

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



Susceptibilidad de Remoción en Masa en la comuna de Santa Juana y validación del modelo post incendios forestales de 2023

MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE GEÓGRAFO

Nombre: Francisco Bascuñán Soto
Profesor Guía: Edilia Jaque Castillo
Profesional Guía: Dr. (C) Francisco Castro Venegas

Concepción, 2024

Índice

1	RESUMEN	4
2	Introducción	5
3	Planteamiento del Problema	9
4	Preguntas de investigación	13
5	Hipótesis	14
6	Objetivos	15
6.1	Objetivo general	15
6.2	Objetivos específicos	15
7	Marco Teórico	17
7.1	Riesgo, Gestión del riesgo de desastres y planificación territorial.	17
7.2	Remociones en masa	18
7.3	Causa de los procesos de remoción en masa	20
7.4	Factores condicionantes y de los procesos de remoción en masa de las remociones.	22
7.4.1	Geomorfología	23
7.4.2	Geología y Geotecnia	23
7.4.3	Vegetación	24
7.4.4	Actividad antrópica	26
7.4.5	Hidrología e hidrogeología	26
7.5	Factores desencadenantes de los procesos de remoción en masa de las remociones.	27
7.5.1	Precipitaciones	28
7.5.2	Sismos	29

7.6	Clasificación de remociones en masa	29
7.7	Susceptibilidad ante procesos de remoción en masa	31
7.8	Mapas de susceptibilidad ante remociones en masa	32
7.9	Incendios forestales	34
7.10	Causas de los incendios forestales	35
7.11	Impacto de los incendios forestales en el territorio	37
7.12	Relación entre incendios forestales y procesos de remoción en masa	41
8	Metodología	42
8.1	Enfoque Metodológico	42
8.2	Área de estudio	42
8.3	Antecedentes Demográficos	44
8.4	Antecedentes climáticos	45
8.5	Métodos y técnicas	47
8.5.1	Mapa de inventario de remociones en masa	47
8.5.2	Metodología utilizada Frequency Ratio	47
8.6	Validación para Frequency Ratio	49
8.7	Parámetros para determinar el índice de susceptibilidad de Remociones en Masa	50
8.7.1	Altitud	50
8.7.2	Distancia de drenaje	51
8.7.3	Distancia de carretera	52
8.7.4	Pendientes (Slope)	53
8.7.5	Forma de la pendiente	54
8.7.6	Litología	54
8.7.7	Orientación de laderas (Aspect)	55
8.7.8	Cobertura de usos de suelos	56
9	RESULTADOS	57

9.1	Resultados Frequency Ratio	57
9.2	Susceptibilidad a remociones en masa	61
9.2.1	INVENTARIO ACTUALIZADO	61
9.3	Parámetros utilizados por el modelo Frequency Ratio	63
9.3.1	Pendiente.	63
9.3.2	Orientación de laderas	65
9.3.3	Distancia de drenaje	66
9.3.4	Distancia de Carretera	68
9.3.5	Geología	69
9.3.6	Forma de la pendiente	70
9.3.7	Altitud	72
9.3.8	Cobertura de usos de Suelo	73
9.4	Evaluación de susceptibilidad remociones en Masa	75
9.4.1	Susceptibilidad	75
9.4.2	Validación de la susceptibilidad	76
9.5	Relación entre Incendios forestales y Procesos de remoción en masa.	77
9.5.1	Cobertura de suelos año 2016	77
9.5.2	Cobertura de suelos año 2023	78
10	Conclusiones y recomendaciones discusión	82
11	Bibliografía	83
12	ANEXOS	96
12.1	FOTOGRAFÍAS DE SALIDA A TERRENO.	96
12.1.1	Figura. Salida a terreno Ruta de la madera Santa Juana, Chile.	97
12.1.2	Figura. Salida a terreno Ruta de la madera Santa Juana, Chile	97
12.1.3	Figura. Salida a terreno Ruta de la madera Santa Juana, Chile	99
12.1.4	Figura. Salida a terreno Ruta de la madera Santa Juana, Chile	100

