produjeron 263.230 incendios entre 1964 y 2021, afectando a una superficie total de más de tres millones de hectáreas (CONAF, 2021; Ciocca et al., 2023). Si bien la cobertura climática y vegetal desempeñan un papel determinante en la configuración de las condiciones propicias para la actividad de los incendios en Chile, el factor preponderante que desencadena su ocurrencia es la actividad humana, siendo responsable de casi el 90% de los incendios forestales, ya sea de manera intencional o accidental (CONAF, 2021; Ciocca et al., 2023).

En los años recientes, Coronel ha experimentado una sucesión de eventos naturales que han generado repercusiones significativas tanto en su población como en su entorno ecológico. Dentro de estos eventos, las remociones en masa e incendios forestales han

surgido como los más recurrentes y perjudiciales en la zona. Contrariamente a lo que podría considerarse una excepción, el sector Escuadrón ha sido particularmente afectado por estos fenómenos naturales.

En febrero de 2019, el área experimentó una remoción en masa que llevó a la evacuación preventiva de 22 familias (Municipio de Coronel, 2019). Posteriormente, en febrero de 2020, se registró un incendio forestal que abarcó una superficie de 8 hectáreas y resultó en la evacuación de 60 personas (La Tercera, 2020). Es fundamental reconocer que el sector Escuadrón se ubica en una zona de alta exposición a riesgos naturales debido a su posición geográfica en las laderas de la cordillera de la Costa. El geólogo Cristián Aguilar (2016) ha señalado que factores como suelos inestables, pendientes pronunciadas y lluvias intensas se combinan para aumentar significativamente el riesgo de remociones en masa en áreas como el barrio Escuadrón. Aguilar (2016) sostiene que la cercanía de zonas forestales añade un componente adicional al riesgo, incrementando la probabilidad de incendios forestales.

Además de los desafíos inherentes a los riesgos naturales de remociones en masa e incendios forestales, la presente investigación se adentra en la complejidad de la fragilidad urbana, focalizando la atención en las viviendas subsidiarias y suburbio del sector Escuadrón. En particular, el sector Escuadrón, predominantemente compuesto por viviendas subsidiadas, encarna una realidad donde la vulnerabilidad residencial se entrelaza con factores estructurales y socioeconómicos.

Los suburbios, por su naturaleza periférica, a menudo enfrentan limitaciones en su infraestructura pública, siendo el sector Escuadrón un ejemplo paradigmático de esta dinámica. La falta de inversión en carreteras, paradas de transporte público, escuelas y

centros de salud primaria crea una fragilidad inherente a la zona, acentuándose aún más cuando las viviendas subsidiadas, pese a no evidenciar precariedades materiales evidentes, se ven expuestas a riesgos adicionales en incendios forestales. La concentración de viviendas subsidiadas en este entorno puede aumentar la vulnerabilidad, ya que estas estructuras podrían estar más expuestas a la propagación del fuego debido a las limitaciones en la infraestructura de mitigación de incendios y la densidad de construcciones en la zona.

El propósito de esta investigación es realizar una zonificación y análisis de amenaza y vulnerabilidad en viviendas subsidiadas para finalmente unir ambos criterios y se presenta el producto final, es decir, un mapa de riesgos asociados a procesos de remoción en masa e incendios forestales en el sector escuadrón de la comuna de Coronel.

1.1 PLATEAMIENTO DEL PROBLEMA

Chile, dada su posición geográfica en la zona de convergencia de las placas tectónicas de Nazca y Sudamericana, se ve expuesto a una variada gama de riesgos naturales, como sismos, tsunamis, actividad volcánica, remociones en masa e incendios forestales.

En la región centro-sur de Chile, las estadísticas muestran un aumento consistente y significativo en el número de incendios forestales, 99 % de origen antrópico, durante las últimas tres décadas (González et al., 2011). La Región del Biobío, de las más pobladas del país, alberga muchos bosques nativos y plantaciones forestales, y es, a la vez, propensa a eventos naturales, especialmente incendios forestales en verano. En lo concerniente a los incendios que han impactado plantaciones de especies exóticas, se ha observado, desde la década de 1990, una tendencia ascendente en las temporadas

de incendios extremos, medida en términos de la extensión anualmente afectada. Esta tendencia, que refleja el aumento de la superficie base de las plantaciones desde los 70, puede atribuirse al notable aumento de la superficie quemada, especialmente en la región del Biobío. Esta región concentra aproximadamente el 40% de la superficie total de plantaciones a nivel nacional (González et al., 2011).

Por otro lado, en Chile, los procesos de remoción en masa son fenómenos comunes debido a la topografía montañosa de los Andes y al desarrollo de cuencas costeras. A lo largo de décadas, estos fenómenos han generado considerables daños y pérdidas humanas (Hauser, 1993; Hauser, 2000; Naranjo et al., 1996). Esta problemática es especialmente recurrente en la región del Biobío, sobre todo en la zona costera.

De acuerdo con una investigación llevada a cabo por Alarcón (1995) para el periodo comprendido entre 1960-90, utilizando datos recopilados del Diario El Sur, se identificaron 88 eventos, una cifra tres veces superior al registrado en el intervalo de 1885-1920, este aumento se atribuye principalmente a la urbanización de los cerros circundantes al área Metropolitana de Concepción. La mayoría de estos eventos han sido desencadenados por precipitaciones intensas y condiciones que favorecen su desarrollo, tales como taludes sin cobertura forestal, pendientes pronunciadas, taludes alterados debido a la construcción de viviendas o infraestructura pública, etc. (Mardones et al., 2006).

Estos fenómenos suelen ser desencadenados por precipitaciones asociadas a anomalías climáticas de diferentes umbrales, los cuales varían según el régimen climático (Sepúlveda et al., 2006). En la costa de Chile centro-sur, el área metropolitana de Concepción se destaca como uno de los núcleos urbanos más vulnerables a los

peligros naturales asociados con eventos climáticos, incluidos los procesos de remoción en masa (Mardones et al., 2006).

La Comuna de Coronel, ubicada en la región previamente mencionada, se enfrenta a un escenario particularmente desafiante, caracterizada por la interacción de su topografía montañosa y condiciones climáticas, elementos que incrementan significativamente el riesgo de eventos como las remociones en masa. El sector Escuadrón experimentó una tragedia en 2021 cuando una remoción en masa afectó gravemente la comunidad, resultando en pérdidas humanas y daños materiales significativos (TVN Noticias, 2021).

Según un estudio realizado por el Servicio Nacional de Geología y Minería de Chile (SERNAGEOMIN) en 2017, Coronel es considerada una zona de alto riesgo geológico debido a sus características geológicas y a la presencia de varias fallas activas en la zona. La amenaza de remociones en masa e incendios forestales se ve exacerbada por las condiciones climáticas, incluyendo lluvias intensas y estacionales (SERNAGEOMIN, 2017).

La amenaza se refiere a la probabilidad de ocurrencia de un evento natural, como un deslizamiento de tierra o un incendio forestal. Según Sayers y Penning-Rowell (2000), la amenaza es la probabilidad de ocurrencia de un fenómeno natural o humano, que potencialmente causa daños a una comunidad, a sus activos y a su capacidad de funcionamiento. La amenaza de remociones en masa e incendios forestales se analizará considerando la orientación de laderas, pendiente, usos de suelo y cobertura vegetal de la zona, así como las causas y factores de riesgo asociados a viviendas subsidiadas.

El término viviendas subsidiadas se refiere a aquellas unidades habitacionales cuya construcción o adquisición ha sido respaldada económicamente por el gobierno u otras

entidades con el propósito de proporcionar viviendas a segmentos socioeconómicos de bajos recursos. Estas viviendas presentan características particulares en su construcción y ubicación que pueden influir en su vulnerabilidad ante eventos naturales. El sector se caracteriza por ser un suburbio, denotando su condición como área periférica de la comuna de Coronel. El término suburbio implica una densidad poblacional relativamente menor y condiciones socioeconómicas específicas que pueden contribuir a la fragilidad urbana en el contexto de eventos naturales. La vulnerabilidad de estas viviendas subsidiadas y del suburbio en general dependerá de diversos factores, incluyendo la calidad de la construcción, la ubicación geográfica, la infraestructura disponible y la capacidad de respuesta de la comunidad.

La vulnerabilidad se refiere a la susceptibilidad o la falta de capacidad de resistir, enfrentar y recuperarse de los eventos adversos. Según Arriagada (2018), la vulnerabilidad se refiere a las condiciones económicas, sociales y ambientales que hacen que ciertos grupos poblacionales sean más propensos a sufrir los efectos de una catástrofe o evento extremo.

En el contexto de esta investigación, se refiere a la fragilidad de las viviendas subsidiarias frente a eventos naturales. Esta fragilidad depende de diversos factores, como la construcción de las viviendas, la ubicación geográfica, la infraestructura disponible en el sector, la capacidad de respuesta de la comunidad, entre otros. La vulnerabilidad de la población y la infraestructura se analizará considerando factores como el número de viviendas dentro de la zona de amenaza, la infraestructura pública presente y la vulnerabilidad de la infraestructura pública-privada y su capacidad para responder y recuperarse de un desastre. Para ello, se requiere una identificación de las

estructuras críticas, como hospitales, escuelas y red vial. En particular, el sector Escuadrón, predominantemente compuesto por viviendas subsidiadas, encarna una realidad donde la vulnerabilidad residencial se entrelaza con factores estructurales y socioeconómicos.

Un elemento esencial para comprender la fragilidad de este contexto residencial es el análisis de la competencia por recursos con la industria forestal. El sector Escuadrón, como muchos suburbios, se ve inmerso en un proceso incremental tanto en términos de desarrollo habitacional como expansión de áreas forestales. Este fenómeno, caracterizado por la construcción progresiva de viviendas subsidiadas y el aumento constante de extensiones forestales, genera una competencia sostenida por el espacio y recursos, tales como el suelo disponible y la infraestructura. Este proceso incremental, al competir por recursos escasos, da lugar a una transformación dinámica del espacio que no solo impacta en la calidad de vida de los residentes, sino que también contribuye a la generación y exacerbación de riesgos asociados. En este contexto, se explorará si esta fragilidad es una condición permanente, un fenómeno aislado o el resultado de desafíos accidentales en la planificación urbana, proporcionando así una visión holística de los factores que contribuyen a la vulnerabilidad de este entorno específico.

El propósito de esta investigación es llevar a cabo una zonificación y evaluación de riesgo de remociones en masa e incendios forestales en Escuadrón de la comuna de Coronel, con un enfoque específico en las viviendas subsidiadas del sector, considerando los factores de amenaza y vulnerabilidad. Para ello, se realizará un estudio de la geografía y el clima de la zona, así como de la población y el carácter subsidiario del sector, así como los motivos de la fragilidad urbana del suburbio. La metodología

propuesta para abordar este problema incluirá estudios detallados del terreno y análisis de datos de eventos anteriores para determinar la probabilidad de ocurrencia y la magnitud potencial de los eventos naturales.

La evaluación de los factores físicos y sociales en el sector Escuadrón permite finalmente generar un mapa de riesgos por remoción en masa e incendios forestales. La evaluación de amenaza se basa en los factores físicos del área, como la pendiente, usos de suelo, orientación de laderas y cobertura vegetal, mientras que la evaluación de vulnerabilidad tiene en cuenta los factores sociales, como la densidad de población, infraestructura existente y presencia de viviendas subsidiadas. La combinación de estos criterios ha permitido identificar las zonas del sector Escuadrón con mayor riesgo de sufrir estos peligros naturales y, en consecuencia, tomar medidas preventivas para reducir el riesgo y proteger a la población y la propiedad.

La confección de un mapa de riesgos constituye un procedimiento esencial para la identificación de las zonas más susceptibles y la anticipación de posibles escenarios de desastre. Estos mapas representan una herramienta valiosa que facilita la planificación, toma de decisiones y aplicación de medidas preventivas. Los mapas de riesgo se configuran como representaciones gráficas que reflejan la probabilidad de ocurrencia de eventos peligrosos y las consiguientes consecuencias en una zona específica (Jara et al., 2018)

Se espera que los resultados derivados de esta evaluación de riesgo no solo representaran una contribución significativa para la gestión de riesgos de desastres en el área, sino también proporcionan una base sólida para la implementación de medidas

preventivas y de preparación adaptadas a las características distintivas de las viviendas subsidiadas y al entorno suburbano del sector. La aplicación de políticas y medidas de gestión del riesgo, fundamentadas en los resultados de la evaluación, tiene el potencial de mitigar la exposición y vulnerabilidad de la comunidad local frente a los desastres naturales. Adicionalmente, la concientización acerca de la importancia de la prevención y la preparación puede ser promovida mediante la difusión de la información obtenida en la evaluación de riesgos. La siguiente tabla organiza algunos de los eventos registrados en la zona de estudio, considerando su frecuencia a lo largo del tiempo (Tabla 1.1.). Los gráficos posteriores (Figura 1.1. y 1.2.) ilustran las concentraciones de estas situaciones específicas en Escuadrón.

Tabla 1.1. Eventos ocurridos en la comuna de Coronel 2010-2021, registrados en el catastro de remociones en masa del SERNAGEOMIN.

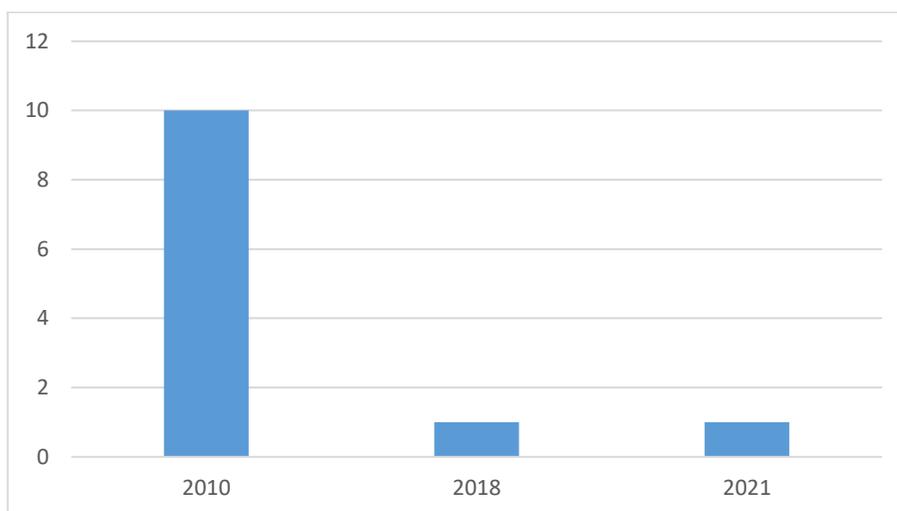
Tipo de evento	Desencadenante	Tipo de material	Fecha de registro	Ubicación aproximada
Caída	Evento sísmico	Roca	27 de febrero de 2010	Comuna de Coronel, región del Biobío
Caída	Evento sísmico	Roca	27 de febrero de 2010	Comuna de Coronel, región del Biobío
Deslizamiento	Evento sísmico	Sin información	27 de febrero de 2010	Comuna de Coronel, región del Biobío
Deslizamiento	Evento sísmico	Sin información	27 de febrero de 2010	Comuna de Coronel, región del Biobío
Caída	Evento sísmico	Roca	27 de febrero de 2010	Comuna de Coronel, región del Biobío

Tipo de evento	Desencadenante	Tipo de material	Fecha de registro	Ubicación aproximada
Deslizamiento	Evento sísmico	Sin información	27 de febrero de 2010	Comuna de Coronel, región del Biobío
Deslizamiento	Evento sísmico	Suelo/Sedimento	27 de febrero de 2010	Comuna de Coronel, región del Biobío
Caída	Evento sísmico	Roca	27 de febrero de 2010	Comuna de Coronel, región del Biobío
Deslizamiento	Evento sísmico	Suelo/Sedimento	27 de febrero de 2010	Comuna de Coronel, región del Biobío
Propagación por licuefacción	Acción antrópica/Vibración artificial (tráfico, explosiones, hincado de pilotes, otro)	Suelo/Sedimento. Arena/Limo	Sin fecha exacta, posterior al 27 de febrero de 2010	Las Encinas, comuna de Coronel, región del Biobío
Caída	Evento sísmico	Roca	Sin fecha exacta, posterior al 27 de febrero de 2010	Población Gendarme Aguilera, pasaje Chañarcillo, comuna de Coronel, región del Biobío
Caída	Evento sísmico	Roca	Sin fecha exacta, posterior al 27 de febrero de 2010	Población Nuevo Horizonte Pasaje Río Simpson, comuna de

				Coronel, región del Biobío
Deslizamiento	Acción antrópica/Excavación pie de ladera/talud	Roca y Suelo/Sedimento	27 de junio de 2018	Cerro La Peña-Yobilo, comuna de Coronel, región del Biobío
Deslizamiento	Precipitaciones	Roca y Suelo/Sedimento	19 al 21 de agosto de 2021	Cerro La Virgen y Cerro Corcovado, comuna de Coronel, región del Biobío

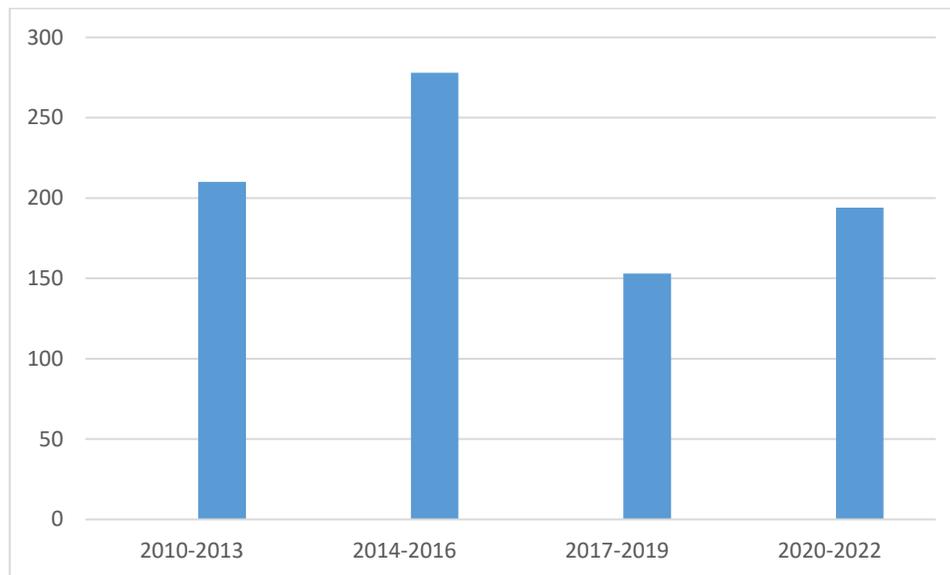
Fuente: Elaboración propia con datos de SERNAGEOMIN.

Figura 1.1. Cantidad de eventos de remociones en masa registradas en el catastro del SERNAGEOMIN, categorizados por fecha de registro, comuna de Coronel.



Fuente: Elaboración propia desde el catastro SERNAGEOMIN.

Figura 1.2. Ocurrencia de incendios forestales comuna de Coronel, registrados en el catastro de CONAF, 2010-2022.



Fuente: Elaboración propia desde el catastro CONAF.

1.2 PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN

1. ¿Cuál es el nivel de amenaza por procesos de remoción en masa e incendios forestales en el sector Escuadrón y cuáles son los factores que contribuyen a su vulnerabilidad?
2. ¿Cuáles son las principales vulnerabilidades de la población y la infraestructura del sector Escuadrón frente a procesos de remoción en masa e incendios forestales?
3. ¿Cómo afecta la presencia de viviendas subsidiadas a la exposición al riesgo en el sector Escuadrón?

1.3 HIPÓTESIS

- Las viviendas subsidiadas del sector Escuadrón de la comuna de Coronel se encuentra en un área de alto riesgo de remoción en masa e incendios forestales debido a su ubicación en zonas boscosas, pendientes pronunciadas y la presencia de materiales combustibles, lo que aumenta la probabilidad de desencadenar eventos catastróficos en el área.

1.4 OBJETIVOS

1.4.1 Objetivo general

- Evaluar el riesgo asociado a los procesos de remoción en masa e incendios forestales en las viviendas subsidiadas del sector Escuadrón, con el propósito de identificar las fuentes de amenaza y las características de vulnerabilidad de la comunidad. Con el objetivo de generar herramientas adicionales a las ya existentes, que contribuyan de manera efectiva a la gestión del riesgo en el área de estudio.

1.4.2 Objetivos específicos

- Zonificar las zonas propensas a amenazas por incendios forestales y remociones en masa en viviendas subsidiadas en el sector Escuadrón de la comuna de Coronel, incluyendo las variables naturales como pendiente, cobertura vegetal, usos de suelo y orientación de laderas.
- Evaluar la vulnerabilidad del barrio Escuadrón ante los eventos de remoción en masa e incendios forestales, incluyendo las características socioeconómicas, la infraestructura existente y la presencia de viviendas subsidiadas.

- Evaluar el riesgo de remociones en masa e incendios forestales en viviendas subsidiadas del sector Escuadrón, con el fin de aportar en la gestión de riesgos de desastres.

2. MARCO CONCEPTUAL

El propósito de este marco teórico es establecer las definiciones fundamentales que se abordan en este estudio. Para lograr esto, se lleva a cabo una revisión exhaustiva de la literatura que incluye diversos autores que han investigado sobre incendios forestales y remociones en masa. Posteriormente, se recopila información en base a los conceptos seleccionados previamente. Es importante tener en cuenta que cada concepto puede presentar múltiples definiciones, ya que diferentes autores o investigaciones abordan estos temas desde distintas perspectivas. Con el fin de simplificar esta investigación se utilizó la clasificación de Cruden y Varnes (1996) y la clasificación de Varnes (1978) para remociones en masa.

2.1. Remociones en masa

2.1.1 Definición remociones en masa

A lo largo del tiempo y gracias a las contribuciones de múltiples investigaciones científicas, el concepto de remociones en masa ha experimentado una evolución significativa, incorporando cada vez más elementos en su definición

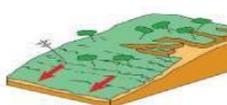
Las remociones en masa según Cruden y Varnes (1996) son fenómenos de desplazamiento de masas terrestres o laderas, caracterizados por el movimiento descendente de material en respuesta a la fuerza de la gravedad. Estos movimientos pueden manifestarse en forma de deslizamientos, desprendimientos, avalanchas o flujos. Por su parte, Petley (2012), se refiere a ellas como eventos geológicos en los que materiales terrosos o rocosos se mueven en dirección descendente o lateral a lo largo de pendientes. Estos movimientos pueden presentar una amplia gama de tamaños y velocidades, abarcando desde pequeños desprendimientos hasta grandes

deslizamientos. Estos eventos pueden ser desencadenados por diversos factores, como la inestabilidad del suelo, la erosión o la actividad sísmica.

- **Clasificación de remociones en masa**

Considerando la amplia diversidad de condiciones en las cuales pueden manifestarse los procesos de remociones en masa, se han desarrollado diferentes enfoques para su clasificación. En el presente estudio, se empleará la clasificación propuesta por los autores Cruden y Varnes (1996) y la de Varnes (1978), que han sido clasificaciones ampliamente utilizadas en las investigaciones sobre este tema. La cual se basa en dos parámetros fundamentales (figura 2.1): 1) El tipo de movimiento y, 2) el tipo de material. En este contexto, se reconocen cinco tipos diferentes de remociones en masa: caída (fall), volcamiento (topple), deslizamiento (slide), propagación (spread) y finalmente flujo (flow), aunque en la clasificación se incluyen los movimientos complejos que son la suma de dos o más de los anteriores. A su vez, estos movimientos pueden ocurrir en rocas y suelos, subdivididos en detritos y tierra.

Figura 2.1. Esquema de tipos de remociones en masa según Varnes (1978) modificado por Corominas y Yagüe (1997); Highland y Bobrowsky (2008). (a) Caídas, (b) volcamientos*, (c) deslizamientos, (d) extensión lateral, (e) flujos.

TIPO DE MOVIMIENTO	VARIANTES	ROCAS	DERRUBIOS	SUELOS
Caídas	Desprendimientos			
	Vuelcos			
Deslizamientos	Rotacionales (slump)			
	Traslacionales			
Expansión lateral				
Flujos	Corriente de derrubios (debris flow)			
	Colada fangosa (earthflow)			
	Reptación (creep)			
Complejos		Combinación de dos o más tipos de movimientos.		

Fuente: Varnes (1978) modificado por Corominas y Yagüe (1997); Highland y Bobrowsky (2008). *Nota: Los volcamientos o vuelcos se incluyen como un subtipo de los movimientos de caídas debido a la modificación hecha por Corominas y Yagüe (1997); Highland y Bobrowsky (2008).

2.1.2 Tipos de movimiento

a) Caídas (falls): Según Cruden y Varnes (1996) corresponden a movimientos rápidos a extremadamente rápidos que ocurren cuando el material rocoso o el suelo se desprende de una ladera con una pendiente pronunciada. Estos movimientos se producen a lo largo de una superficie sin generar cizallamiento, descendiendo mediante caída libre, rebotes o rodando. Estos autores destacan que las caídas son impulsadas por la gravedad y pueden ser desencadenadas por diversos factores, como la erosión en la base de la pendiente, la inestabilidad del material o la acción de eventos sísmicos.

b) Deslizamientos (slide): Según la definición de Cruden y Varnes (1996) es un movimiento descendente de masas de suelo o roca a lo largo de superficies de cizalla definidas. Este movimiento no ocurre de manera simultánea en toda la superficie de ruptura, sino que comienza en áreas donde se generan fallas locales. Estas fallas a menudo se evidencian mediante grietas de tensión en la superficie original a lo largo de la cual se formará el escarpe principal del deslizamiento. Varnes (1978) los clasifica dependiendo de las características específicas del deslizamiento, donde identifica dos subtipos: deslizamientos rotacionales y traslacionales.

Según Varnes (1978), los deslizamientos rotacionales (figura 2.2) se refieren a movimientos de rotación alrededor de un eje horizontal que es paralelo a la superficie de una pendiente. Estos deslizamientos ocurren cuando hay deslizamiento por cizallamiento a lo largo de una superficie cóncava que se desplaza hacia arriba.

Por su lado, Varnes (1978) los define como aquellos en los cuales se genera una superficie de cizallamiento aproximadamente plana. En este tipo de movimiento, la masa

se desliza a lo largo de una superficie menos resistente, la cual puede ser determinada por discontinuidades presentes en la roca o el suelo, como fallas, diaclasas, superficies de estratificación o superficies de contacto entre roca y suelo. Estos deslizamientos suelen ser más superficiales en comparación con los movimientos rotacionales. Además, a diferencia de los anteriores, donde la rotación tiende a estabilizar la masa desplazada, el deslizamiento traslacional puede continuar si la superficie de ruptura se mantiene lo suficientemente inclinada.

c) Volcamientos (topples): Este fenómeno según Cruden y Varnes (1996) puede presentar una amplia gama de velocidades, desde extremadamente lentas hasta extremadamente rápidas. Se caracteriza por el desprendimiento de uno o varios fragmentos de rocas o suelo, los cuales se inclinan o vuelcan alrededor de un punto o un eje ubicado cerca del centro de gravedad de la masa desplazada. A diferencia de una caída directa, en este movimiento se genera una superficie de cizallamiento, lo cual ha por lo que podría considerarse como un tipo de deslizamiento.

d) Extensiones laterales (lateral spreads): Según Cruden y Varnes (1996) este movimiento se define como extensiones de suelos cohesivos o masas de roca combinadas con una subsidencia general de la masa fracturada de material cohesivo en material subyacente más blando, siendo condicionados por pendientes de laderas bajas a moderadas. Terzaghi y Terzaghi y Peck (1948) utilizan este término para describir movimientos en arenas o limos semisaturados que subyacen a arcillas homogéneas o rellenos, cuyo peso ejerce tensiones laterales en el suelo que lo desplaza. Este desplazamiento genera fracturas transversales a la dirección del movimiento (Cruden & Varnes, 1996).

e) Flujos (flows): Movimientos continuos en el espacio, donde las superficies de ruptura no son preservadas, y las masas desplazadas son fuertemente deformadas internamente, comportándose de manera similar a un líquido viscoso (Varnes, 1978). Los flujos son clasificados por diversos autores de acuerdo al tipo de material involucrado y a la cantidad de agua que presentan (Hauser, 1993; Naranjo et al., 1996; Varnes, 1978). Así, según Cruden y Varnes (1996) se pueden encontrar los flujos de detritos, donde la mayor parte del material sólido corresponde a material particulado grueso; los flujos de tierra, donde el material corresponde a la fracción más fina de los suelos y el material no se encuentran saturado; y los flujos de barro, donde el material se compone principalmente de material fino y arena fina y se encuentra totalmente saturado.

2.1.3 Factores desencadenantes de remociones en masa

Los factores desencadenantes corresponden a aquéllos que generan una situación potencialmente inestable y pueden ser variados. Torres et al. (2016), señala que los principales factores que desencadenan remociones en masa en Chile son las precipitaciones intensas, la sismicidad, la actividad volcánica, la erosión costera y la tectónica activa. Por su parte, Sepúlveda et al. (2019) señalan que en Chile existen también factores antrópicos que pueden desencadenar estos procesos, como la construcción de infraestructuras en zonas inestables, la extracción de materiales, la deforestación y la urbanización desordenada.

Figura 2.2. Factores condicionantes relevantes (Hauser, 1993) para cada tipo de remoción en masa (Varnes, 1978).

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

Fuente: Hauser (1993).

a) Geología y Geotecnia: Usualmente se describen las características geológicas de un sector considerando diferentes tipos de materiales presentes, tales como diversas litologías, sedimentos y capas de suelo, así como su disposición (estratificación, contactos, fallas y sistemas de diaclasas). No obstante, al estudiar estos fenómenos, es crucial no solo comprender la composición y el tipo de masa susceptible de movimiento, sino también su comportamiento mecánico y resistente. El grado de alteración y meteorización de los macizos rocosos, así como caracterizar su estructura interna (tipo, disposición y estado de las discontinuidades) son puntos relevantes para considerar. Además, se deben obtener valores de resistencia tanto para la roca intacta como para el macizo y sus discontinuidades, además de considerar parámetros como permeabilidad, humedad y densidad de los materiales que lo conforman.

b) Geomorfología: Los elementos geomorfológicos que influyen en los sucesos de remoción en masa son principalmente la configuración topográfica, las inclinaciones de las laderas, los cambios abruptos en las pendientes y la extensión y elevación de las

laderas. Estas características impactan en la velocidad, la energía y el volumen de las remociones que pueden ocurrir. Así también, cualquier modificación de ellos puede transformar una ladera estable en inestable y generar remociones (Popescu, 2002). El relieve pronunciado y las pendientes empinadas de las laderas son un aspecto geomorfológico relevante, pues son especialmente propicios para formar flujos, deslizamientos y caídas. En situaciones específicas, la generación de flujos se ve favorecida por la presencia de laderas con una topografía abrupta, lo cual reduce la estabilidad de los depósitos, mientras que el escurrimiento superficial del agua actúa como un agente desestabilizador.

c) Hidrología e Hidrogeología: El sistema de drenaje, las fluctuaciones y ubicaciones del nivel freático, los caudales de agua, los coeficientes de escorrentía y los coeficientes de infiltración son aspectos hidrológicos e hidrogeológicos que influyen en la aparición de remociones en masa, ya que están directamente vinculados a la incorporación de agua en los suelos o las formaciones rocosas. Cuando el suelo se encuentra saturado, experimentará cambios en los niveles de cohesión según su composición granulométrica. De todas maneras, la incorporación de agua en la estructura del suelo, que en ciertos casos puede llegar a la saturación, genera una disminución en la resistencia del material, disminuyendo su tensión efectiva producto de la generación de presiones de poros (Lambe & Whitman, 1972). En el caso de las rocas, la presencia de agua puede debilitar su resistencia al infiltrarse en las estructuras, generando tensiones que se contraponen a las fuerzas que las mantienen estables. Por su lado, la mayoría de los flujos se originan debido a la saturación del material, lo cual resulta en un aumento de la presión de los poros y una disminución de la resistencia efectiva.

d) Vegetación: Se considera a menudo que la vegetación es un factor determinante para la estabilidad de las laderas. Sin embargo, los eventos de remoción en masa observados en Chile, especialmente en regiones de clima lluvioso y escasa vegetación, demuestran que no siempre la presencia de vegetación contribuye a reducir la erosión en las laderas. En este contexto, Prieto (1985) argumenta que la estabilidad proporcionada por la vegetación está estrechamente condicionada por el efecto combinado del clima y la topografía. Por ejemplo, en áreas expuestas a fuertes vientos y con pendientes pronunciadas, los árboles pueden alterar el suelo y desestabilizarlo. Además, en regiones de climas lluviosos con una vegetación abundante, es posible que la evaporación y la transpiración no sean suficientes para compensar la alta infiltración, lo que resulta en un ascenso del nivel freático y la saturación del material.

Según Selby (1993), la vegetación desempeña un papel crucial en la reducción del impacto erosivo en las laderas, generado por factores como el clima, las propiedades del suelo y la topografía. Según Selby (1993), el tipo de vegetación más adecuado para la estabilización de las laderas serían los bosques con suelos cubiertos de pasto o hierba. Estos bosques exhiben efectos primordiales de la vegetación en la estabilidad del suelo, que incluyen la interceptación del agua de lluvia, la disminución de la capacidad de erosión provocada por el agua en las laderas, y el aumento de la resistencia y porosidad del suelo. Además, aumentaría la evapotranspiración del agua disminuyendo el grado de saturación del suelo y produciría compactación del suelo más profundo (Norris & Greenwood, 2006).

e) Clima: Entre los factores climáticos que causan la erosión de las laderas, se encuentran las precipitaciones, la temperatura, el viento y la radiación solar. De todos estos factores, las precipitaciones son los más significativos.

Estas no solo desencadenan los procesos de remoción en masa, sino que también influyen en la estabilidad del terreno al debilitar las estructuras. Esto ocurre cuando el agua se introduce en las fracturas del suelo o del macizo rocoso, lo que reduce la resistencia de las estructuras al disminuir el coeficiente de fricción.

Otro elemento climático relevante es la temperatura. Esta influye en el estado de las precipitaciones, determinando si son en forma sólida o líquida. Además, controla el punto de fusión de la nieve, modifica la humedad del suelo después de las lluvias y condiciona el congelamiento del suelo.

Por otro lado, el viento tiene efectos sobre el ángulo de incidencia de las gotas de lluvia y además en la desestabilización de laderas abruptas con árboles (Selby, 1993).

Finalmente, la radiación solar es otro factor climático que afecta la estabilidad de las laderas, ya que influye en la humedad del material y disminuye la resistencia de estas a medida que aumenta la humedad. Este aspecto está estrechamente relacionado con la presencia de vegetación, que tiende a ser más abundante en áreas protegidas de una radiación solar intensa.

f) Actividad antrópica: El factor humano desempeña un papel crucial en la estabilidad de las pendientes y puede ser fundamental en la aparición de deslizamientos y otros fenómenos de remoción de masas. Diversas actividades humanas pueden influir en este proceso, como excavaciones, rellenos, construcción de estructuras, urbanización,

modificaciones en el uso del suelo, extracción de materiales y acumulación de escombros. Estas acciones pueden contribuir tanto a la inestabilidad de las laderas al reducir artificialmente la resistencia del material, como aportar material susceptible de ser movilizado por eventos futuros, además de alterar el patrón de escurrimiento superficial y modificar la topografía. Las remociones en masa son un problema complejo en Chile, ya que ocurren en áreas muy pobladas y con alta vulnerabilidad social, donde muchas veces las construcciones están en lugares geológicos no adecuados (Cayuela, 2014).

2.1.4 Agentes desencadenantes de remociones en masa

Un agente desencadenante es un factor externo que genera 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 (Wieczorek, 1996). Los agentes más frecuentes de las remociones en masa incluyen principalmente las precipitaciones intensas y los terremotos, mientras que en un segundo plano se encuentran los eventos como las erupciones volcánicas, la influencia humana, el derretimiento de nieve y la erosión de los canales, entre otros.

2.2. Incendios forestales

2.2.1 Definición incendios forestales

Se define incendio forestal como aquel producido y desarrollado principalmente en zonas naturales con vegetación abundante (Mora et al., 2008). Un incendio forestal se define como un fuego que se propaga sin control y de manera descontrolada, sin importar su origen. De acuerdo con los autores Cabrera et al. (2018), según el tipo de vegetación

afectada, se clasifica en incendios superficiales, subterráneos y aéreos. Los incendios superficiales afectan la vegetación que se encuentra en la capa arbustiva, herbácea y la hojarasca en el suelo. Este tipo de incendio es el más común y se encuentra presente en todos los incendios forestales. Por otro lado, los incendios subterráneos se propagan por debajo de la superficie del suelo, consumiendo raíces, materia orgánica y humus. Por último, están los incendios aéreos, conocidos como incendios de copa, ya que se dispersan a través de la vegetación arbórea superior.

Los incendios forestales, son una de las principales causas de la disminución de los bosques y pérdida de suelos fértiles alrededor del mundo, además son una gran fuente de emisión de carbono y otras partículas, lo que contribuye considerablemente al calentamiento global. En esta misma línea, el biólogo Ricardo Rozzi (2004) señala que los incendios forestales pueden tener graves consecuencias en la biodiversidad, especialmente en ecosistemas sensibles como los bosques templados lluviosos. Además, estos incendios pueden provocar la degradación del suelo y la disminución de la calidad del agua en las cuencas hidrográficas.

2.2.2 Factores desencadenantes de incendios forestales

Según Pérez-Verdín et al. (2013) las condiciones iniciales de ciertos elementos relacionados con la humedad presentes en materiales inflamables, la humedad relativa del entorno y la temperatura, son elementos de importancia crucial para evaluar el grado de riesgo al que se encuentra expuesta una determinada área. No obstante, los factores que más influyen en la magnitud de los incendios forestales pueden agruparse en dos categorías principales: los de carácter ambiental y los de carácter humano.

En lo que respecta a los factores ambientales, se incluyen aspectos como la cantidad de precipitación, la temperatura ambiente, orientación de laderas y tipo de cobertura vegetal. Estos elementos desempeñan un papel significativo en la propagación y la intensidad de los incendios. Por otro lado, los factores antropogénicos también juegan un papel importante. Entre ellos se encuentran la distancia a las vías de acceso, la proximidad a áreas pobladas, la cercanía a zonas deforestadas y el índice de densidad poblacional. Todos estos factores tienen un impacto directo en la gravedad y el alcance de los incendios.

Para el caso chileno, Riquelme (2018) señala que los incendios forestales son una amenaza recurrente debido a la expansión urbana, el cambio climático y las prácticas agrícolas y forestales inadecuadas. En relación a los incendios forestales en Escuadrón los factores que aumentan el riesgo de incendios forestales en esta zona, identificando una serie de causas y factores que contribuyen a la ocurrencia de estos eventos. Por ejemplo, Muñoz et al. (2018) señalan que la vegetación predominante de la zona, compuesta principalmente por especies de pino y eucalipto, es altamente inflamable y aumenta el riesgo de incendios forestales. Además, la cercanía de la zona a áreas urbanas y la presencia de viviendas subsidiadas y construcciones cercanas a los bosques aumentan el riesgo de propagación del fuego.

En relación con los factores antrópicos, Olate et al. (2019) señalan a la actividad humana como un factor que aumenta el riesgo de incendios forestales. La quema de desechos y la negligencia en el uso del fuego para actividades agrícolas y forestales pueden contribuir a desencadenar estos eventos.

2.3. Viviendas subsidiadas

2.3.1 Definición vivienda subsidiada

Son aquellas viviendas cuyo costo de construcción o adquisición es parcialmente cubierto por el Estado u otras entidades a través de subsidios. Estos subsidios están diseñados para hacer que la vivienda sea más accesible para personas de bajos ingresos o grupos vulnerables que de otra manera tendrían dificultades para obtener una vivienda adecuada. Los subsidios pueden tomar diferentes formas, como ayudas directas, extensiones fiscales, préstamos a tasa de interés más bajas u otros incentivos financieros. El objetivo es reducir la carga financiera para los beneficiarios y fomentar la disponibilidad de viviendas asequibles.

2.3.2 La vivienda subsidiada y sus problemas

Desde sus inicios en los 80, la política habitacional en Chile, fundamentada en un subsidio a la demanda, se enfocó durante años en atender el déficit cuantitativo de viviendas, especialmente en un entorno donde la problemática de las familias sin hogar era muy relevante (Chamorro, 2015). Según Chamorro (2015) a medida que ha transcurrido el tiempo, se ha observado que esta política habitacional, ha generado externalidades urbanas negativas. Según el autor estas están relacionadas principalmente con la ubicación geográfica de las viviendas subsidiadas y su falta de conexión con el resto de la ciudad. Además, se evidencia la disponibilidad de servicios públicos y privados a los que acceden los residentes, contribuyendo al desarrollo de la segregación residencial y a la formación de áreas con pobreza y baja calidad de vida, denominadas "guetos". (Chamorro, 2015).

Según describe Chamorro (2015) la problemática emergió con la expansión del límite urbano, dado que los terrenos destinados a la construcción de viviendas subsidiadas se ubicaron en áreas distantes de cualquier núcleo de actividad. Estas zonas carecían de infraestructuras urbanas accesibles, presentaban suelos de baja calidad y sufrían problemas como inundaciones, hundimientos, o estaban situadas en sectores de la ciudad poco atractivos debido a su proximidad a elementos urbanos molestos, tales como basurales, pozos de áridos, plantas de tratamiento de aguas servidas, cementerios, etc. (Ducci, 1997). En las áreas donde se realizaron las construcciones de viviendas subsidiadas, no se efectuaron inversiones para desarrollar equipamiento ni ampliar servicios, públicos y privados. La falta de inversiones impidió la creación de subcentros en dichas localidades, que podrían haber mitigado la distancia de las viviendas respecto a los centros urbanos. (Chamorro, 2015).

Simian (2010) argumenta que la aplicación masiva de subsidios para la vivienda social ha generado uno de los principales problemas, siendo la segregación de los hogares beneficiados, los cuales han sido ubicados en las zonas periféricas de los centros urbanos. Se ha dado preferencia a la construcción de un gran volumen de viviendas en las afueras de las ciudades, lo que ha posibilitado la expansión rápida y económica del inventario de viviendas subsidiadas. Sin embargo, esta estrategia ha resultado en la formación de extensas áreas habitadas por hogares de menores ingresos en los límites urbanos. Este escenario impacta negativamente en la calidad de vida y el bienestar de los hogares beneficiarios, ya que se ven obligados a residir a distancias considerables de sus lugares de trabajo y educación. La segregación resultante también conlleva el riesgo de brotes de pobreza y delincuencia en las poblaciones afectadas, fenómenos de difícil erradicación. (Simian, 2010).

2.4. El riesgo y sus componentes

2.4.1 Riesgo

Según Birkmann et al. (2013), el concepto de riesgo se refiere a las posibles pérdidas que pueden impactar a una comunidad debido a la interacción entre una amenaza y la vulnerabilidad. De esta manera, el riesgo puede ser expresado en términos matemáticos como una probabilidad que supera los límites económicos, sociales o ambientales de resistencia de un área específica en un período de tiempo determinado.

Dentro de la Política Nacional para la Gestión de Riesgo de Desastres, es entendido como la probabilidad de consecuencias perjudiciales o pérdidas esperadas (muertes, lesiones, propiedades, medios de subsistencia, interrupción de actividad económica o deterioro ambiental) resultado de interacciones entre amenazas de origen natural o antropogénicas y condiciones de vulnerabilidad (Oficina Nacional de Emergencias. ONEMI, 2016).

Asimismo, según Briones (2005) el grado de riesgo de una sociedad está relacionado con su nivel de desarrollo y su capacidad para mitigar los factores de riesgo que podrían afectarla potencialmente. En este sentido, los desastres pueden considerarse como "riesgos mal gestionados". Un desastre se define como un impacto o una pérdida que alcanza niveles en los que la sociedad se ve incapacitada para afrontarlos, absorberlos y recuperarse de ellos utilizando sus propios recursos y reservas.

Riesgo: Amenaza x Vulnerabilidad

2.4.2 Amenaza

Lavell (2002), indica que un factor de riesgo externo se refiere a una condición que representa una amenaza para un elemento o conjunto de elementos expuestos. Esta condición se expresa en términos de probabilidad, indicando la posibilidad de que ocurra un evento en un tiempo, lugar y con una intensidad específica. Estos eventos pueden tener origen en fenómenos naturales, socio-naturales o de origen humano.

Por su lado, Cardona (1996) señala que la amenaza se refiere a una situación peligrosa que está presente pero aún no se ha materializado, y está asociada a un fenómeno o a la combinación de varios fenómenos que pueden ser de origen natural, social, tecnológico o causado por el ser humano. Esta amenaza puede manifestarse en un lugar específico y en un momento determinado, generando efectos negativos en las personas, los bienes y/o el medio ambiente.

El autor Wilches Chaux, G (1998) identifica tres categorías de amenazas:

- Amenazas naturales: Estas amenazas surgen como resultado de los procesos naturales del planeta y ocurren sin ninguna influencia o intervención directa por parte de los seres humanos.
- Amenazas socio-naturales: Estas amenazas se manifiestan a través de eventos que inicialmente parecen tener un origen natural, pero la intervención humana contribuye a su ocurrencia o agrava sus impactos.
- Amenazas antropogénicas: Estas amenazas son claramente producto de la acción humana sobre la naturaleza y/o la población.

En Chile la amenaza es un evento físico y/o natural, potencialmente perjudicial, fenómeno y/o actividad humana que puede causar la muerte, lesiones u otros perjuicios a la salud, daños a la propiedad, pérdida del trabajo y servicios, trastornos tanto social como económicos, o daños ambientales (Oficina Nacional de Emergencias. ONEMI, 2016).

2.4.3 Vulnerabilidad

Chardon (2002) describe el concepto de vulnerabilidad en términos de factores que la influyen, y sostiene que la vulnerabilidad es única y se manifiesta a través de diversos factores asociados a procesos. Estos factores incluyen aspectos físico-naturales, socioeconómicos, técnicos, político-institucionales y funcionales.

Del mismo modo, Birkmann (2007) sostiene que el concepto de vulnerabilidad ha evolucionado hacia una definición más integral, que abarca aspectos como la susceptibilidad, la exposición, la capacidad de afrontamiento y adaptación, así como diversas áreas temáticas que incluyen lo físico, lo social, lo económico, lo ambiental y la vulnerabilidad institucional. Esta ampliación busca lograr una comprensión más completa y holística de la vulnerabilidad.

Para el caso chileno, según la definición de la Oficina Nacional de Emergencias. ONEMI (2016), la vulnerabilidad se refiere a las condiciones que son influenciadas por factores físicos, sociales y ambientales, los cuales incrementan la susceptibilidad y exposición de una comunidad frente a los efectos negativos de las amenazas.

2.4.4 Exposición

De acuerdo con Birkmann et al. (2013), la exposición se refiere al grado en el que una unidad de evaluación se encuentra expuesta a una amenaza en particular. Esta exposición no solo afecta los aspectos físicos de la sociedad, sino también los sistemas humanos, las economías, los medios de subsistencia y las culturas, los cuales se manifiestan en un espacio específico y están vinculados a recursos y prácticas particulares que también pueden estar en riesgo. La exposición se evalúa considerando los patrones de distribución espacial y temporal.

2.4.5 Resiliencia

Se habla de resiliencia cuando se hace referencia a las capacidades de un sistema o comunidad que se encuentran expuestos a una amenaza para resistir, absorber, adaptarse y recuperarse de los efectos eficientemente (The United Nations Office for Disaster Risk Reduction. UNISDR, 2009).

Los autores Handmer y Dovers (1996) en Matyas y Pelling (2012) identifican tres componentes de la resiliencia para la reducción del riesgo de desastre:

- **Resistencia:** Se refieren a cambios en los que el sistema se mantiene en el mismo estado de equilibrio inicial, sin que ocurra una reorganización de los recursos y habilidades disponibles.
- **Persistencia:** Después de un disturbio, el sistema tiene la capacidad de reorganizar sus actividades y volver a un estado de equilibrio similar. Sin embargo, esta reorganización se limita a mantener el sistema existente sin abordar las causas subyacentes que generan condiciones de vulnerabilidad o una organización ineficiente. No se produce un margen de cambio que cuestione las raíces profundas del sistema.

- Transformación: Se trata de una situación en la que se desafían las causas profundas de la vulnerabilidad y se fomenta la participación en una reflexión crítica sobre los valores y las estructuras de poder que sustentan la gestión de riesgos. Esto implica una reestructuración más profunda que cuestiona los valores y objetivos establecidos, así como las prácticas asociadas, con el objetivo de impulsar al sistema hacia un nuevo estado.

Las políticas que implican la gestión de riesgo, se enfocan la mayoría en la resistencia, cuando se trata de sistemas urbanos y durante los últimos años, se han realizado avances en formas de persistencia en medios de vida rural asociados a medidas de seguridad alimentaria (Matyas & Pelling, 2012).

3. METODOLOGÍA

3.1. Enfoque metodológico

Para la primera parte de la investigación se llevará a cabo el análisis de fuentes donde se busca recopilar la ocurrencia de remociones en masa e incendios forestales en los últimos 12 años, específicamente en la comuna de Coronel, utilizando los registros del servicio nacional de geología y minería de Chile (SERNAGEOMIN) en este caso el catastro de remociones en masa, y los registros de la corporación nacional forestal (CONAF) en este caso el catastro de ocurrencia de incendios forestales. Luego se procederá con la recolección de datos en terreno, para constatar visualmente los eventos y recopilar información acerca de las viviendas del sector Escuadrón, catalogando las zonas susceptibles a amenazas y vulnerabilidad.

Con el fin de realizar una zonificación, análisis de vulnerabilidad y posterior evaluación del riesgo, se empleará un enfoque que combina métodos cualitativos (basados en la observación y descripción) con métodos cuantitativos. Esta combinación de enfoques permitirá integrar el trabajo de campo con el uso de herramientas y técnicas geoespaciales, como los Sistemas de Información Geográfica (SIG).

3.2. Área de estudio

El sector Escuadrón se encuentra ubicado en la comuna de Coronel (36° 58' S y 73° O), en la Región del Biobío, Chile. Localizada en la vertiente occidental del macizo de Nahuelbuta, limita al norte con la comuna de San Pedro de la Paz, al sur con la comuna de Lota, al este con la comuna de Santa Juana y al oeste con el Océano Pacífico. Su

ubicación costera la convierte en una comuna con un importante acceso al mar. Coronel es la cuarta comuna más poblada del Área Metropolitana del Gran Concepción y de acuerdo con los datos del censo de 2017 cuenta con una población total de 116.262 habitantes. Escuadrón es una zona de Coronel que se caracteriza por su entorno residencial. Es conocido por albergar viviendas subsidiadas, es decir, muchas de las viviendas en esta área se han construido con el apoyo del gobierno para dar soluciones habitacionales a familias de bajos recursos.

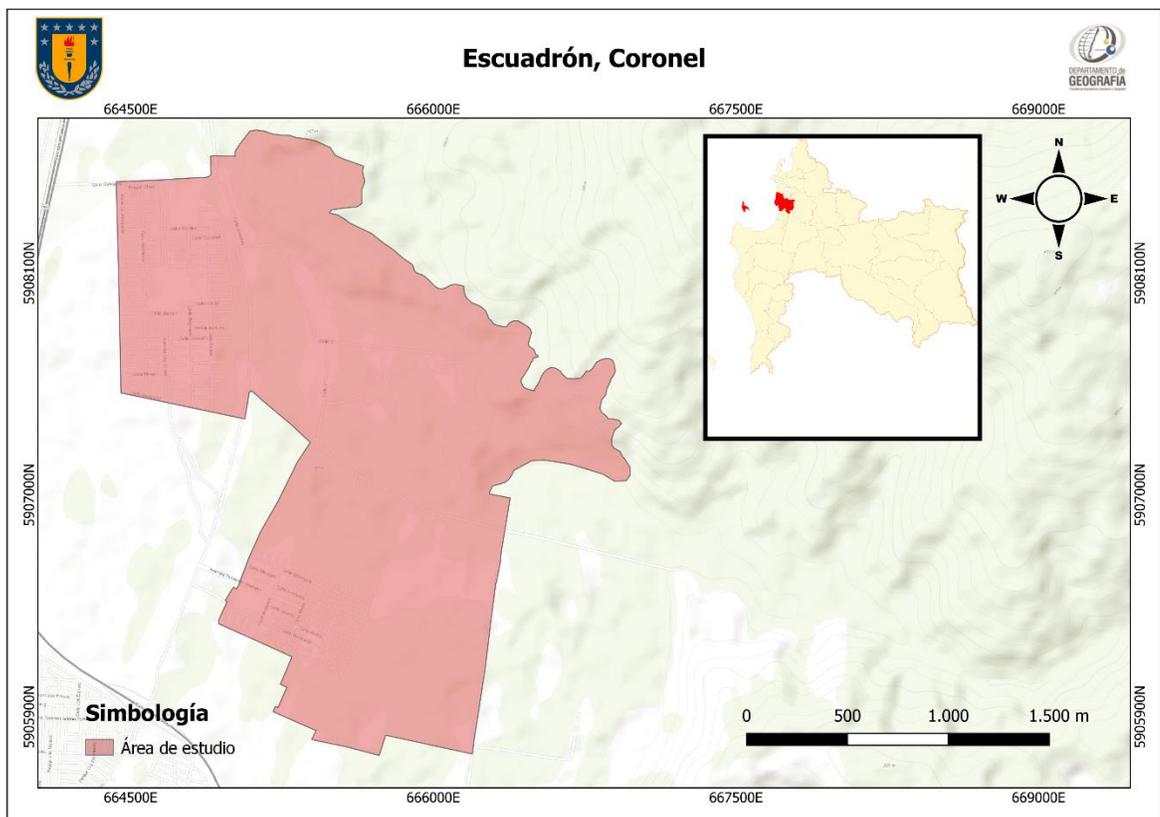
Es importante mencionar que el sector Escuadrón se encuentra cerca de plantaciones forestales y laderas propensas a remociones en masa. La Región del Biobío es reconocida por su importante industria forestal, y en los alrededores de Escuadrón se pueden encontrar extensiones de terreno dedicadas al cultivo de árboles, como el pino y el eucalipto, con fines comerciales.

Sin embargo, vivir cerca de plantaciones forestales y laderas propensas a remociones en masa conlleva ciertos riesgos. Las laderas empinadas pueden ser propensas a deslizamientos de tierra o avalanchas en épocas de lluvias intensas o sismos. Las plantaciones forestales suelen ser más propensas a incendios forestales debido a las políticas de las grandes empresas forestales de monocultivo y a la utilización de especies arbóreas que requieren grandes cantidades de agua para su crecimiento, lo que produce una acidificación y degradación del suelo.

Asimismo, es importante señalar que tanto la industria forestal como la construcción de vivienda, ambas incrementales año a año, compiten por los recursos disponibles, llámese suelo e infraestructura, lo que lleva a una transformación del medio y esto a su vez produce un factor de riesgo. A pesar de los riesgos asociados, las plantaciones

forestales también pueden contribuir al entorno natural y a la economía local. Por lo tanto, es fundamental que las autoridades y los residentes estén preparados y tomen las medidas de prevención y mitigación necesarias para garantizar la seguridad de la comunidad.

Figura 3.1. Área de estudio sector Escuadrón, comuna de Coronel.



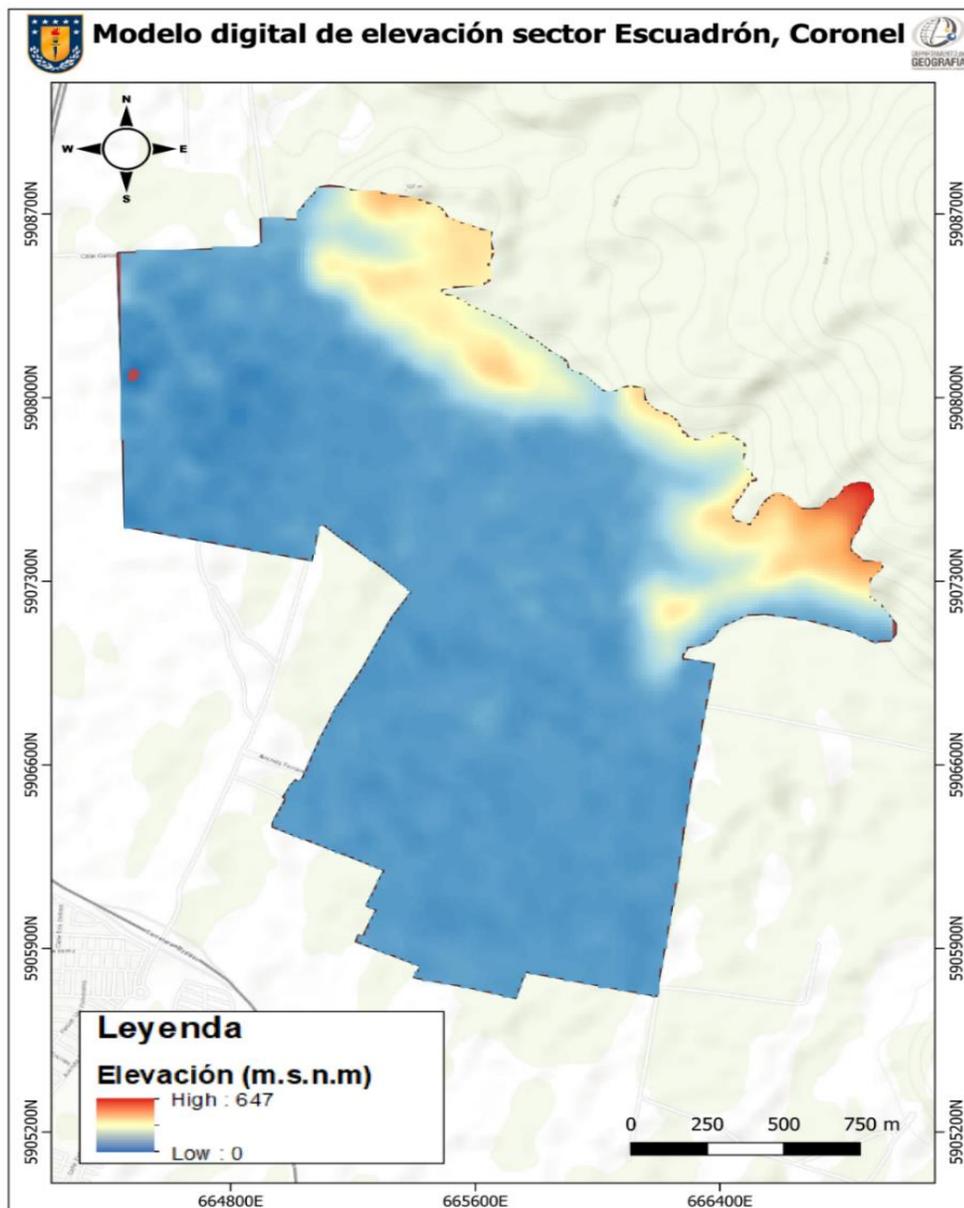
Fuente: Elaboración propia.

3.3. Caracterización Topográfica

3.3.1. Elevaciones

En el modelo de elevaciones para el área de estudio se observa que la mayor altitud se ubica a los 647 m.s.n.m. y la menor corresponde al nivel del mar. La mayor parte del área de estudio se encuentra al nivel del mar y zonas que no superan los 10 m.s.n.m. La mayor altitud se sitúa en los cerros aledaños, hacia el interior de la comuna, con alturas de entre 550 - 647 m.s.n.m.

Figura 3.2. Modelo digital de elevación (DEM) del área de estudio.

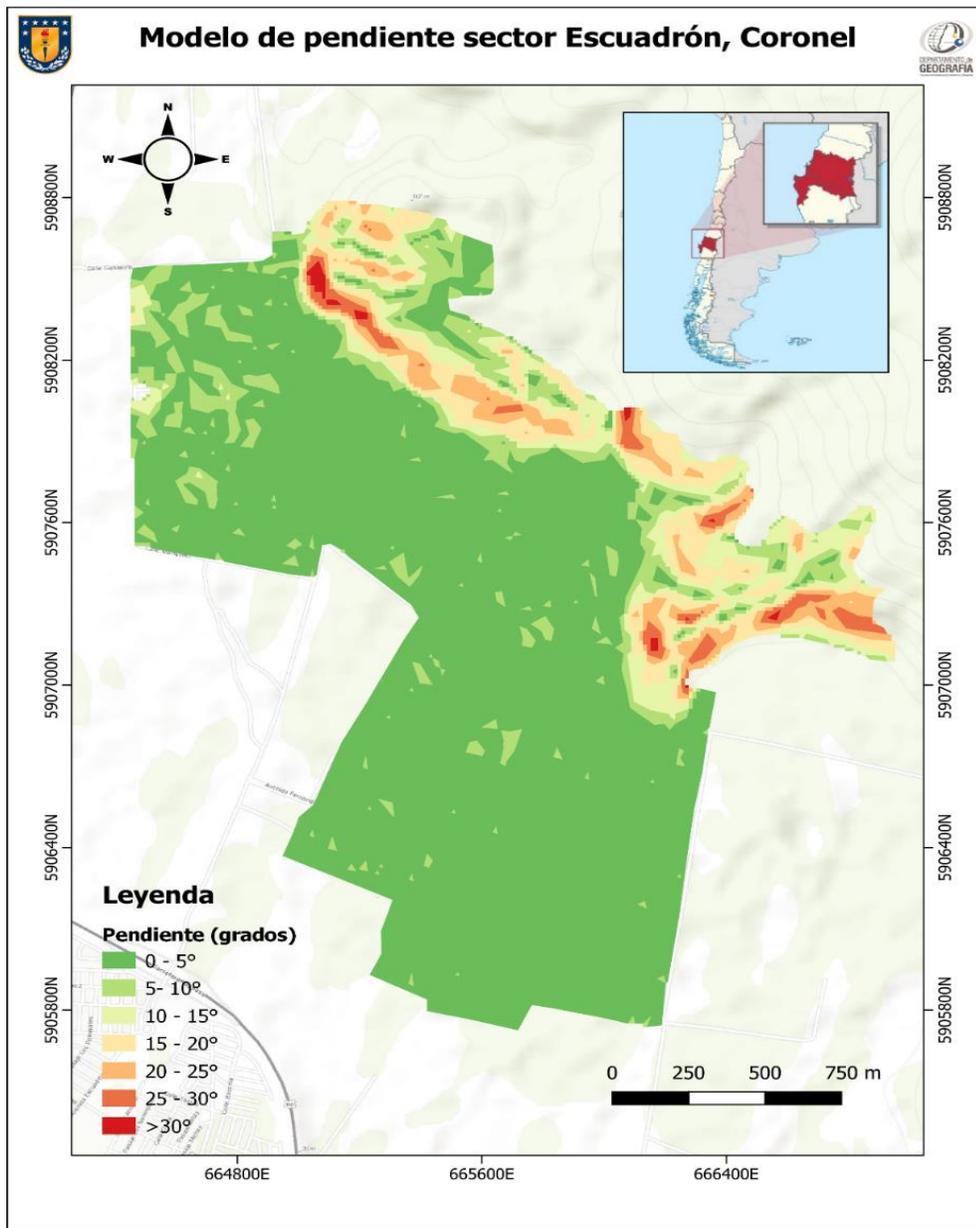


Fuente: Elaboración propia.

3.3.2. Pendientes

Con el propósito de analizar la distribución de pendientes (Figura 3.3), dada la variabilidad del terreno, se procedió a categorizar las pendientes en siete rangos: de 0 a 5 grados, de 5 a 10 grados, de 10 a 15 grados, de 15 a 20 grados, de 20 a 25 grados, de 25 a 30 grados y superior a 30 grados. En la zona de estudio, se registraron inclinaciones máximas de hasta 37 grados. En contraste, predominan en su mayoría las pendientes de 0 a 5 grados, por lo que la topografía del área de estudio es mayormente plana.

Figura 3.3. Mapa de pendientes del área de estudio.



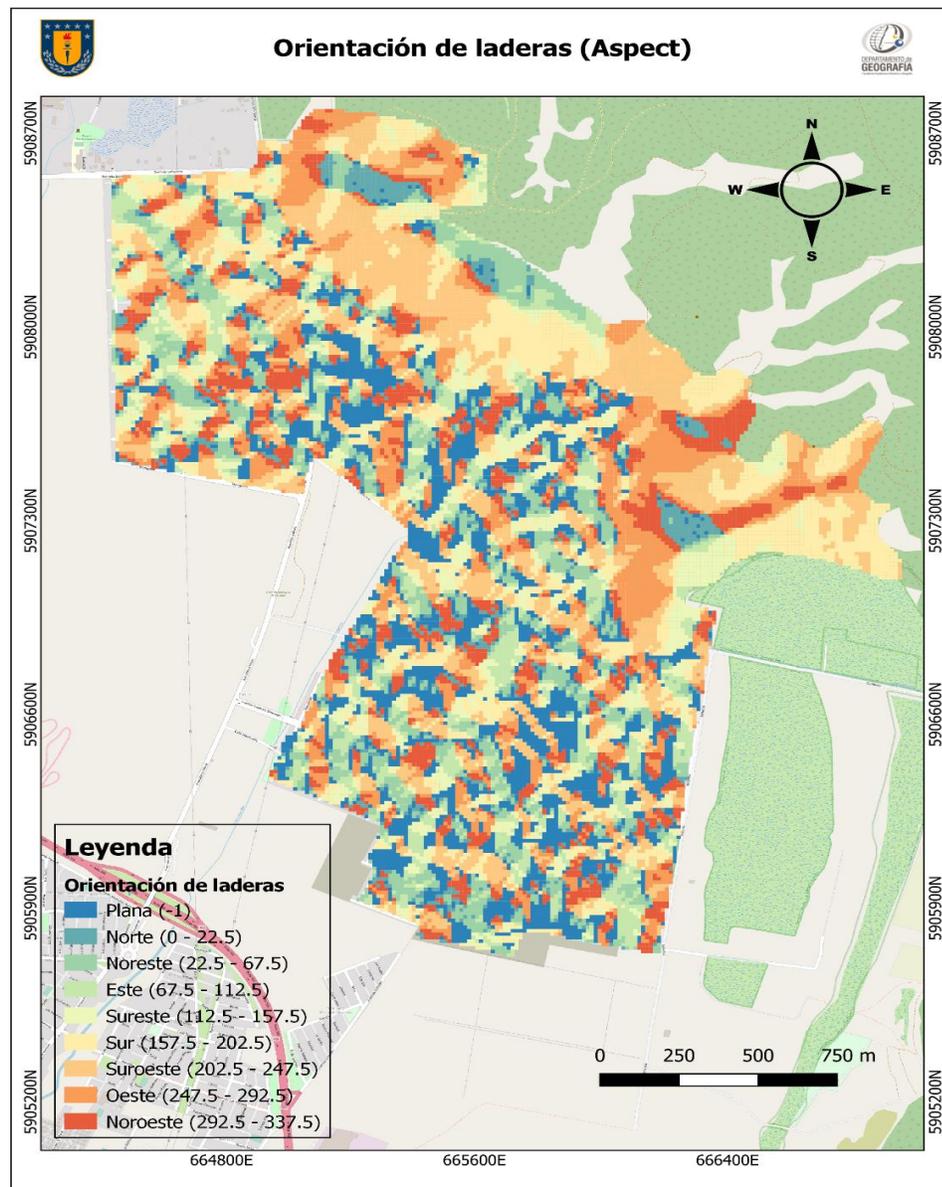
Fuente: Elaboración propia.

3.3.3. Orientación de laderas

La disposición topográfica de las pendientes ejerce un impacto significativo en la génesis de los deslizamientos al modular diversos parámetros geofísicos. Esta variable juega un papel determinante en la modulación de la dirección y el impacto de factores como las precipitaciones, la radiación solar incidente, la humedad del suelo, los efectos del viento y la aridez atmosférica.

En particular, las pendientes que se encuentran más expuestas a la radiación solar directa manifiestan un fenómeno conocido como evapotranspiración, que conlleva una disminución de la humedad en el sustrato del suelo. Este proceso, a su vez, influye de manera notable en la distribución y composición de la vegetación circundante. En la literatura existen investigaciones que revelan que las laderas orientadas al sol, conocidas como solanas, presentan más susceptibilidades a experimentar deslizamientos en comparación con las laderas de orientación opuesta, llamadas umbrías.

Figura 3.4. Modelo de orientación de laderas.



Fuente: Elaboración propia.

3.4. Cobertura vegetal Landsat 8

Las imágenes satelitales revelan un aumento notable, año tras año, en la actividad de la industria forestal y en el sector inmobiliario, que compiten cada vez más por los recursos disponibles en el área de estudio, especialmente en suelo e infraestructura. Entre 2013 y 2022, se observó un aumento significativo en la actividad de la industria forestal y un crecimiento sustancial en el desarrollo de viviendas, acompañado de una disminución en la extensión de bosques nativos y suelo descubierto.

El análisis de las imágenes satelitales ha permitido identificar entre cinco y siete tipos de cobertura de suelo, dependiendo del año en que se capturó la imagen. Estas clases incluyen suelo construido, suelo sellado, bosque nativo, plantaciones forestales, pastizales, y en algunos casos, áreas sin cobertura vegetal y zonas propensas a inundaciones. Es importante destacar la distinción entre suelo sellado y suelo construido. El suelo sellado se define como cualquier superficie que ha sido recubierta con materiales impermeables, como concreto, asfalto u otros revestimientos similares, impidiendo la absorción natural del agua en el suelo. Este sellado puede ocurrir sin la presencia de construcciones y tiene implicaciones significativas en los procesos hidrológicos y el ciclo del agua. Por otro lado, el suelo construido hace referencia a áreas del terreno que albergan edificaciones, ya sean residenciales, industriales u otras construcciones humanas. Este término incluye superficies urbanizadas con infraestructuras permanentes, lo que implica una transformación más completa y extensa del entorno en comparación con el suelo sellado. Esta diferenciación es esencial para comprender la dinámica específica de la transformación del espacio en el área estudiada.

El Bosque Nativo es un área extensa de terreno cubierta predominantemente por árboles y otras especies vegetales autóctonas que han evolucionado naturalmente en esa región a lo largo de un periodo de tiempo significativo. Estos bosques suelen albergar una rica biodiversidad, formando ecosistemas complejos y sustentando una variedad de flora y fauna endémicas. La gestión humana en los bosques nativos tiende a ser mínima, permitiendo que los procesos ecológicos naturales prevalezcan. Por el contrario, las plantaciones forestales son grandes extensiones de terreno donde se ha llevado a cabo una plantación planificada y manejada de árboles, generalmente de especies seleccionadas con propósitos comerciales, como la producción de madera o pulpa de papel. A diferencia de los bosques nativos, las plantaciones forestales son el resultado de intervenciones humanas deliberadas, con prácticas de silvicultura que buscan optimizar la producción de recursos forestales. Estas áreas tienden a ser más homogéneas en términos de especies y pueden no presentar la misma complejidad ecológica que los bosques nativos.

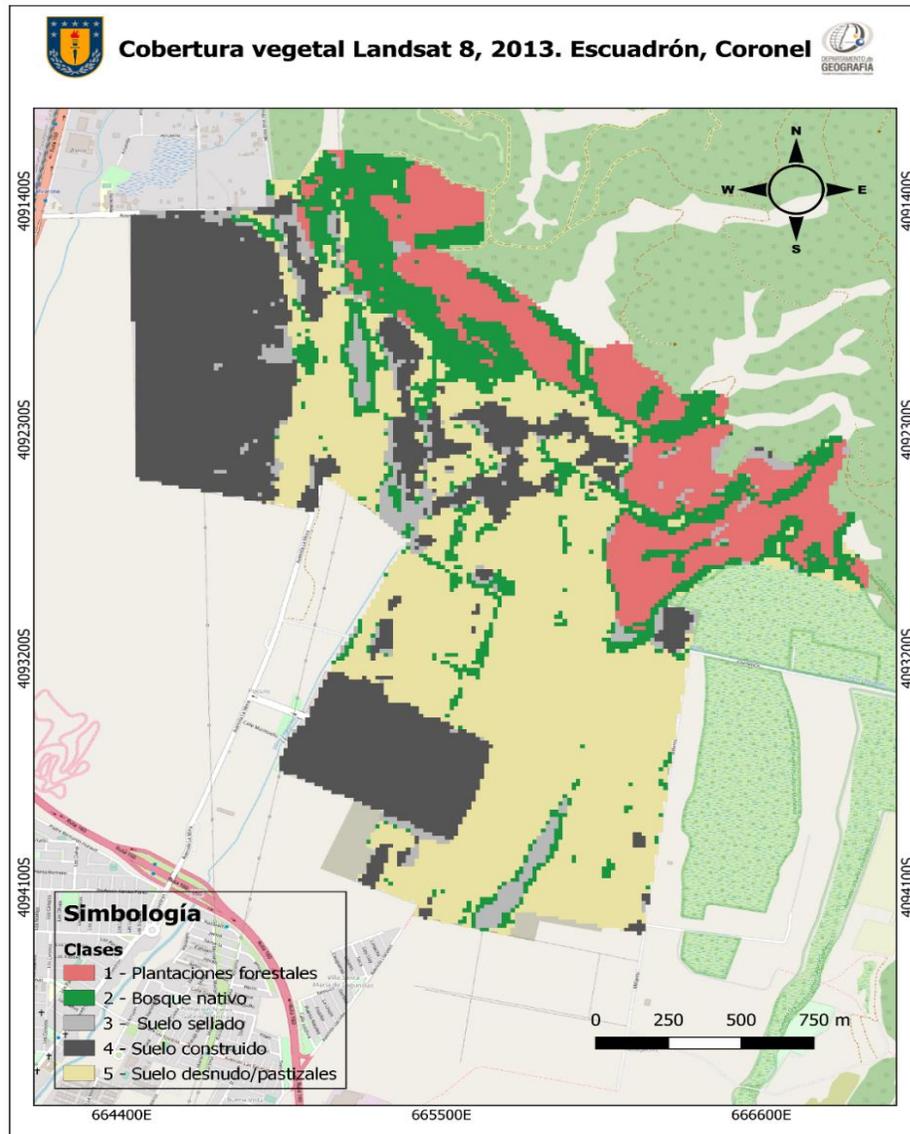
Pastizales se refiere a terrenos cubiertos mayormente por hierbas y gramíneas, destinados al pastoreo de animales o que se mantienen en un estado natural sin la presencia predominante de árboles y arbustos. En ciertas estaciones o condiciones climáticas, es posible que una parte significativa de los pastizales consista en hierba seca. Este estado de la hierba seca en los pastizales puede contribuir al riesgo asociado a incendio forestales, especialmente en áreas propensas a sequías o con estaciones secas pronunciadas. Por su lado, las áreas sin cobertura vegetal, como su nombre lo indica, son espacios desprovistos de vegetación, ya sea debido a factores naturales como suelos desnudos o a intervenciones antrópicas que han eliminado la cubierta vegetal original. Al carecer de la estabilización natural proporcionada por la vegetación,

estas áreas pueden generar riesgos adicionales, como la posibilidad de desencadenar procesos de remoción en masa, especialmente en terrenos con pendientes pronunciadas o sujetos a eventos climáticos extremos. Estos espacios vulnerables pueden experimentar erosión del suelo, aumentando la susceptibilidad a la ocurrencia de movimientos de tierra y deslizamientos, contribuyendo así a los riesgos de remoción en masa.

Finalmente, las zonas propensas a inundaciones corresponden a los terrenos susceptibles a inundaciones periódicas debido a su topografía, ubicación cercana a cuerpos de agua o a factores climáticos. Estas áreas presentan mayor riesgo de inundación durante eventos meteorológicos extremos o desbordamientos de ríos. Estas dos últimas categorías solo están presentes en las imágenes Landsat 8 tomadas durante el 2019.

3.4.1 Cobertura vegetal 2013

Figura 3.5. Cobertura vegetal del área de estudio, año 2013. Imagen Landsat 8.



Fuente: Elaboración propia.

3.4.2 Cobertura vegetal 2016

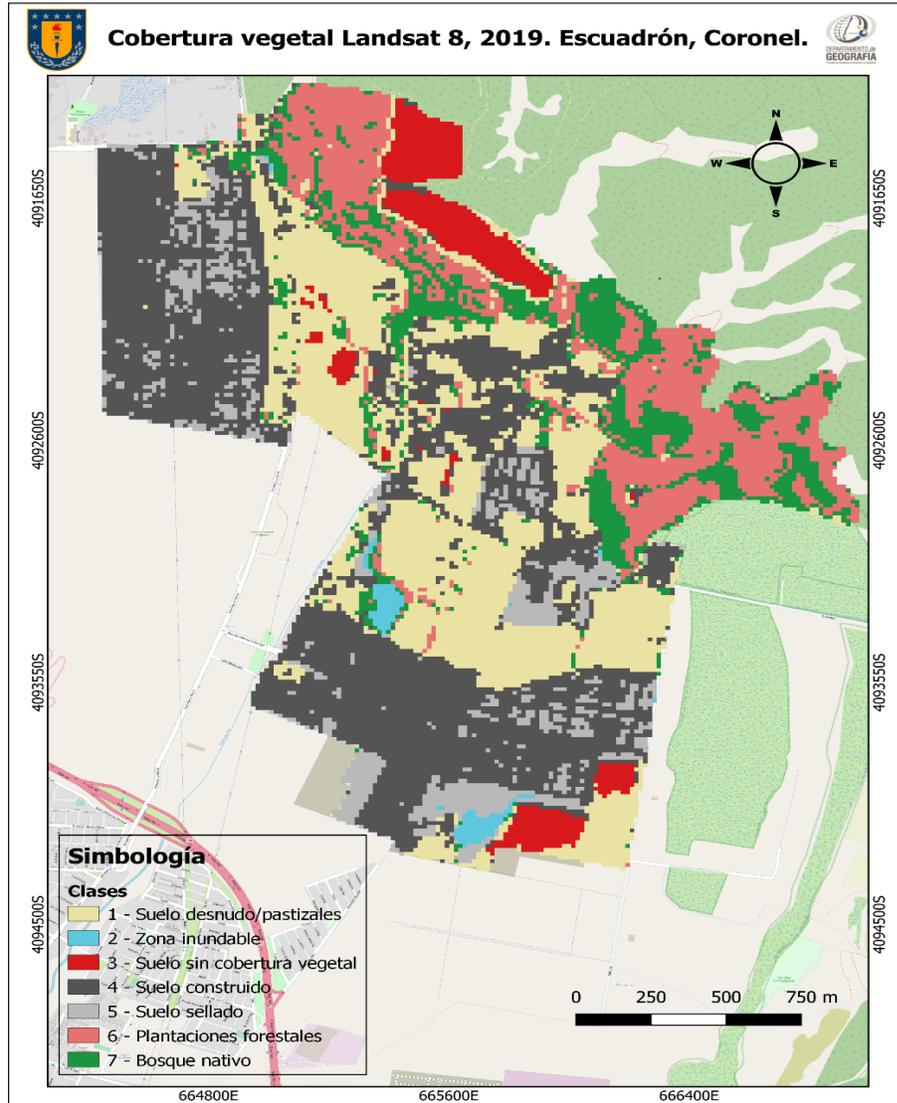
Figura 3.6. Cobertura vegetal del área de estudio, año 2016. Imagen Landsat 8.



Fuente: Elaboración propia.

3.4.3 Cobertura vegetal 2019

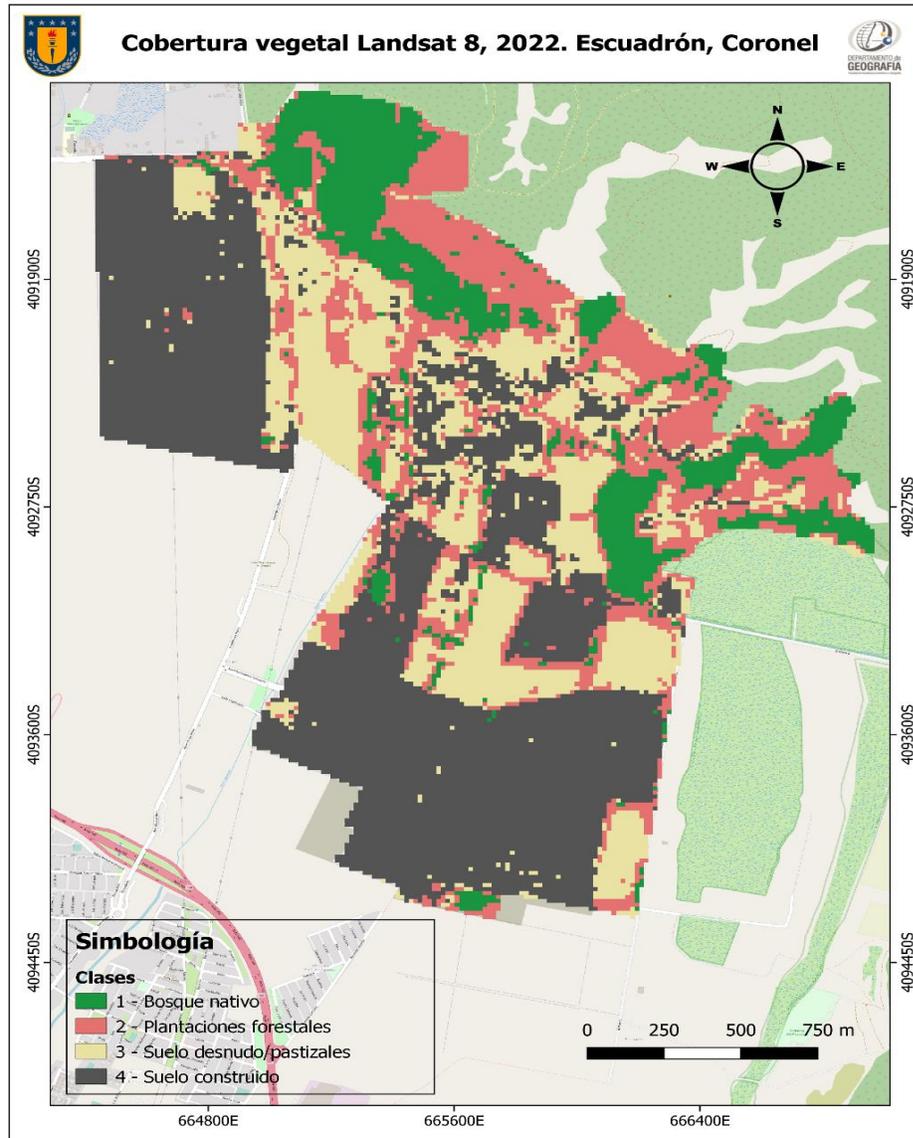
Figura 3.7. Cobertura vegetal del área de estudio, año 2019. Imagen Landsat 8.



Fuente: Elaboración propia.

3.4.4 Cobertura vegetal 2022

Figura 3.8. Cobertura vegetal del área de estudio, año 2022. Imagen Landsat 8.



Fuente: Elaboración propia.

3.5. Caracterización Climatológica

De acuerdo con las cifras de la Dirección Meteorológica de Chile, el promedio anual de precipitación histórica entre 1992 y 2007 se situó en 1.118,03 mm. En contraste, durante el período de 2008 a 2022, este promedio disminuyó a 791,94 mm. Esto refleja una disminución en la cantidad anual de lluvia en milímetros.

Los datos de precipitación anual histórica fueron obtenidos de las mediciones realizadas en la estación Carriel Sur, durante el período comprendido entre 1992 y 2022 (Ver Tabla 3.1; 3.2 y Figura 3.7.). Estos datos revelan un máximo de 1.535 mm de precipitación en el año 1997, así como un mínimo de 559,2 mm de agua caída en 2021. Es importante señalar que la estación meteorológica Carriel Sur se encuentra en el aeropuerto Carriel Sur en la comuna de Talcahuano, por lo que se encuentra distante de la zona de estudio, lo que podría ocasionar pequeñas variaciones en estos valores con respecto a las precipitaciones reales en la comuna de Coronel.

Tabla 3.1. Precipitación histórica anual en mm de la ciudad de Concepción periodo años 1992-2007. Datos estación meteorológica Carriel Sur.

Año	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007
Total anual	1454.9	1146.2	844.3	952.9	630.8	1565	598.6	1091.2	1406.4	1358.6	1363.2	871.7	1126.9	1382.9	1315.5	779.4

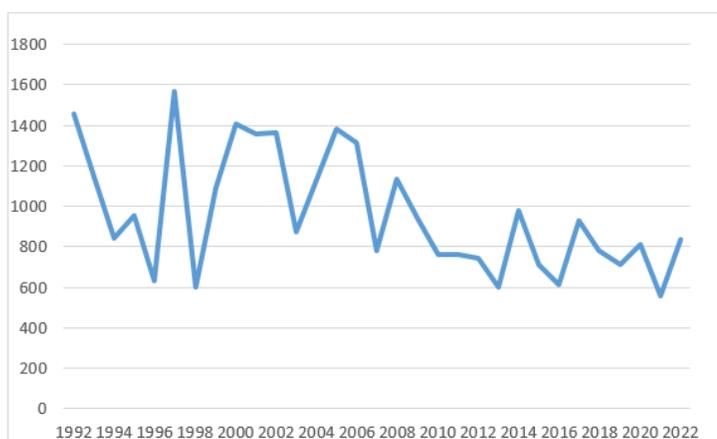
Fuente: Dirección Meteorológica de Chile.

Tabla 3.2. Precipitación histórica anual en mm de la ciudad de Concepción periodo años 2008-2022. Datos estación meteorológica Carriel Sur.

Año	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
Total anual	1137	935.2	760.2	762.4	742.4	599.8	980.8	715.4	616	929.8	781.3	715.6	808.8	559.2	835.2

Fuente: Dirección Meteorológica de Chile.

Figura 3.9. Precipitación histórica anual en mm de la ciudad de Concepción, en un periodo de 30 años.



Fuente: Elaboración propia con datos de la Dirección Meteorológica de Chile.

Las mediciones de temperaturas medias anuales de la Estación Carriel Sur de Concepción entre 1992 y 2022, observadas en las Tablas 3.3 y 3.4, indican que la

temperatura más baja fue de 11,9°C en 2007, mientras que la más alta se registró en 13,6°C, tanto en 1997 como en 2016.

Tabla 3.3. Temperatura media (°C) de la ciudad de Concepción periodo años 1992-2007. Datos estación meteorológica Carriel Sur.

Año	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007
Temperatura media	12.8	13.1	13.1	12.8	13.2	13.6	13.0	13.0	12.7	12.5	12.2	12.9	13.0	12.8	13.0	11.9

Fuente: Dirección Meteorológica de Chile.

Tabla 3.4. Temperatura media (°C) de la ciudad de Concepción periodo años 2008-2022. Datos estación meteorológica Carriel Sur.

Año	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
Temperatura media	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	13.0	13.0

Fuente: Dirección meteorológica de Chile.

3.6. Caracterización Socio – Económica

Según los datos del Censo de Población y Vivienda de 2017, la población de Coronel se estimaba en aproximadamente 116.262 habitantes. Durante el período comprendido entre los Censos de 2002 y 2017, se observó un incremento sustancial en la población de Coronel. En 2002, la población se cifraba en alrededor de 79,582 habitantes, lo que implica un aumento de más de 20.000 residentes en un lapso de 15 años. De acuerdo con las Proyecciones de Población 2020, elaboradas por el Instituto Nacional de Estadísticas (INE), se anticipa que la población de esta comuna alcance aproximadamente los 125.829 habitantes, lo que representa una variación del 8.23% en comparación con los datos del censo de 2002.

La población de Coronel muestra una marcada diversidad socioeconómica. Existen estratos con ingresos más elevados que se dedican a actividades económicas tales como la generación de energía y el turismo. No obstante, también coexisten comunidades con ingresos más modestos que dependen de sectores como la pesca y la agricultura. El acceso a servicios de salud, educación y vivienda varía en consonancia con estos estratos socioeconómicos.

En cuanto a la pobreza, de acuerdo con los datos obtenidos de la encuesta CASEN 2017 y del Registro Social de Hogares, la tasa de pobreza por ingresos, que abarca a las personas cuyos ingresos no alcanzan para satisfacer sus necesidades básicas y alimentarias en caso de pobreza extrema, se situó en un 11.36%. Por otro lado, la tasa de pobreza multidimensional, que refleja carencias en áreas como salud, educación y nivel de vida, alcanzó un 14.55% (encuesta CASEN 2017, Ministerio de Desarrollo Social).

La estructura económica de Coronel ha experimentado cambios significativos a lo largo del tiempo. Aunque la minería del carbón era la principal fuente de empleo en la comuna, la economía local se ha diversificado. Sectores como la pesca, la industria forestal y la generación de energía desempeñan un papel fundamental en la economía de la región.

El sector Escuadrón, predominantemente constituido por viviendas subsidiadas, se localiza en la periferia de la ciudad, compartiendo características comunes con otros suburbios urbanos. La fragilidad inherente a este tipo de zonas urbanas se manifiesta de manera particular, requiriendo una comprensión detallada de los motivos que subyacen a esta vulnerabilidad, especialmente en el contexto de la creciente competencia por recursos y la dinámica incremental tanto de la vivienda subsidiada como de la industria forestal.

La ubicación periférica del suburbio es un factor determinante en su fragilidad, evidenciado por la precariedad de su infraestructura pública, con poca cobertura de transporte público, deficiencias en caminos adecuados, escuelas, centros de salud primaria, entre otros. Esta carencia impacta directamente en la capacidad de respuesta de la comunidad ante riesgos naturales, dificultando tanto la evacuación como el acceso a servicios esenciales durante eventos adversos. A su vez, el suburbio, representado aquí por el sector Escuadrón, enfrenta una competencia creciente por recursos con industrias locales, particularmente la industria forestal. Ambas, tanto la vivienda subsidiada como la industria forestal exhiben un carácter incremental, construyendo más viviendas y expandiendo extensiones forestales año tras año. Esta competencia por el espacio genera una transformación continua en el entorno, creando condiciones propicias para la generación de riesgos, especialmente cuando se considera la

interacción con amenazas naturales como remociones en masa e incendios forestales. Esta competencia, que abarca desde el suelo disponible hasta la infraestructura, añade presión a la capacidad de resistencia del suburbio, exacerbando su fragilidad frente a estos eventos naturales.

La vulnerabilidad de las viviendas subsidiadas en el sector Escuadrón no se vincula directamente a la precariedad de sus materiales de construcción. Más bien, encuentra su origen en la interacción compleja entre la limitada infraestructura, la competencia incremental por recursos y la exposición a amenazas naturales. En este contexto, la gestión del riesgo se ve desafiada por condiciones que van más allá de la estructura de las viviendas, abarcando la capacidad de la comunidad para enfrentar y recuperarse de eventos adversos en un entorno que experimenta transformaciones continuas.

La fragilidad del suburbio, específicamente del sector Escuadrón, no puede considerarse un caso aislado, sino más bien una situación persistente consecuencia de una mala planificación. La falta de inversión en infraestructura pública, el precario acceso a servicios, deficientes vías de evacuación y acceso y la competencia continua e incremental por los recursos disponibles mantienen la fragilidad como un elemento constante en la dinámica del suburbio.

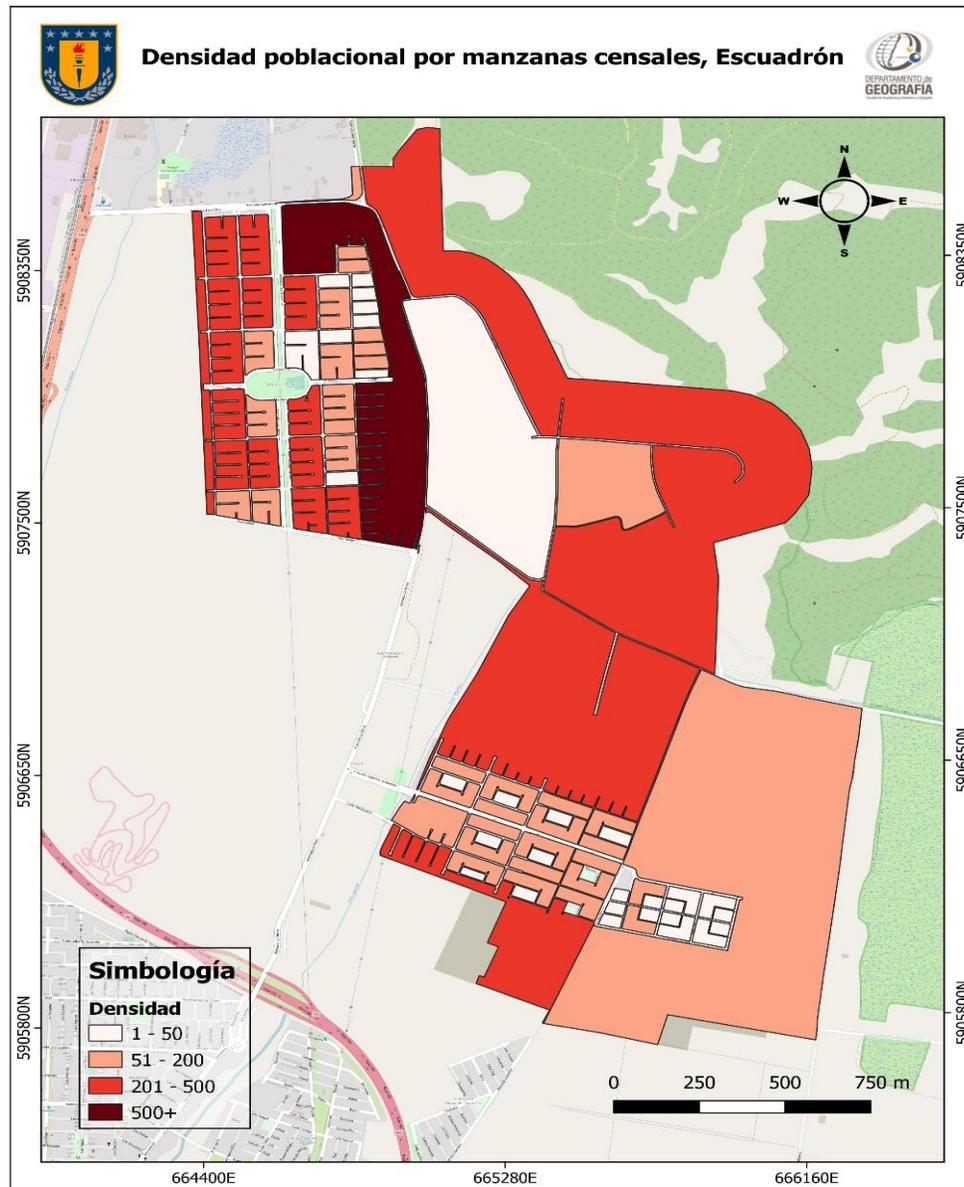
En resumen, la fragilidad del sector Escuadrón, se manifiesta en su infraestructura limitada y la competencia incremental por recursos, produciendo una transformación del medio generando condiciones propicias para el riesgo. Esta fragilidad, lejos de ser un caso aislado, es una condición constante que requiere una gestión integral del riesgo para mejorar la resiliencia de la comunidad y sus viviendas subsidiadas, en un contexto de expansión progresiva tanto de la vivienda como de la industria forestal.

3.6.1. Densidad poblacional

La densidad poblacional del área de estudio se encuentra meticulosamente representada en la Figura 3.10. Con el propósito de simplificar el análisis, el presente mapa se ha categorizado en cuatro clases distintivas: 1-50, 51-200, 201-500 y más de 501 personas.

El rango de 1 a 50 denota la menor presencia en el mapa, señalando así las áreas con la densidad poblacional más reducida dentro del sector Escuadrón. Contrariamente, el intervalo entre 201 y 500 personas destaca como las áreas más recurrentes en el sector, sugiriendo que una considerable proporción de la población del área de estudio reside en estas zonas específicas. En última instancia, el rango de más de 500 personas representa las áreas donde se concentra una densidad poblacional significativamente mayor. No obstante, es crucial señalar que estas áreas específicas, aunque densamente pobladas, no representan el área mayoritaria de Escuadrón.

Figura 3.10. Densidad de población.



Fuente: Elaboración propia.

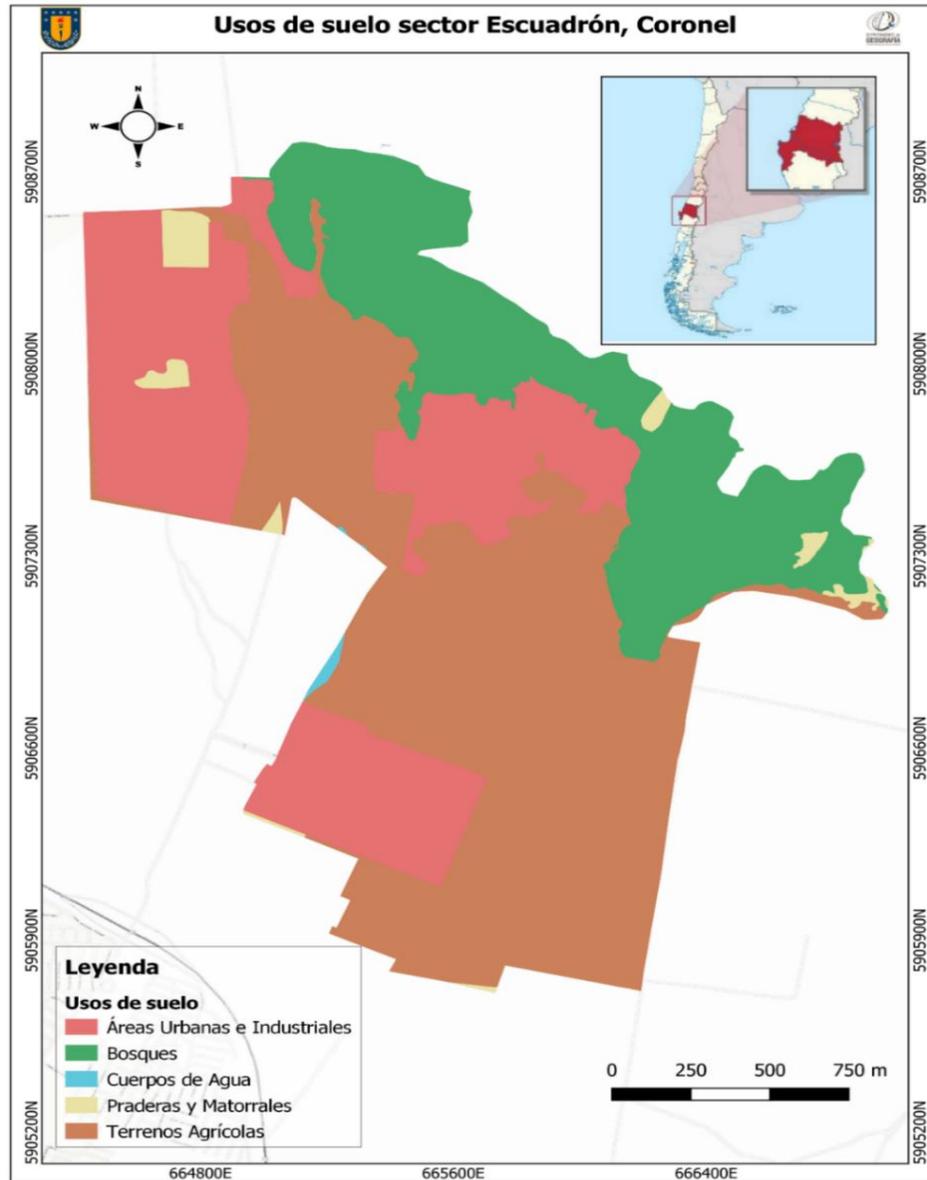
3.6.2. Usos de suelo

En el área de estudio, se han identificado cinco distintas clasificaciones de uso del suelo.

El análisis del uso del suelo proporciona una valiosa visión acerca de la presencia o

ausencia de urbanización, la naturaleza de la vegetación en zonas no urbanizadas, así como las actividades agrícolas y forestales, y la omisión de vegetación. Cada categoría de uso ejerce una influencia precisa sobre la topografía en la que se asienta, con efectos específicos en factores como la capacidad de infiltración del agua en el suelo, la presencia de cobertura vegetal, el pH del suelo, entre otros.

Figura 3.11. Usos de suelo del área de estudio.



Fuente: Elaboración propia.

4. TÉCNICAS Y MÉTODOS

4.1. Matriz de evaluación de amenaza

Se propone la adopción de la matriz de riesgo de derrumbes, la cual se encuentra detallada en la Tabla 4.1 y fue desarrollada por Mardones et al. (2001), como un instrumento metodológico de relevancia. Esta matriz de evaluación de peligros se empleará con el propósito de analizar tanto los procesos de remoción en masa como los incendios forestales. Las variables condicionantes se someterán a una valoración en una escala que abarca desde 1, que denota una amenaza de carácter bajo, hasta 3, que refleja una amenaza de carácter alto, pasando por 2 que indica una amenaza intermedia.

Tabla 4.1. Matriz de evaluación riesgo de derrumbe (peligrosidad).

Evaluación/factores de riesgo	1	2	3
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 et al. (2001).

Con base en la metodología previamente expuesta, se llevará a cabo la implementación, sujeta a la disponibilidad de datos y considerando ajustes en las variables condicionantes, como se detalla en las Tablas 4.2 y 4.3. Para el análisis de procesos de remoción en masa, se emplearán tres variables: la pendiente en grados permanecerá sin cambios, la orientación de laderas reemplazará la geomorfología, y los usos del suelo

sustituirán a la cobertura vegetal. En el caso de los incendios forestales, se utilizará la variable de tipo de cobertura vegetal, y las precipitaciones en milímetros reemplazarán a la variable de pendientes. La variable de orientación de laderas, al igual que en el caso anterior, reemplazará a la geomorfología. La variable geológica se excluye en ambos casos debido a que, en su mayoría, el área de estudio presenta un material litológico homogéneo. Este enfoque permitirá la generación de una zonificación de amenazas mediante la consideración de factores condicionantes y la asignación de pesos relativos.

Tabla 4.2. Matriz de evaluación de amenaza de remociones en masa, basado en el trabajo de Mardones et al. (2001).

Variab les	1	2	3
Pendientes	< 10°	10 – 20°	>20°
Usos de suelo	Cuerpos de agua, bosque nativo, bosque mixto, humedales y áreas agrícolas.	Áreas urbanas y plantaciones forestales.	Matorrales, praderas y zonas sin vegetación.
Orientación de laderas	Plana, Sur, Sureste y Suroeste.	Este y Oeste.	Norte, Noreste y Noroeste.

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4.3. Matriz de evaluación de susceptibilidad de incendios forestales, basado en el trabajo de Mardones et al. (2001).

Variab les	1	2	3
Orientación de laderas	Plana, Sur, Sureste y Suroeste.	Este y Oeste.	Norte, Noreste y Noroeste.

Tipo de cobertura vegetal	Bosque nativo.	Pastizales y Suelo construido.	Plantaciones forestales.
------------------------------	----------------	-----------------------------------	-----------------------------

Fuente: Elaboración propia.

4.2. Evaluación de vulnerabilidad

La metodología empleada se fundamenta en la modelización del riesgo asociado a los incendios forestales y las remociones en masa utilizando un Sistema de Información Geográfica (SIG). Se determina la vulnerabilidad a través de un análisis de superposición de múltiples capas de información geográfica. Para generar el mapa de amenaza correspondiente a las remociones en masa e incendios forestales en el área de estudio, se utilizan los datos cartográficos específicos generados durante esta investigación. Para confeccionar el mapa de vulnerabilidad, se recurre a la unidad de manzanas censales del año 2017 proporcionada por el Instituto Nacional de Estadísticas (INE), en formato vectorial, junto con la base de datos asociada al censo de población y vivienda realizado por el INE en el mismo año.

La identificación de las áreas de mayor vulnerabilidad ante el riesgo de remociones en masa e incendios forestales en el área de estudio se logra mediante procesos geospaciales de superposición de capas de información, para clasificar a la población que está particularmente expuesta a estos fenómenos.

5. PLAN DE TRABAJO

Actividades		Meses																				
		OCT			NOV			DIC			ENE			FEB								
Investigación y recopilación de datos	Digitalización de la información																					
	Revisión de fotografías áreas e imágenes satelitales																					
	Trabajo de campo																					
Evaluación de amenaza	Trabajo de gabinete																					
	Aplicación de modelo de susceptibilidad de Mardones et al. (2001)																					
Validación modelo de amenaza	Análisis de resultados																					
Evaluación de vulnerabilidad	Trabajo de gabinete																					
	Aplicación modelo de vulnerabilidad																					
Validación modelo de vulnerabilidad	Análisis de resultados																					
Trabajo en SIG	Realización de cartografía mapa de amenaza por remociones en masa																					
	Realización de cartografía mapa de vulnerabilidad por remociones en masa																					
	Realización de cartografía mapa de																					

6. RESULTADOS

6.1. Evaluación de amenaza de incendios forestales y remociones en masa.

6.1.1. Reclasificación de variables

En este capítulo, se detallan las variables condicionantes que han sido consideradas en la presente evaluación de amenazas relacionadas con remociones en masa e incendios forestales en la zona de Escuadrón, ubicado en la comuna de Coronel. Se examina la influencia que estas variables ejercen en la generación de tales eventos catastróficos, y se procede a la reclasificación de cada variable en tres categorías distintas, reflejando la amenaza relativa de la variable en términos de desprendimientos de material y la susceptibilidad a incendios forestales. Se asigna el valor 1 a las zonas con una baja amenaza, el valor 2 a las zonas con amenaza intermedia y el valor 3 a las áreas con una alta amenaza.

Consecutivamente, se procede a asignar ponderaciones a cada una de estas variables condicionantes, las cuales son luego integradas utilizando la herramienta de calculadora de atributos disponible en el software QGIS 3.28 "Firenze". El producto final es la generación de mapas que reflejan la amenaza de incendios forestales y remociones en masa en el área en cuestión. Los datos empleados para la construcción de las capas que representan cada variable se obtienen mediante procesamiento de datos del Modelo Digital del Terreno (DEM), análisis de imágenes satelitales Landsat 8 y revisión de la literatura especializada (tabla 6.1).

Tabla 6.1. Datos utilizados en mapa de Amenaza.

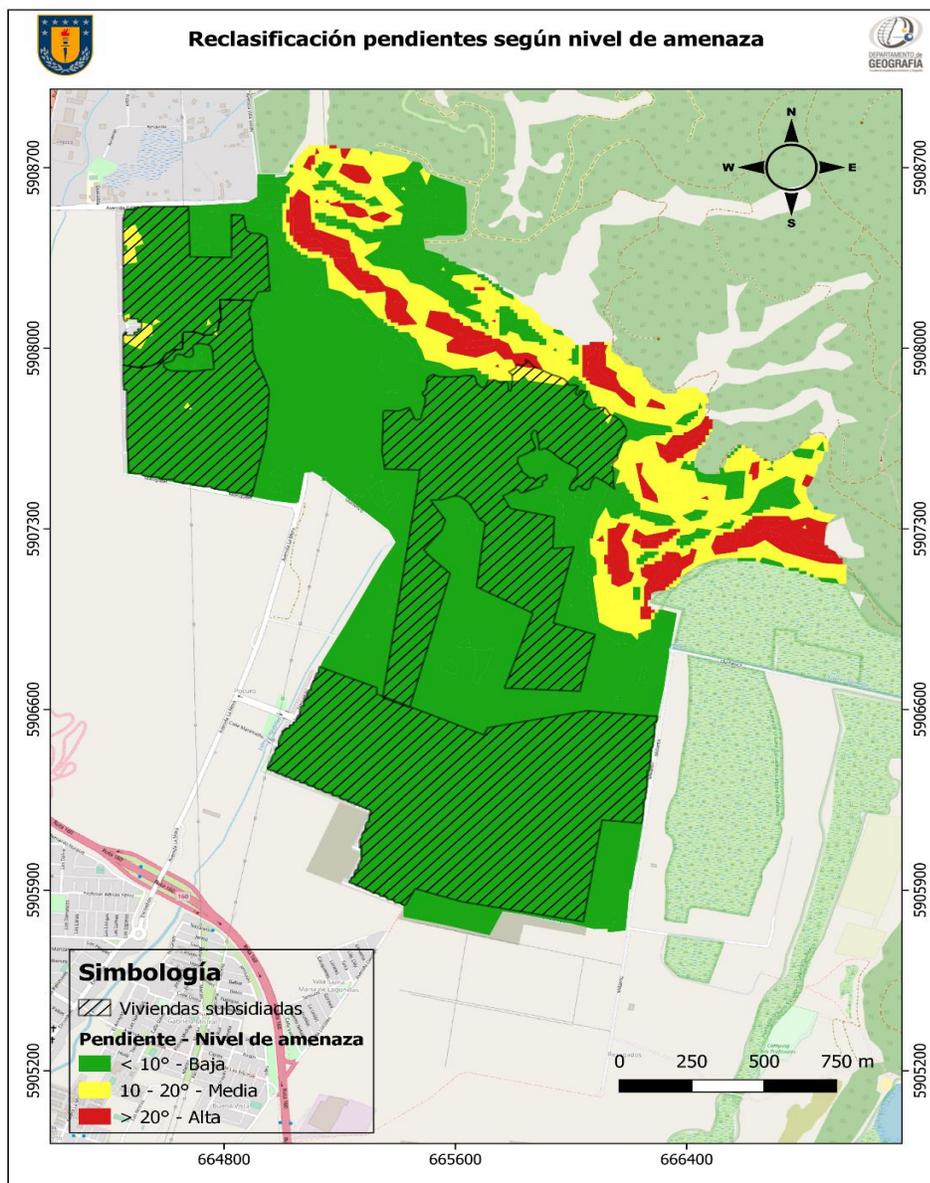
Variable	Fuente	Unidad
Pendientes	Geoprocesamiento DEM	Píxel
Orientación de laderas		
Usos de suelo	Bibliografía	Píxel
Cobertura vegetal	Landsat 8	Píxel

Fuente: Elaboración propia.

6.1.1.1. Pendientes

La distribución y los niveles de pendiente en la zona de estudio se analizaron en la sección 3.3.2 y se representan en la figura 3.2. La distribución de pendientes se reorganizó (ver Figura 6.1) según su capacidad para desencadenar movimientos gravitacionales, asociada a una mayor tensión en los materiales en pendientes pronunciadas. Las pendientes inferiores a 10° se clasifican como suaves, indicando una baja amenaza de riesgo de remociones en masa; las pendientes entre 10° y 20° se consideran moderadas, con una amenaza intermedia, mientras que aquellas superiores a 20° se califican como abruptas, representando una alta amenaza.

Figura 6.1. Reclasificación pendiente – Amenaza.



Fuente: Elaboración propia.

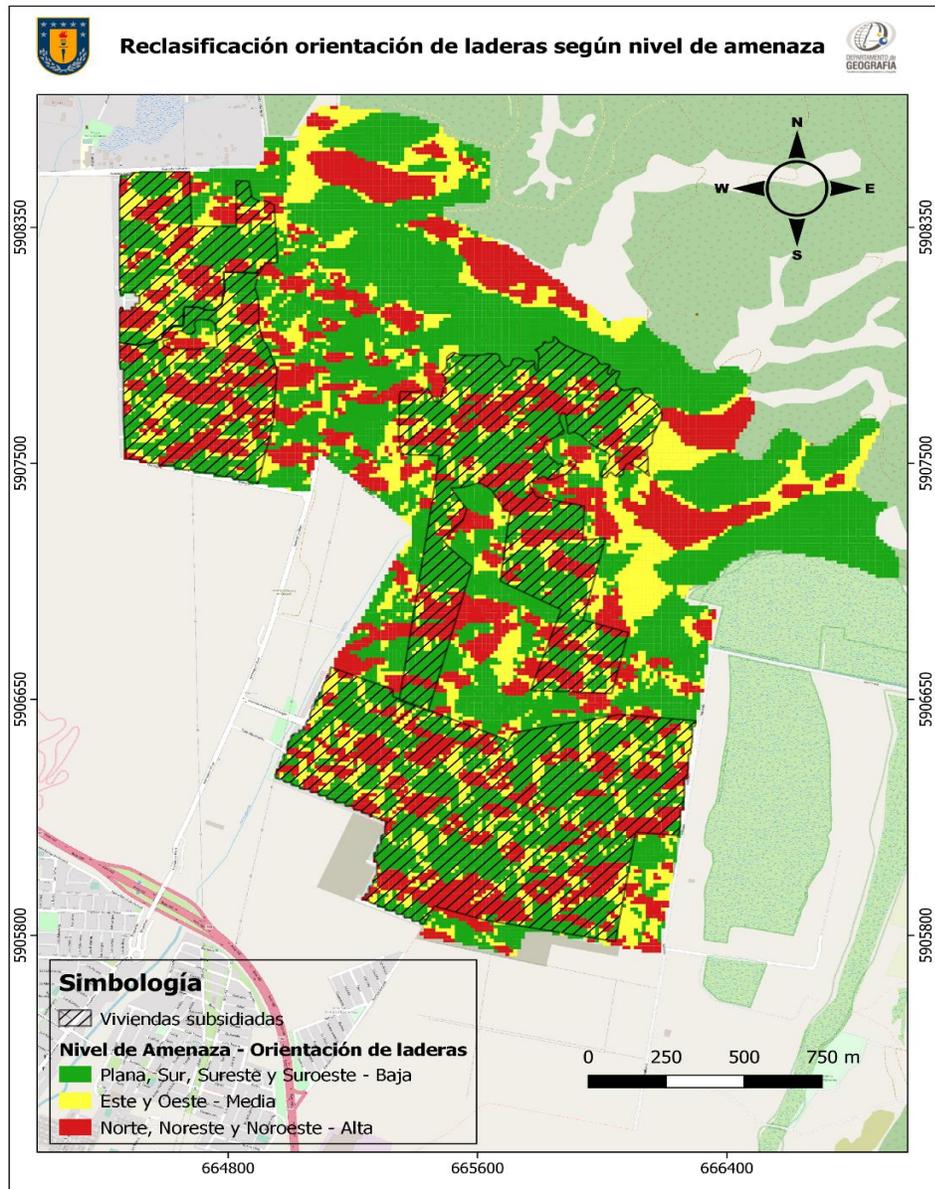
6.1.1.2. Orientación de laderas

La distribución y orientación de las laderas en el área de estudio se analizaron en el apartado 3.3.3. y se representan en la Figura 3.4. Como se ilustra en la Figura 6.2, se constata que una gran parte del área de análisis exhibe regiones caracterizadas por orientaciones Plana, Sur, Sureste y Suroeste. Estas orientaciones geográficas conllevan a la presencia de umbrías notables durante las horas diurnas, lo que resulta en una disminución apreciable de la exposición a la radiación solar y, como consecuencia directa, propicia un incremento en la presencia de vegetación, un aumento de la humedad del suelo y una reducción de la erosión superficial.

En contraste, las áreas con orientación Norte, Noreste y Noroeste se caracterizan por presentar las áreas con mayor solana, lo que se traduce en laderas con mayor susceptibilidad a la erosión superficial, una menor humedad del suelo y una disminución de la cobertura vegetal. En este contexto, se atribuye un alto grado de amenaza a las laderas que se encuentran orientadas hacia el Norte, Noreste y Noroeste.

Por otro lado, las pendientes orientadas hacia el Este y el Oeste se ubican en un nivel intermedio en términos de amenaza, y finalmente, las laderas con orientación al Sur, Sureste, Suroeste y topografía completamente Plana se consideran de un nivel de amenaza bajo debido a su menor exposición a la radiación solar y una mayor humedad del suelo, lo que se traduce en una menor exposición a la erosión y un menor riesgo de incendios.

Figura 6.2. Reclasificación orientación de laderas – Amenaza.

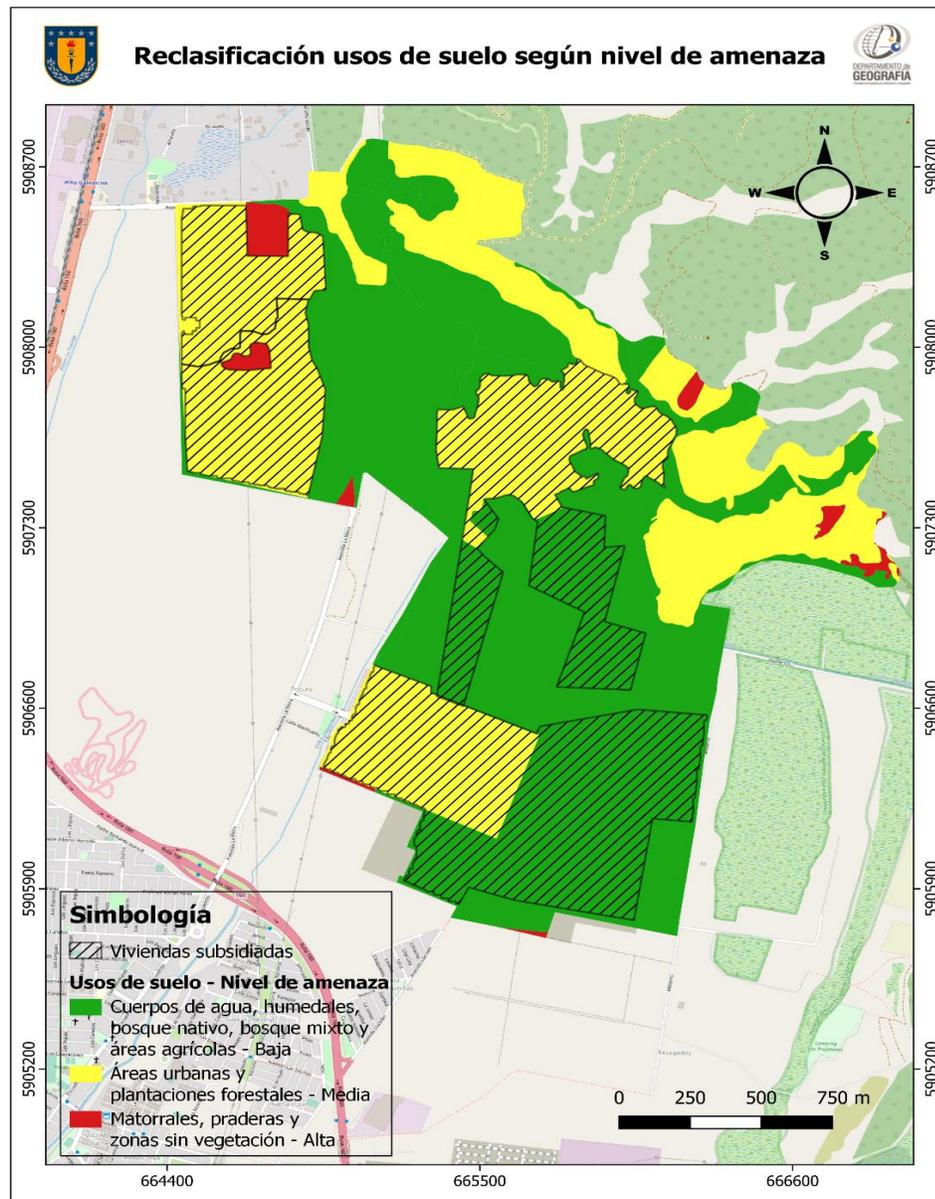


Fuente: Elaboración propia.

6.1.1.3 Usos de suelo

La distribución y categorías de los usos de suelo presentes en la zona de estudio se analizaron en la sección 3.7.1 y se representan en la Figura 3.10. A las cinco categorías de uso del suelo se les realizó una reclasificación (Figura 6.3). Se identificó una amenaza elevada en los suelos de matorrales, praderas y áreas sin vegetación, debido a la escasa cobertura vegetal presente en estas zonas. Esta carencia incide negativamente en la capacidad de absorción de agua de lluvia, resultando en una rápida saturación del terreno, siendo estas zonas propensas a deslizamientos. Por otro lado, se asignó un nivel de amenaza moderado a los suelos destinados a uso urbano y forestal. En las zonas urbanas, la intensa intervención en el terreno genera inestabilidad en los taludes, mientras que las plantaciones forestales, con el transcurso del tiempo, propician la erosión y la degradación de la calidad del suelo, factores que propician la ocurrencia de procesos de remoción en masa. Por último, se asignó una amenaza baja a los suelos correspondientes a bosques nativos, bosque mixto, áreas agrícolas y cuerpos de agua. Esto se debe al nivel adecuado de vegetación presente o a la implementación de técnicas de conservación del suelo.

Figura 6.3. Reclasificación usos de suelo – Amenaza.



Fuente: Elaboración propia.

6.1.1.4 Cobertura vegetal

La evaluación de la distribución, evolución y tipos de cobertura vegetal en el sector Escuadrón fue examinada en el apartado 3.5 y sus secciones 3.5.1, 3.5.2, 3.5.3 y 3.5.4, y se presenta gráficamente en las Figuras 3.5, 3.6, 3.7 y 3.8. Para la simplificación de este análisis, se empleó la imagen satelital Landsat 8 correspondiente al año 2022 para evaluar el nivel de amenaza. Esta elección se fundamenta en su proximidad temporal, lo que permite una representación más precisa del estado actual del área de estudio.

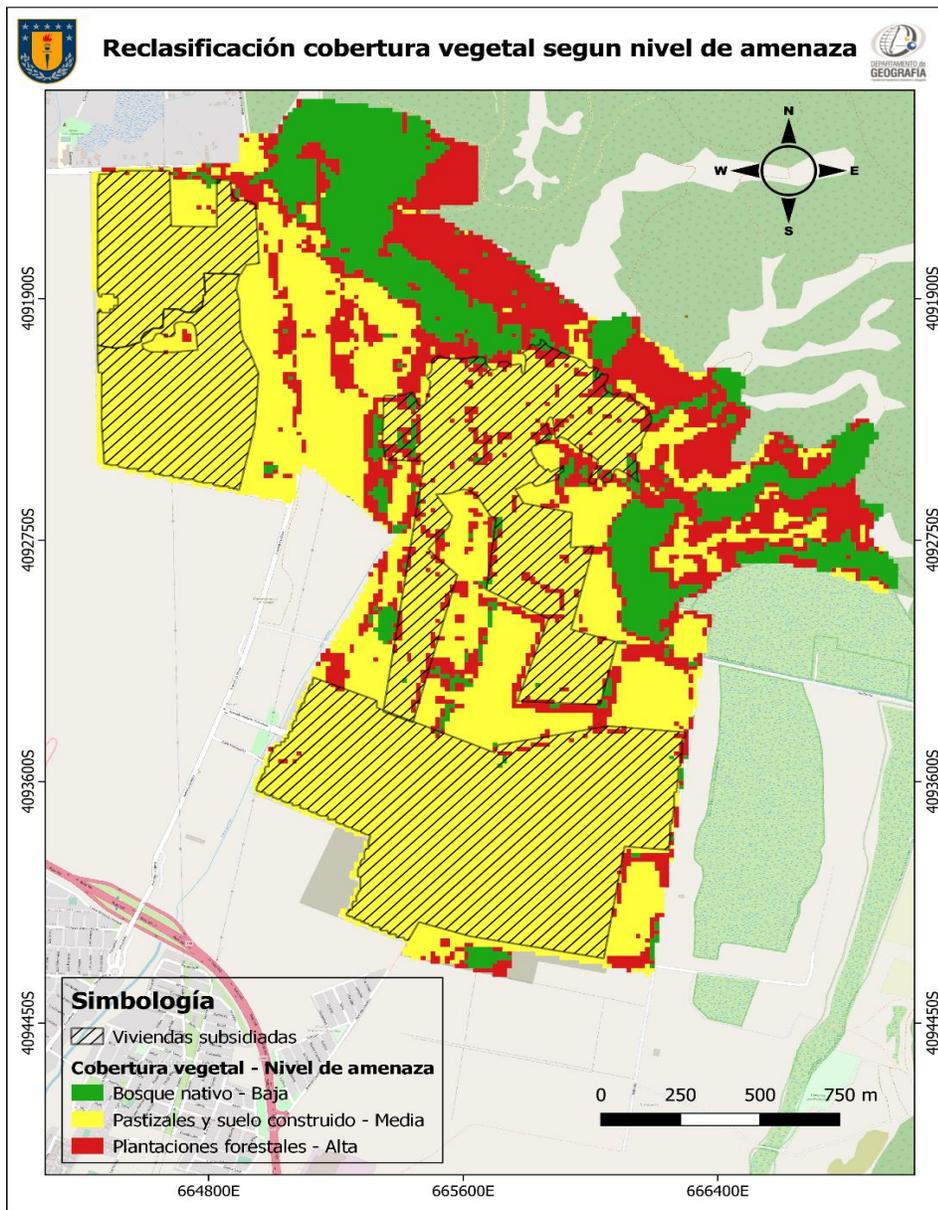
Se ha identificado una amenaza sustancial en los suelos ocupados por plantaciones forestales, derivada del uso de monocultivos, particularmente de especies vegetales como el pino y el eucalipto. Estas especies arbóreas, al requerir considerables cantidades de agua para su desarrollo, generan una baja humedad en el suelo, provocando, por ende, su acidificación y degradación, factores que contribuyen a la probabilidad de incendios forestales. Cabe destacar que estas plantaciones se encuentran en estrecha proximidad a zonas habitadas, aumentando la vulnerabilidad de las viviendas ante posibles eventos catastróficos.

Se destaca una amenaza de nivel medio en áreas compuestas por pastizales y suelo construido. Esta categoría se fundamenta en el riesgo asociado a la presencia de pastizales secos en proximidad a zonas habitadas, así como en la composición de las estructuras presentes, mayormente construidas con materiales inflamables como madera, las cuales exhiben una notable susceptibilidad a la combustión.

Por último, se ha observado una amenaza de bajo nivel en zonas con presencia de bosque nativo. Esta baja amenaza se atribuye al papel protector del bosque nativo, el

cual contrarresta la degradación del suelo al mantener niveles óptimos de humedad, en contraste con las plantaciones forestales que demandan ingentes cantidades de agua.

Figura 6.4. Reclasificación cobertura vegetal Landsat 8 – Amenaza.



Fuente: Elaboración propia.

6.1.2. Integración de variables al SIG

Se procedió a examinar en detalle los mapas temáticos correspondientes a cada una de las variables condicionantes, con el propósito de asignar ponderaciones diferenciadas en términos porcentuales. La determinación de la ponderación de cada variable se llevó a cabo con la asistencia de visitas de terreno y revisión bibliográfica. Este valor ponderado permitió la identificación de la magnitud de la influencia, ya sea mayor o menor, de cada variable en los procesos asociados a las remociones en masa e incendios forestales (Tabla 6.2. y 6.3.).

Tabla 6.2. Ponderaciones, áreas (km²) y porcentaje ocupado de cada variable procesos de remoción en masa.

Amenaza	Pendiente			Orientación de laderas			Usos de suelo		
	Rango	Área (km ²)	%	Rango	Área (km ²)	%	Rango	Área (km ²)	%
Baja	< 10°	3,155	80,54	Plana, Sur, Sureste y Suroeste	2,028	51,73	Cuerpos de agua, terrenos agrícolas y bosque nativo	2,287	56,33
Moderada	10-20°	0,532	13,57	Este y Oeste	0,838	21,45	Suelo urbano y plantaciones forestales	1,703	41,90
Alta	> 20°	0,231	5,89	Norte, Noreste y Noroeste	1,054	26,82	Matorrales y zonas sin vegetación	0,072	1,77

Porcentaje de cada variable	40	40	20
-----------------------------	----	----	----

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 6.3. Ponderaciones, áreas (km²) y porcentajes de cada variable incendios forestales.

Amenaza	Cobertura vegetal			Orientación de laderas		
Clasificación	Rango	Área (km ²)	%	Rango	Área (km ²)	%
Baja	Bosque nativo	0,554	13,63	Plana, Sur, Sureste y Suroeste	2,028	51,73
Moderada	Pastizales y Suelo construido	2,698	66,41	Este y Oeste	0,838	21,45
Alta	Plantaciones forestales	0,811	19,96	Norte, Noreste y Noroeste	1,054	26,82
Porcentaje de cada variable	50			50		

Fuente: Elaboración propia.

Las fórmulas empleadas para derivar los mapas de amenazas en la Calculadora Ráster se expresaron de la siguiente manera:

Amenaza por remociones en masa = (Pendiente* 0.4) + (Orientación de laderas* 0.4) + (Uso de suelo* 0.2)

Amenaza por incendios forestales = (Cobertura vegetal* 0.5) + (Orientación de laderas* 0.5)

6.1.3. Mapa de Amenaza

En una primera instancia, se llevará a cabo el análisis del mapa de amenazas relacionado con los procesos de remoción en masa (ver Figura 6.7.). El área de estudio comprende una extensión total de 3,906 km² (Figura 6.5. y Tabla 6.4.). Dentro de este contexto, las áreas que exhiben una amenaza baja abarcan 0,954 km², representando un 24,42% del área total. En estos sectores, la probabilidad de ocurrencia de procesos de remoción en masa es mínima o prácticamente nula, lo cual implica que no se manifiestan movimientos significativos de material capaces de ocasionar inconvenientes en las vías de comunicación o afectar a la población.

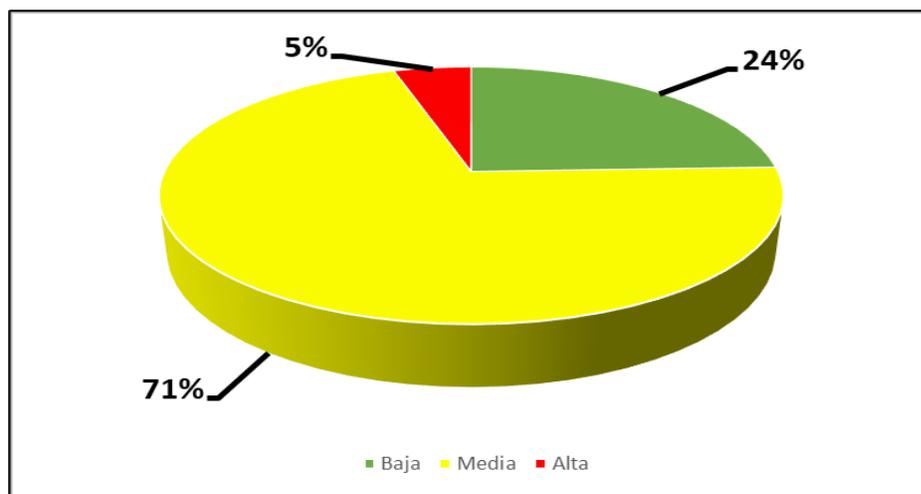
A su vez, las áreas con amenaza moderada o intermedia abarcan una superficie de 2,764 km², equivalente al 70,76% del área total. Una amenaza moderada indica el inicio de procesos de movimientos de material, ya sea de suelo o roca. En contraste, las áreas caracterizadas por una amenaza alta ocupan 0,187 km², correspondiendo al 4,79% del área total. Una elevada amenaza denota la probabilidad más significativa de que se desencadenen procesos de remoción en masa, convirtiéndose así en las zonas con mayor potencial de causar daños a las vías de comunicación y a la población.

Por otro lado, se llevará a cabo el análisis detallado del mapa de amenazas relacionado con los eventos de incendios forestales (ver Figura 6.8.). La extensión total del área de estudio abarca 3,906 km² (Ver Figura 6.6. y Tabla 6.5.). En este contexto, las áreas con amenaza baja, que representan un 8% del área total con 0,317 km², presentan una probabilidad mínima o prácticamente nula de experimentar incendios forestales significativos. En estos sectores, no se anticipan movimientos de fuego capaces de generar inconvenientes en las vías de comunicación o afectar a la población.

En contraste, las áreas con amenaza moderada o intermedia, abarcando una superficie de 2,496 km², equivalente al 64% del área total, indican un riesgo mayor de experimentar eventos de fuego. La amenaza moderada sugiere la posibilidad de que se desencadenen eventos de incendios forestales, pudiendo ser de baja intensidad. Estos lugares requieren una atención cuidadosa debido al riesgo potencial de propagación de incendios forestales que podrían afectar el entorno circundante.

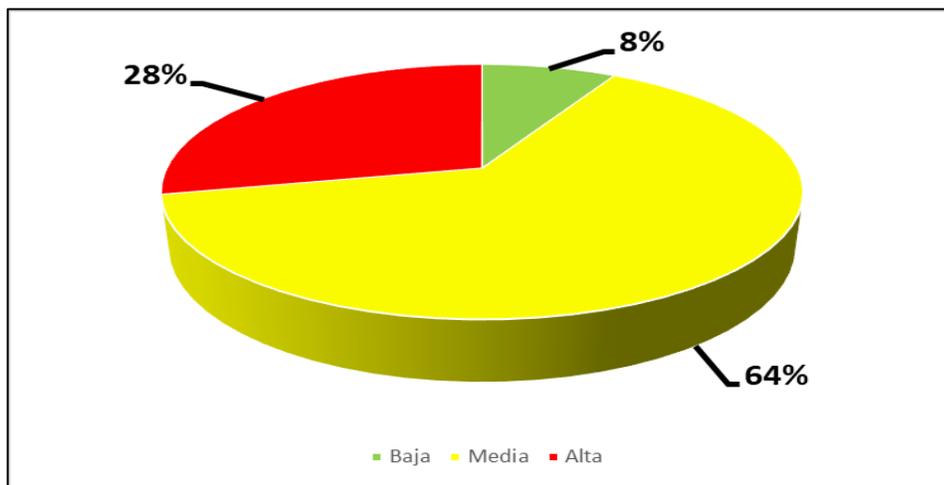
Por último, las áreas caracterizadas por una amenaza alta, ocupando 1,110 km² y correspondiendo al 28% del área total, denotan la probabilidad más significativa de que se desencadenen incendios forestales de mayor intensidad. Estas zonas poseen el mayor potencial de causar daños substanciales a las vías de comunicación y a la población. La identificación y monitorización constante de estas áreas críticas son esenciales para una gestión efectiva de la prevención y respuesta ante posibles incendios forestales.

Figura 6.5. Porcentaje (%) de superficie ocupado por amenaza de remociones en masa.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 6.6. Porcentaje (%) de superficie ocupado por amenaza de incendios forestales.



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 6.4. Rangos de amenaza y superficie (km²) por remociones en masa.

Remociones en masa	
Rangos	Superficie (km ²)
Amenaza baja	0,954 km ²
Amenaza media	2,764 km ²
Amenaza alta	0,187 km ²

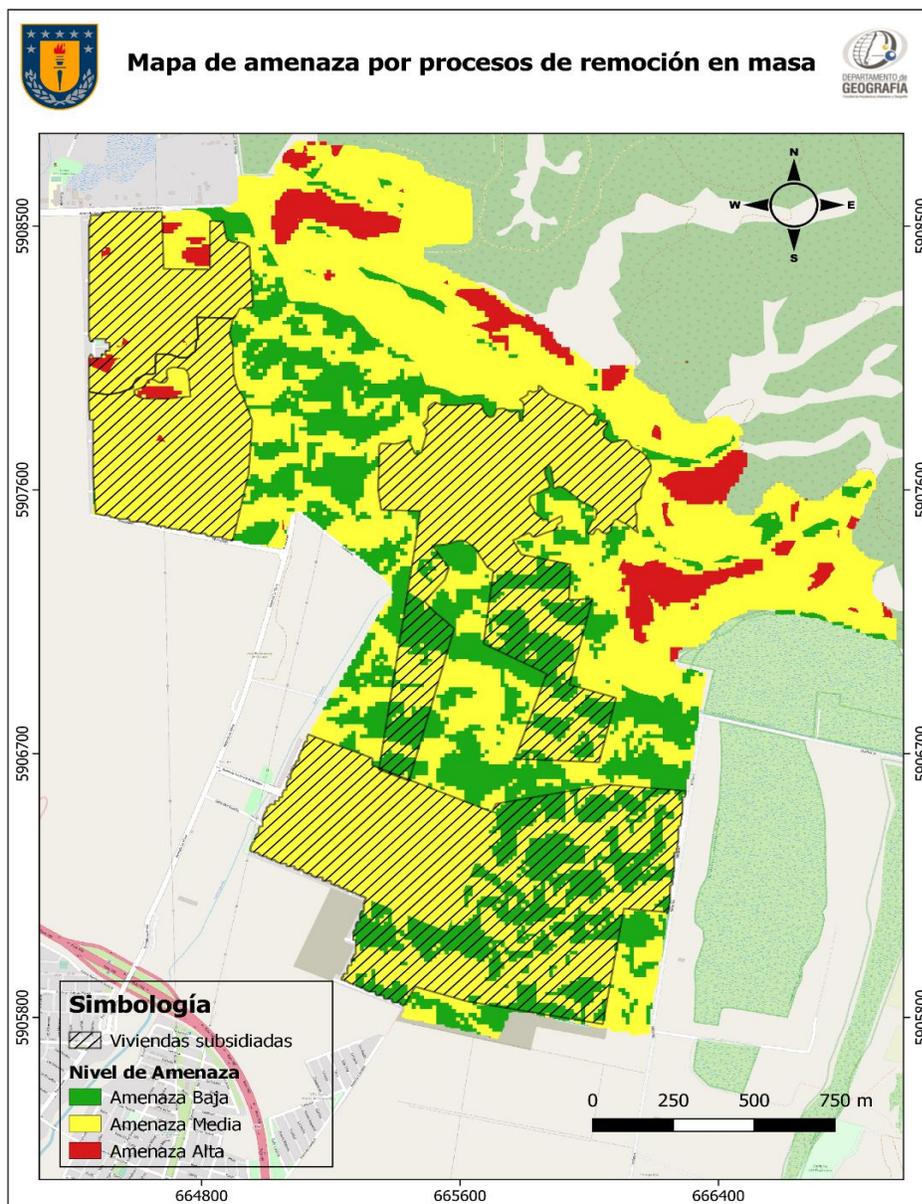
Fuente: Elaboración propia.

Tabla 6.5. Rangos de amenaza y superficie (km²) por incendios forestales.

Incendios forestales	
Rangos	Superficie (km ²)
Amenaza baja	0,317 km ²
Amenaza media	2,496 km ²
Amenaza alta	1,110 km ²

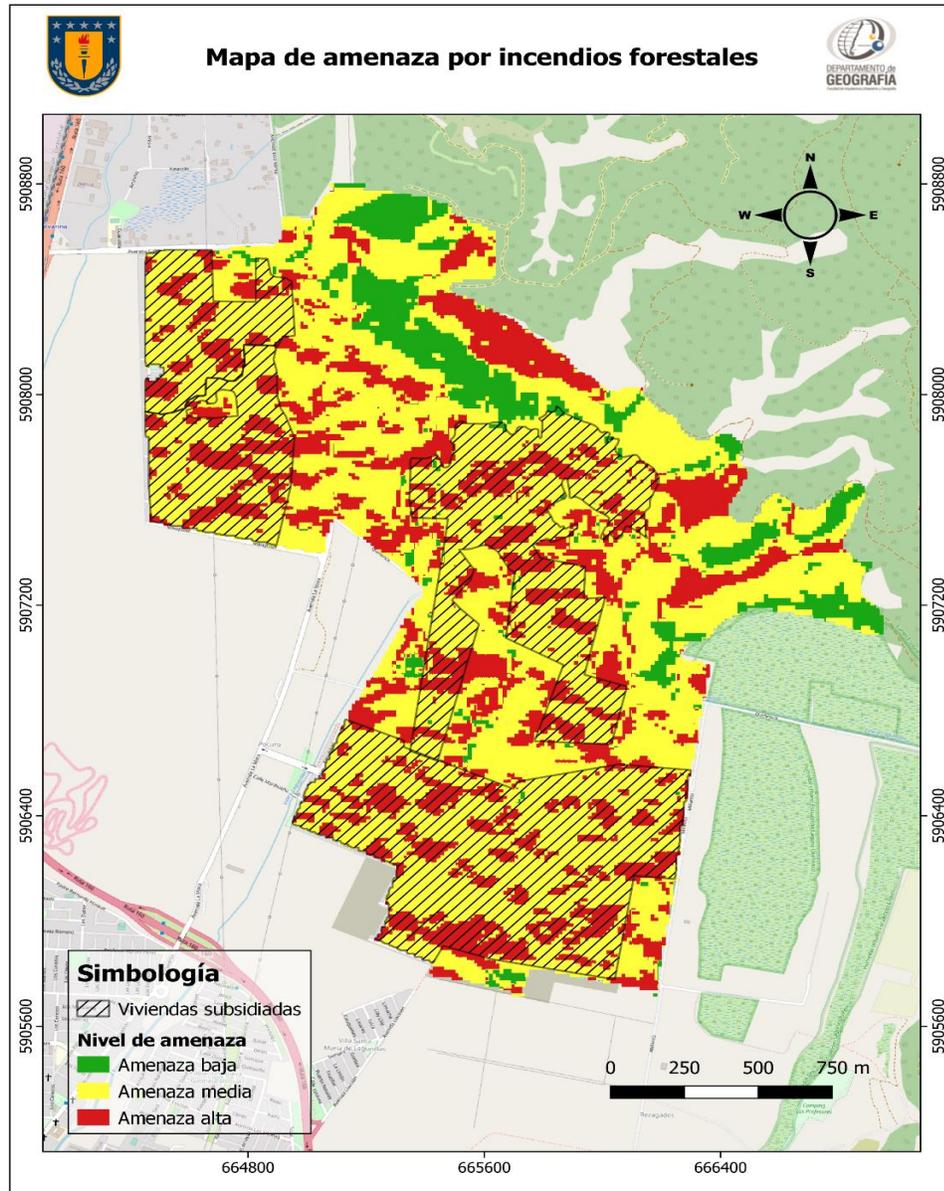
Fuente: Elaboración propia.

Figura 6.7. Mapa de amenaza por procesos de remoción en masa.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 6.8. Mapa de amenaza por incendios forestales.



Fuente: Elaboración propia.

6.2. Evaluación de vulnerabilidad de la población frente a amenaza de incendios forestales y remociones en masa.

En este apartado, se detallan las capas de información consideradas y los procedimientos empleados para llevar a cabo la evaluación actual de la vulnerabilidad a eventos de remoción en masa e incendios forestales en la región conocida como el sector Escuadrón. El enfoque metodológico empleado en este proceso implica la superposición de capas de información, específicamente las capas de "Manzanas censales" y los "mapas de amenaza de incendios forestales y remociones en masa". Este procedimiento se llevó a cabo mediante el uso del geoproceso "Unir atributos por localización" en el software QGIS 2.28 "Firenze". La superposición de estas capas tiene como finalidad proporcionar una aproximación que permita identificar las áreas con diferentes niveles de vulnerabilidad, junto con una estimación de la población expuesta a dichos riesgos, diferenciada en términos de baja, media o alta vulnerabilidad.

Finalmente, el producto resultante de este proceso es el desarrollo de un mapa que refleja la vulnerabilidad de la población ante la amenaza de eventos de remoción en masa e incendios forestales en el sector Escuadrón de la comuna de Coronel. Las capas de información utilizadas en este análisis (tabla 6.6.) se obtuvieron a través de consultas en bases de datos gubernamentales, mientras que el mapa de amenaza por incendios forestales y por procesos de remoción en masa se deriva de los resultados de esta misma investigación.

Tabla 6.6. Capas de información utilizadas.

Capa de información	Fuente	Tipo
Mapa de amenaza de remociones en masa e incendios forestales	Elaboración propia	Ráster y Shapefile
Manzanas censales	INE Chile	Shapefile
Límites urbanos	INE Chile	Shapefile
Viviendas subsidiadas	INE Chile	Shapefile
Establecimientos de salud	IDE Chile	Shapefile
Establecimientos de Educación	IDE Chile	Shapefile
Grifos	IDE Chile	Shapefile
Red vial	IDE Chile	Shapefile

Fuente: Elaboración propia.

6.2.1 Vulnerabilidad de la población frente a remociones en masa e incendios forestales

En primera instancia, se analizará el mapa de vulnerabilidad asociado a los fenómenos de remoción en masa (ver Figura 6.9). La extensión total del área de estudio abarca 2,896 km², según la delimitación proporcionada por las manzanas censales. Es importante destacar que esta área es inferior a la considerada en el análisis de amenazas (3,906 km²), ya que se limita a las manzanas censales donde, por razones evidentes, reside la población. Por ende, los km² correspondientes a plantaciones forestales y laderas boscosas no se consideran en este análisis, por la falta de población en la zona forestal.

En este contexto, las áreas que presentan una baja vulnerabilidad comprenden 0,882 km², representando el 30,46% del área total. En estas zonas, se observa una mínima o nula exposición de la población a los fenómenos de remoción en masa.

Por otro lado, una superficie de 1,735 km² en la zona de estudio exhibe una vulnerabilidad moderada o media, equivalente al 59,91% del área total. En estas áreas, es plausible que la población se enfrente a obstáculos en las vías de evacuación o sufra afectaciones en viviendas debido a deslizamientos u otros movimientos de material.

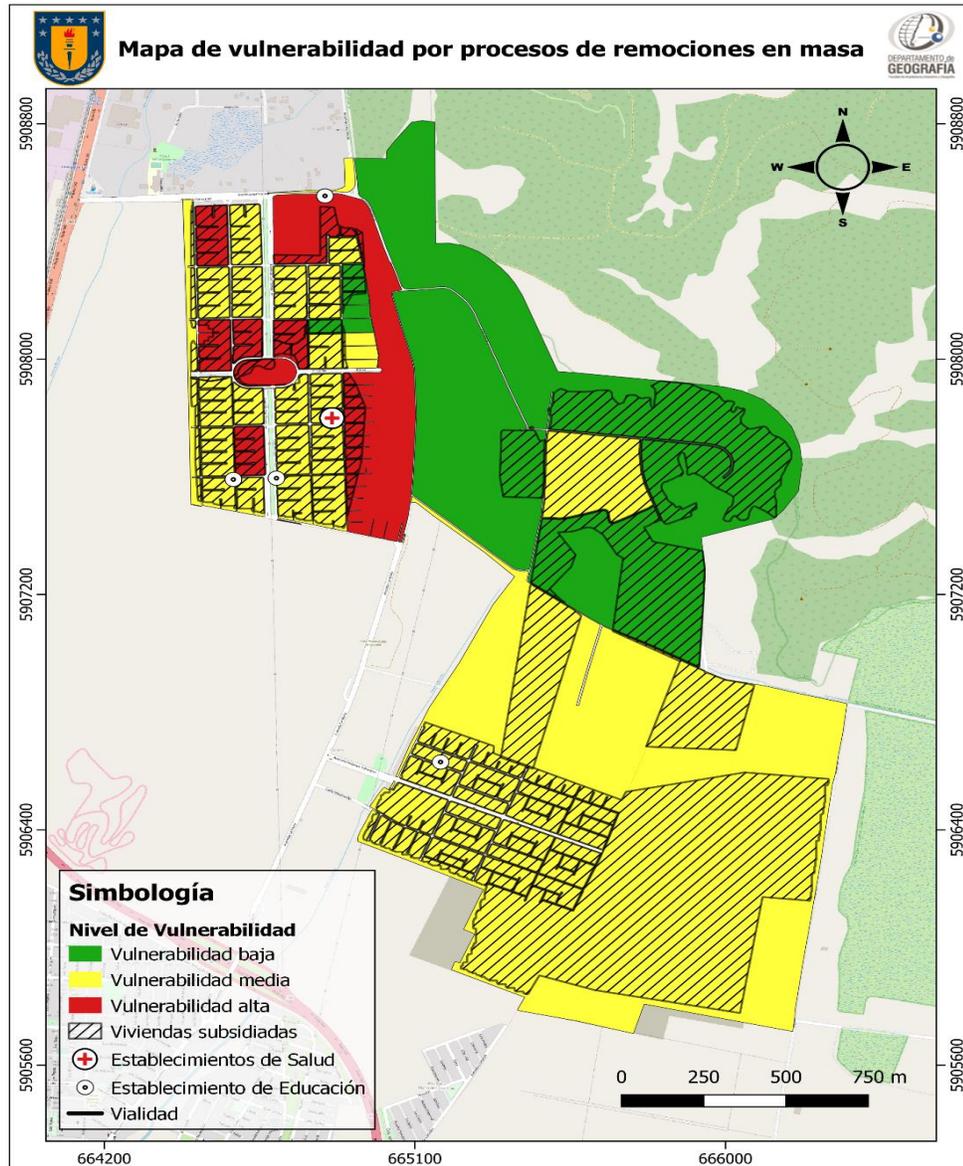
Por último, las áreas caracterizadas por una elevada vulnerabilidad abarcan 0,279 km², correspondiendo al 9,63% del área total. Una vulnerabilidad elevada indica la probabilidad más significativa de que la población se vea expuesta o vulnerable a los fenómenos de remoción en masa. Estas zonas presentan el mayor potencial de sufrir daños considerables en viviendas, infraestructura crítica y/o vías de comunicación. Es fundamental comprender la implicación de estos niveles de vulnerabilidad en la exposición de la población, ya que una alta vulnerabilidad aumenta significativamente el riesgo de impactos adversos y consecuencias negativas en comparación con áreas de baja vulnerabilidad.

Luego de haber concluido el análisis de la vulnerabilidad frente a los fenómenos de remociones en masa, se procederá a examinar detenidamente la vulnerabilidad ante incendios forestales en la misma área de estudio. En este nuevo contexto, se identifican áreas con una baja vulnerabilidad ante incendios forestales, abarcando una extensión de 0,133 km², lo que representa el 5% del área total. En estos sectores, se evidencia una mínima o nula exposición de la población a eventos de fuego.

En contraste, se observa una superficie de 1,158 km² en la zona de estudio que presenta una vulnerabilidad moderada o intermedia, equivalente al 40% del área total. En estas áreas, es plausible que la población se enfrente a obstáculos en las vías de evacuación o experimente daños en viviendas debido a la propagación de incendios forestales.

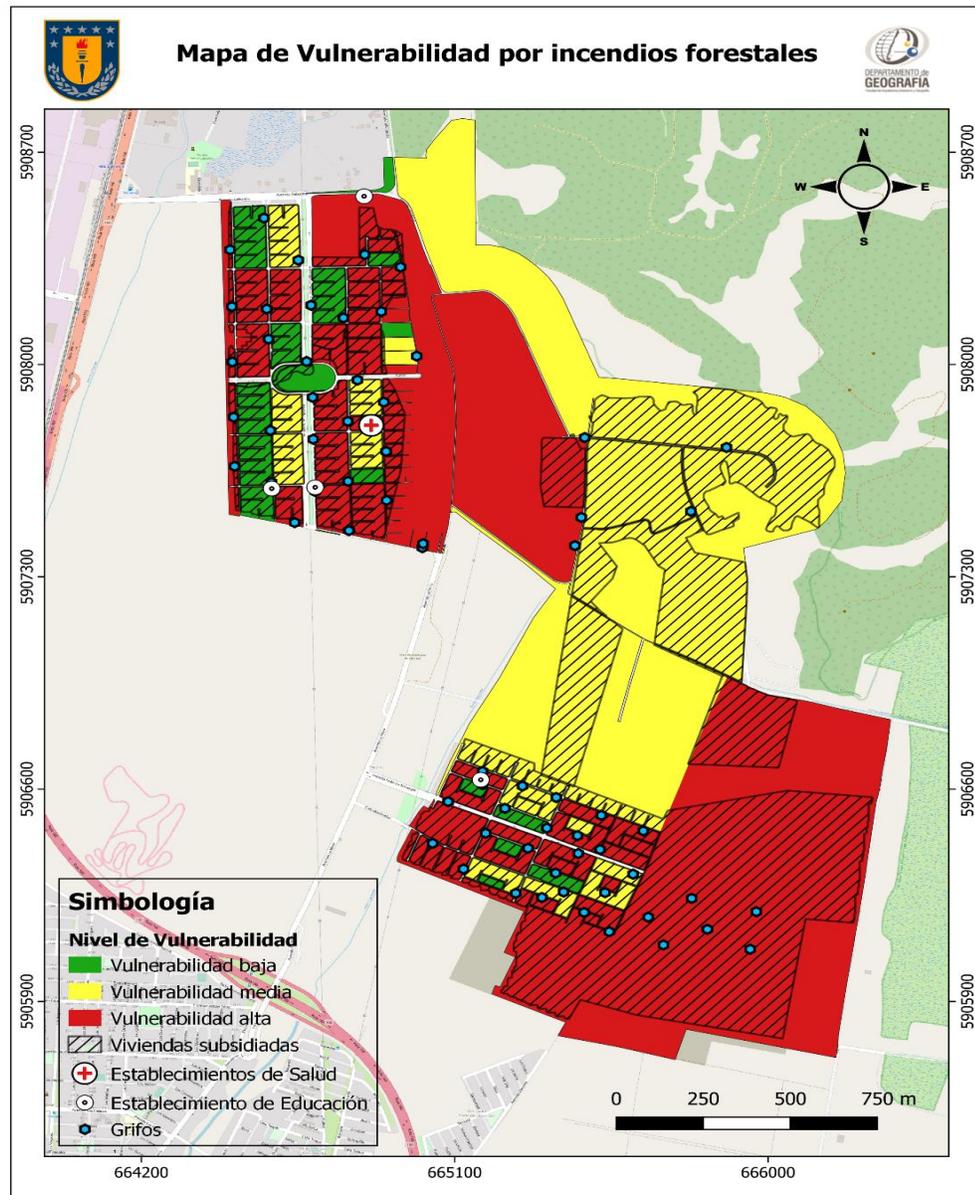
Finalmente, las áreas caracterizadas por una elevada vulnerabilidad abarcan 1,604 km², correspondiendo al 55% del área total. Una vulnerabilidad elevada denota la probabilidad más significativa de que la población se vea expuesta o vulnerable a los incendios forestales. Estas zonas presentan el mayor potencial de sufrir daños considerables en viviendas, infraestructura crítica y/o vías de comunicación. Es importante comprender la implicación de estos niveles de vulnerabilidad en la exposición de la población, ya que una elevada vulnerabilidad incrementa el riesgo de impactos adversos y consecuencias negativas en comparación con áreas de baja vulnerabilidad.

Figura 6.9. Mapa de vulnerabilidad por procesos de remociones en masa.



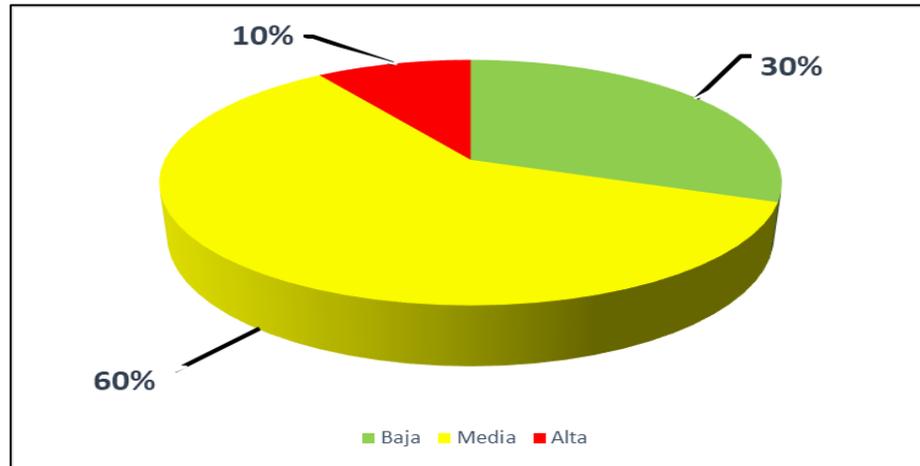
Fuente: Elaboración propia.

Figura 6.10. Mapa de vulnerabilidad por incendios forestales.



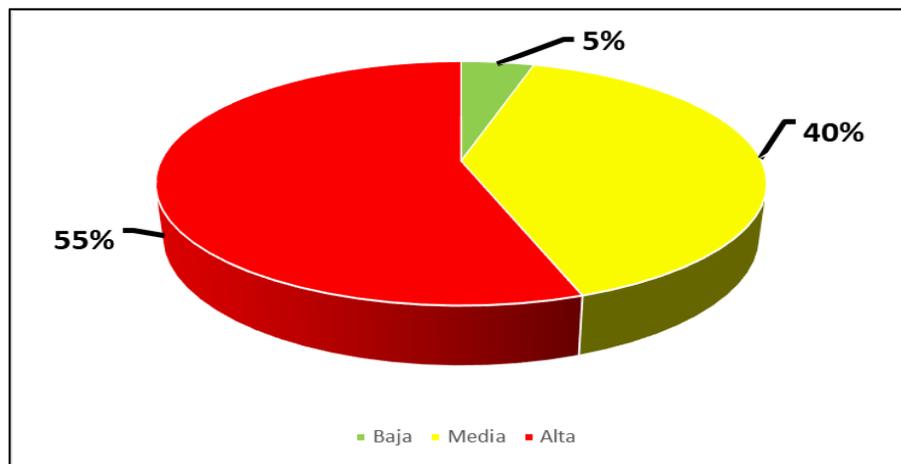
Fuente: Elaboración propia.

Figura 6.11. Porcentaje (%) de superficie ocupado por vulnerabilidad de remociones en masa.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 6.12. Rangos y porcentaje (%) de superficie ocupado por vulnerabilidad de incendios forestales.



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 6.7. Rangos de vulnerabilidad y superficie (km²) por remociones en masa.

Remociones en masa	
Rangos	Superficie (km²)
Vulnerabilidad baja	0,882 km ²
Vulnerabilidad media	1,735 km ²
Vulnerabilidad alta	0,279 km ²

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 6.8. Rangos de vulnerabilidad y superficie (km²) por incendios forestales.

Incendios forestales	
Rangos	Superficie (km²)
Vulnerabilidad baja	0,133 km ²
Vulnerabilidad media	1,158 km ²
Vulnerabilidad alta	1,604 km ²

Fuente: Elaboración propia.

7. CONCLUSIONES

De acuerdo con la hipótesis formulada en la introducción, se deducen las siguientes conclusiones a partir del análisis realizado:

- La mayoría de las viviendas subsidiadas exhiben un nivel de amenaza y vulnerabilidad medio-alto, principalmente por su proximidad a plantaciones forestales, matorrales con material seco y terrenos con pendientes pronunciadas. Las áreas con menor nivel de vulnerabilidad corresponden mayormente a áreas verdes, zonas de equipamiento, suelos desnudos, suelos sellados, pequeñas zonas de humedales, así como extensas praderas y matorrales con una adecuada cobertura vegetal.
- Los principales factores desencadenantes que aumentan la vulnerabilidad de los eventos evaluados son la actividad antrópica, las pendientes pronunciadas y el tipo de cobertura vegetal presente en plantaciones forestales y laderas aledañas. Además, se deben considerar otros factores que influyen en estos eventos, como la influencia de condiciones climáticas adversas, tales como altas temperaturas, sequías prolongadas y precipitaciones intensas. Estas condiciones climáticas pueden actuar como catalizadores o agravantes de los eventos de remoción en masa e incendios forestales. La interacción compleja entre estos factores desempeña un papel crucial en la génesis y propagación de estos fenómenos, enfatizando la necesidad de una gestión integral y proactiva del riesgo para mitigar de manera efectiva sus impactos.
- La representación cartográfica actualizada mediante mapas de riesgo temáticos es esencial para comprender la susceptibilidad y vulnerabilidad de la población en Escuadrón. Aproximadamente el 55% de la superficie total se muestra altamente susceptible a incendios forestales, mientras que solo el 10% presenta alta susceptibilidad a remociones en masa. Esta disparidad destaca la necesidad de concienciar a la población sobre las características del área en la que residen, fomentando la colaboración desde niveles básicos de organización. La importancia de actualizar registros de eventos, como remociones en masa e incendios forestales, se basa en la alta vulnerabilidad de los residentes. Los resultados indican que 0.279 km² (10%) de remociones en masa y 1.604 km²

(55%) de incendios forestales están en zonas de alta vulnerabilidad, en su mayoría concentradas en áreas con viviendas subsidiadas.

- La preeminencia de viviendas subsidiadas en un entorno rodeado de plantaciones forestales establece un escenario donde la competencia por los recursos disponibles se intensifica. Este fenómeno se agudiza anualmente, ya que tanto la industria forestal como la construcción de viviendas subsidiadas experimentan un crecimiento incremental. Esta dinámica competitiva se manifiesta en la necesidad compartida de infraestructura y acceso a servicios esenciales. Por un lado, las viviendas requieren servicios como supermercados, centros de salud y escuelas, mientras que, por otro lado, la industria forestal demanda espacio para construir almacenes y otras instalaciones. La limitación del espacio disponible crea una situación en la que la construcción de infraestructuras destinadas a satisfacer las necesidades de las viviendas y la industria forestal se torna una elección crítica y, en muchos casos, contradictoria. Esta competencia constante por recursos fundamentales, como el suelo e infraestructura, amplifica la vulnerabilidad del sector al riesgo, generando tensiones y desafíos adicionales para la gestión integrada de la comunidad y la industria forestal.
- La competencia derivada de la presencia de viviendas subsidiadas en el sector Escuadrón contribuye significativamente a la exposición al riesgo de diversas maneras. En primer lugar, la intensificación de la construcción de viviendas se traduce en una mayor demanda de infraestructuras esenciales, como carreteras y servicios públicos. Esta competencia por el acceso y la disponibilidad de estos recursos fundamentales puede resultar en una planificación urbana deficiente y en una infraestructura insuficiente para satisfacer las necesidades crecientes tanto de la comunidad como de la industria forestal. En segundo lugar, la limitación del espacio disponible para la expansión de viviendas y la necesidad de áreas residenciales accesibles pueden llevar a la ocupación de zonas que, desde una perspectiva ambiental, podrían ser propensas a riesgos naturales, como deslizamientos de tierra o incendios forestales. La proximidad de viviendas subsidiadas a estos entornos de riesgo aumenta la vulnerabilidad de la población local a eventos catastróficos. Además, la competencia por recursos como el suelo

y la infraestructura puede generar tensiones sociales y económicas dentro de la comunidad, afectando la capacidad de respuesta colectiva ante emergencias. La falta de coordinación y planificación integral en el desarrollo del sector podría resultar en una respuesta ineficaz frente a eventos adversos, aumentando así la vulnerabilidad de la población. En resumen, la presencia de viviendas subsidiadas y la competencia resultante por recursos clave no solo afectan la infraestructura y la planificación urbana, sino que también aumentan la exposición al riesgo al ubicar las comunidades en áreas propensas a eventos naturales adversos y al afectar la cohesión social y la capacidad de respuesta ante situaciones de emergencia.

Algunos de los alcances que se lograron obtener con esta investigación son los siguientes:

- El sector denominado Escuadrón ha sido identificado como un área de elevado nivel de amenaza y vulnerabilidad ante remociones en masa, sobresaliendo especialmente su predisposición a sufrir incendios forestales. Este fenómeno se atribuye a su cercanía con matorrales inflamables, laderas boscosas y plantaciones forestales.
- En términos generales, la mayor parte del territorio estudiado presenta un nivel medio de amenaza y vulnerabilidad, a excepción de los incendios forestales, donde la susceptibilidad y exposición se revelan como significativamente elevadas.

Se destacan las siguientes limitaciones encontradas durante la ejecución de este estudio:

- La disponibilidad de información climatológica, específicamente datos de precipitaciones, para la Comuna de Coronel se revela escasa y de naturaleza general, lo cual impide llevar a cabo un análisis pormenorizado en un área de dimensiones reducidas. Esta restricción se atribuye a la exclusividad de los datos provenientes de la Estación Meteorológica del Aeropuerto Carriel Sur, que resultan idénticos para todas las comunas de la Provincia de Concepción. Esta

homogeneidad dificulta la clasificación y análisis detallado en un área de estudio con una extensión inferior a los 4 km² del área total.

- Al realizar una búsqueda exhaustiva de eventos de remociones en masa a través de la revisión de informes de prensa y del catastro de remociones en masa proporcionado por el SERNAGEOMIN, se constató que la mayoría de los eventos catalogados carecen de información detallada sobre su ubicación, fecha exacta o fotografías referenciales. Cabe destacar que una proporción significativa de este catastro se remonta al año 2010, posterior al terremoto, lo que resulta en una ausencia de datos integrales en relación con los eventos que tuvieron lugar antes de esa fecha. En contraste, los eventos de incendios forestales, en su mayoría, han sido correctamente inventariados por CONAF, proporcionando información detallada y fidedigna.
- La percepción de la población en relación con la amenaza y vulnerabilidad asociadas a estos eventos muestra variaciones según el tipo de acontecimiento en curso. Mientras existe un conocimiento claro sobre los incendios forestales, con familiaridad tanto en términos de rutas de evacuación como de medidas de mitigación, como cortafuegos, la comprensión de las remociones en masa es significativamente limitada. En consecuencia, en algunos casos, la obtención de información detallada sobre remociones en masa recientes se ve obstaculizada por la falta de identificación y conocimiento general sobre este tipo de sucesos.

Se evidencian las siguientes contribuciones identificadas en el desarrollo de esta investigación para fortalecer la gestión del riesgo y la planificación territorial:

- La evaluación de la amenaza, mediante la implementación SIG y técnicas de evaluación multicriterio, ha demostrado ser un enfoque idóneo para la generación de mapas de amenaza. Estos mapas proporcionan la base necesaria para un análisis de vulnerabilidad para identificar a la población expuesta a posibles remociones en masa e incendios forestales en el sector Escuadrón.
- La confección de este tipo de estudios, que integran diversos factores condicionantes para la modelación de amenazas y vulnerabilidades, presenta un potencial significativo en la toma de decisiones a nivel territorial. Este enfoque no solo brinda herramientas analíticas, sino que también produce un producto

cartográfico de fácil interpretación para cualquier persona de la comunidad interesada en comprender los riesgos circundantes.

- Esta investigación puede ser considerada como una herramienta eficaz para orientar la planificación territorial y lograr una gestión óptima del riesgo en Escuadrón.

Bibliografía

- Aguilar, C. (2016). Evaluación de la susceptibilidad y peligrosidad de remociones en masa en áreas urbanas: el caso de Coronel, Chile. *Revista de Geomorfología*, (17), 47-60.
- Alarcón, F. (1995). Los riesgos naturales en el área metropolitana de Concepción a través de la información del Diario El Sur, 1960-1990. Concepción: Memoria para optar al título de Profesor de Historia y Geografía, Departamento de Historia, Universidad de Concepción.
- Arriagada, C. (2018). Vulnerabilidad y desigualdad social frente a los desastres naturales en Chile. *Revista de Ciencias Sociales*, 1(37), 11-27.
- Bergeron Y, M Flannigan, S Gauthier, A Leduc, P Lefort. (2004). Past, current and future fire frequency in the Canadian boreal forest: Implications for sustainable forest management. *Ambio* 33(6): 356-360.
- Birkmann, J. (2007). Risk and vulnerability indicators at different scales: Applicability, usefulness and policy implications. *Environmental hazards*, 7(1),
- Birkmann, J., Cardona, O. D., Carreño, M. L., Barbat, A. H., Pelling, M., Schneiderbauer, S., Kienberger, S., Keiler, M., Alexander, D., Zeil, P. & Welle, T. (2013). Framing vulnerability, risk and societal responses: the MOVE framework. *Natural hazards*, 67(2), 193-211.
- Briones, F., (2005). La Complejidad del Riesgo: breve análisis transversal. *Revista de la Universidad Cristóbal Colón*, (20), 9-19.
- Cabrera, A., Nava, E., Constante, V., Cruz, A., & González, J. L. (2018). Impacto de un incendio forestal sobre las propiedades del suelo en la sierra de Zapalinamé. XIV Congreso Nacional Sobre Recursos Bióticos de Zonas Áridas "Hacia el Uso Sustentable de los Recursos Naturales de Zonas Áridas, Hacia el Uso Sustentable de los Recursos, (págs. 151-152). Durango.
- Cardona, O. D. (1996). Manejo ambiental y prevención de desastres: dos temas asociados. Fernández, María Augusta (comp.), *Ciudades en riesgo. Degradación ambiental, riesgos urbanos y desastres*, Bogotá, La Red.
- Cayuela, L. (2014). Caracterización del riesgo de remociones en masa en zonas urbanas del sur de Chile: análisis comparativo entre dos ciudades. *Revista Geográfica de Valparaíso*, (51), 117-131.
- Ciocca, I., Fernández, A., Jaque, E., Justino, F., Shumacher, V., da Silva, A. S., Muñoz, A., & de la Barrera, F. (2023). Aumento del peligro de incendios forestales a lo largo de Chile Central Sur bajo el escenario RCP8.5 como lo revela el modelado de alta resolución. *Cartas de Investigación Ambiental*, artículo 0343, Artículo 034023.

- CONAF. (2021). Estadísticas históricas de forestales incendios en Chile. <https://www.conaf.cl/incendios-forestales/incendios-forestales-en-chile/estadisticas-historicas/>
- Corominas, J. y Yagüe, A. (1997). Terminología de los movimientos de ladera. Actas del IV Simposio nacional sobre taludes y laderas inestables. Granada, 1051-1072.
- Chamorro Donoso, C. (2015). Viviendas subsidiadas en la Región Metropolitana: ¿cómo solucionar el problema urbano que enfrentan sus habitantes? <https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/134457>
- Coronel: 6 muertos y 25 desaparecidos tras deslizamiento de tierra. (2021). TVN Noticias. <https://www.tvn.cl/noticias/nacional/coronel-6-muertos-y-25-desaparecidos-tras-deslizamiento-de-tierra-4863376>
- Chardon, A. (2002). Un enfoque geográfico de la vulnerabilidad en zonas urbanas expuestas a amenazas naturales. El ejemplo andino de Manizales, Colombia. Universidad Nacional de Colombia.
- Cruden, D. M., & Varnes, D. J. (1996). Landslide types and processes. Landslides: Investigation and Mitigation, Special Report 247, Transportation Research Board, National Research Council, Washington, D.C., 36-75.
- Ducci, M. (1997). Chile: el lado oscuro de una política de vivienda exitosa. Revista Eure (vol. XXIII, N° 69).
- Gill, A. M.; Stephens, S.L. (2009). Scientific and social challenges for the management of fire-prone wildland-urban interfaces. Environ. Res. Lett. 4 (2009) p. 1-10, doi:10.1088/1748-9326/4/3/034014.
- González, M. E., Lara, A., Urrutia, R., & Bosnich, J. (2011). Cambio climático y su impacto potencial en la ocurrencia de incendios forestales en la zona centro-sur de Chile (33o - 42o S). Bosque, 32(3), 215-219. <https://doi.org/10.4067/s0717-92002011000300002>
- Global Fire Monitoring Center. (2011). Regional South America Wildland Fire Network. <https://www.fire.unifreiburg.de/GlobalNetworks/SouthAmerica/SouthAmerica.html>
- Handmer, J., & Dovers, S. (1996). Socioeconomic indicators for vulnerability assessment in natural disasters. Australian Journal of Emergency Management, 11(4), 51-56.
- Hauser, A., (1993). Remociones en masa en Chile. Servicio Nacional de Geología y Minería, Santiago. Boletín No. 45, p. 7-29.
- Hauser, Arturo Y. (1997). Los aluviones del 18 de junio de 1991 en Antofagasta: un análisis crítico a cinco años del desastre. Boletín Servicio Nacional de Geología y Minería 49:5-47.
- Hauser, Arturo Y. (2000). Remociones en masa en Chile. Boletín Servicio Nacional de Geología y Minería 59:9-89.
- Harshbarger, J. W. (2003). Landslides and other mass movements. D. S

Hermosilla, M., Sepúlveda, S. A., Oyarzún, R., & Cartes, P. (2019). Evaluación del riesgo por remociones en masa inducidas por sismo en la zona central de Chile. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 76(3), 401-417

Highland, L. y Bobrowsky, P. (2008). *The Landslide Handbook – A guide to understanding landslides*. Circular 1325. U.S. Geological Survey. 129.

Incendio forestal en Coronel deja 60 personas evacuadas. (2020). *La Tercera*. <https://www.latercera.com/nacional/noticia/incendio-forestal-en-coronel-deja-60-personas-evacuadas/ZAATW7Y2JRDZLHK7RCDHJFN22E/>

Ciocca, I., Fernández, A., Jaque, E., Justino, F., Shumacher, V., da Silva, A. S., ... & de la Barrera, F. (2023). Increased wildfire hazard along South-Central Chile under the RCP8.5 scenario as revealed by high-resolution modeling. *Environmental Research Letters*, 18(3), 034023.

Jara, C., González, E., Hernández, M., & Rondanelli, R. (2018). Mapas de riesgo en la gestión del riesgo de desastres. *Revista INVI*, 33(93), 75-96.

Kasischke, E.S., Turetsky, M.R. (2006). Recent changes in the fire regime across the North American boreal region-Spatial and temporal patterns of burning across Canada and Alaska. *Geophysical Research Letters* 33, L09703.

Lambe, W., Whitman, R., (1972). *Mecánica de suelos*. Instituto Tecnológico de Massachusetts, Editorial Limusa-Wiley S.A., 583 p.

Lavell, A. (2002). *Sobre la gestión del riesgo: apuntes hacia una definición*. Scripta-Nova.

Mardones, María, Freddy Echeverría y Constanza Jara. (2006). Una contribución al estudio de los desastres naturales en Chile centro sur: efectos ambientales de las precipitaciones del 26 de junio del 2005 en el área metropolitana de Concepción. *Revista Investigaciones Geográficas* 38:1- 25.

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.

Matyas, D., & Pelling, M. (2012). *Disaster Vulnerability and Resilience: Theory, Modelling and Prospective*. Report produced for the Government Office of Science, Foresight project 'Reducing Risks of Future Disasters: Priorities for Decision Makers' Crown Copyright, London.

McAlpine, R.S. (1998). The impact of climate change on forest fires and forest fire management in Ontario. Pp. 15-18 in *The Impacts of Climate Change on Ontario's Forests*. Ont. Min. Nat. Resour., Ont. For. Res. Inst., Sault Ste. Marie, ON. For. Res. Info. Pap. No. 143.

Mora, J., García, L., Sol, L. (2008). *Ciencias de la Tierra para la Sociedad*, Año Internacional del Planeta Tierra, México.

Municipio de Coronel. (2019). Municipio de Coronel entrega ayuda a familias afectadas por remoción en masa. <https://www.municoronel.cl/municipio->

- Muñoz, J., Córdova, A., & Silva, J. (2018). Análisis de los factores determinantes del riesgo de incendios forestales en la comuna de Coronel, Región del Biobío, Chile. *Revista Geográfica de Valparaíso*, (50), 143-159.
- Naranjo, José A. y Juan Varela. (1996). Flujos de detritos y barro que afectaron el sector oriente de Santiago el 3 de mayo de 1993. *Servicio Nacional de Geología y Minería* 47:5-42.
- Norris, J., Greenwood, J., (2006). Assessing the role of vegetation on soil slopes in urban areas. IAE2006 Paper N° 744, Inglaterra.
- Oficina Nacional de Emergencias. ONEMI. (2016). Política Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres, Ministerio del Interior y Seguridad Pública.
- Olate, V., Durán, P., & Chacón, R. (2019). Evaluación del riesgo de incendios forestales en Coronel y su impacto en la calidad del aire. *Ambiente & Agua*, 14(2), 1-15
- Petley, D. N. (2012). Global patterns of loss of life from landslides. *Geology*, 40(10), 927-93
- Pérez-Verdín, G., Márquez, M., Cortés, A., & Salmerón, M. (2013). Análisis espacio-temporal de la ocurrencia de incendios forestales en Durango, México. *Madera y Bosques*, 37-58. 0.
- Popescu, M.E., (2002). Landslide Causal Factors and Landslide Remedial Options. Keynote Lecture, Proceedings 3rd International Conference on Landslides, Slope Stability and Safety of Infra-Structures, Singapore, p. 61-81.
- Prieto, C., (1985). Inestabilidades y erosión de laderas asociadas a riadas. *Geología y prevención de riesgos por inundaciones*, Instituto Geológico y Minero de España, p. 117-192.
- Ramos, P.C.M. (1995). Sistema Nacional de Prevenção e Combate aos Incêndios Florestais. Fórum Nacional Sobre Incendios Forestales, Anuarios. IPEF, P. 29-38. Piracicaba.
- Ribeiro, L.M.; Viegas, D.X.; Caballero, D. (2010). Wildland Urban Interface - a diagnostic analysis for Portugal. Abstracts - VI International Conference on Forest Fire Research - CD-ROM. Coimbra - Portugal: ADAI/CEIF - Ed. Domingos X. Viegas, 2010. v. 1. p. 1-11.
- Riquelme, A. (2018). Incendios forestales en Chile: causas, impactos y desafíos para la gestión del riesgo. *Revista de Geografía Norte Grande*, (71), 91-107.
- Rozzi, R. (2004). El fuego y la biodiversidad de los bosques australes de Chile. *Revista de la Facultad de Ciencias Forestales*, (21), 43-50.
- Sayers, P., & Penning-Rowsell, E. (2000). Vulnerability and risk: some thoughts from a United Kingdom perspective. In *Natural disaster and development in a globalizing world* (pp. 3-13). Springer, Dordrecht.
- Selby, M.J., (1993). *Hillslope materials and processes*. Second Edition, Oxford University Press, 451 p.

Sepúlveda, Sergio A., Sofía Rebolledo y Gabriel Vargas. (2006). Recent Catastrophic Debris Flows in Chile: Geological Hazard, Climatic Relationships and Human Response. *Quaternary International* 158(1): 83-95. DOI: 10.1016/j.quaint.2006.05.031.

Sepúlveda, S. A., Lara, M., Mora, S., & Sepúlveda, R. (2019). Caracterización de los factores desencadenantes de movimientos de masa en Chile. *Revista de Geomorfología*, (25), 59-75.

SERNAGEOMIN. (2017). Mapa de Peligros Geológicos de la Región del Biobío. <https://www.sernageomin.cl/wp-content/uploads/2019/05/Peligros-Biobio.pdf>

Simian, J. (2010). Logros y desafíos de la política habitacional en Chile.

Stocks, B.J., Mason, J.A., Todd, J.B., Bosch, E.M., Wotton, B.M., Amiro, B.D., Flannigan, M.D., Hirsch, K.G., Logan, K.A., Martell, D.L., Skinner, W.R. (2003). Large forest fires in Canada, 1959 - 1997. *Journal of Geophysical Research* 108, 8149.

Terzaghi, K., Peck, R., (1948). *Soil Mechanics in Engineering Practice*. John Wiley and Sons, New York, 566 p.

Torres, J., Aguilar, G., González, J., & Rojas, R. (2016). Deslizamientos de tierra en Chile: desencadenantes, vulnerabilidad y riesgo. *Revista de Geografía Norte Grande*, (64), 153-169

The United Nations Office for Disaster Risk Reduction. UNISDR. (2009). Terminología sobre la reducción del riesgo de desastres.

Úbeda, Xavier; Francos, Marcos. (2018). Incendios forestales, un fenómeno global. *Biblio 3w: revista bibliográfica de geografía y ciencias sociales*, 2018, Núm. 1, <https://raco.cat/index.php/Biblio3w/article/view/344019>.

Varnes, D. J. (1978). Slope movement types and processes. En Schuster, R. L., & Krizek, R. J. (Eds.), *Landslides: Analysis and Control* (pp. 11-33). Transportation Research Board.

Weber MG, MD Flannigan. (1997). Canadian boreal forest ecosystem structure and function in a changing climate: Impacts on fire regimes. *Environmental Reviews* 5(3-4): 145-166.

Wieczorek, G. F., (1996). *Landslide Triggering Mechanisms in Landslides – Investigations and Mitigation*. Special Report 247. A. K. Turner y R. L. Schuster, Editores. Transportation Research Board. National Research Council, National Academic Press, Washington, DC, USA, p.76-90.

Wilches Chau, G. (1998). Guía de la Red para la gestión local del riesgo. Red de Estudios Sociales en Prevención de Desastres en América Latina.