12.1.5	Figura. Salida a terreno Ruta de la madera Santa Juana, Chile	101
12.1.6	Figura. Salida a terreno Ruta de la madera Santa Juana, Chile	102
12.2	109	
12.3	Inventario obtenido en base a revisión de prensa Diario El Sur periodo 1990-2019.	104
12.4	Inventario obtenido en base a revisión de prensa Digital.	107

1 RESUMEN

Las remociones en masa representan una problemática significativa a nivel mundial y sobre todo a nivel nacional, en el periodo de 1978 – 2017 se han declarado un total de 1010 víctimas fatales a nivel país, el Área Metropolitana de Concepción (AMC) no está exenta a esta problemática, la presente investigación se centra en la comuna de Santa Juana, la cual se ubica al sur del Área Metropolitana de Concepción en la región del BioBio.

Santa Juana es una comuna mayoritariamente rural, la cual se ha visto afectada al largo del tiempo por procesos de remoción en masa que afectan la conectividad vial de la ruta CH-156 también conocida como La Ruta de la Madera, del mismo modo del mismo modo se ha visto afectada por un voraz incendio forestal el año 2023 el cual ha afectado flora, fauna y sobre todo a los habitantes de la comuna, esta ruta es de alto tráfico, utilizada principalmente por habitantes de la comuna y por transportistas de empresas forestales.

Es por esto por lo que la presente investigación tiene como objetivo evaluar la susceptibilidad de procesos de remoción en masa en la comuna de Santa Juana, centrándose en La Ruta de la Madera, utilizando la metodología de Frequency Ratio para evaluar la susceptibilidad de los procesos de remoción en masa y analizar si estos pueden generarse tras los incendios, para ello se requiere la implementación de un inventario completo el cual se ha desarrollado a partir de revisión de presan (Diario el Sur) sumado a recopilación de prensa digital, salidas de campo y análisis de parámetros

físicos, posteriormente se validará mediante el Área bajo la curva (AUC) de la curva operativa del receptor (ROC).

Aplicar la metodología de Frequency Ratio para toda la comuna no ha sido adecuado primeramente para evaluar la susceptibilidad, esto debido a sobreestimaciones en los resultados, sumado a una concentración casi en su totalidad de los eventos de remoción en masa en la ruta CH – 156, es por esto que se ha optado en reducir el área de estudio abarcando principalmente el área comunal que cuenta con registros de deslizamientos.

A partir de los resultados obtenidos se ha determinado que el área de estudio si cuenta con zonas susceptibles a procesos de remoción en masa, un 9,73% de la superficie del área de estudio presenta un alto índice de susceptibilidad, por otro lado, un 2,48% de la superficie del área de estudio presenta una alta susceptibilidad ante procesos de remoción en masa. La aplicación de la metodología de Frequency Ratio a nivel comunal ha tenido una gran limitante, la cual corresponde a un inventario completo de eventos de remoción en masa, es por esto por lo que se ha optado por trabajar un área reducida de la comuna de Santa Juana.

Palabras Clave: *Remociones en masa, Planificación territorial, Susceptibilidad, Gestión del riesgo, Plan regulador, Incendios Forestales.*

2 Introducción

A lo largo de la historia, Chile se ha visto afectado por la acción de diversos fenómenos socio-naturales. La ubicación geotectónica que se enmarca entre la placa Sudamericana y la placa de Nazca, es un factor determinante ante la inminente actividad sísmica y volcánica que puede afectar y poner en riesgo a sus habitantes. Esto, sumado a factores climáticos y geológicos, propician la ocurrencia de terremotos, tsunamis, anegamientos y remociones en masa en el territorio (Ministerio del Medio Ambiente, 2020).

La región del Biobío no está exenta de los fenómenos mencionados, viéndose afectada por los efectos de diversos fenómenos socio-naturales, entre ellos las extremas precipitaciones del año 2006; el terremoto y tsunami del 2010; y los incendios forestales.

Las consecuencias de las precipitaciones del año 2006 incluyeron víctimas fatales, graves daños infraestructurales y numerosas remociones en masa, que afectaron especialmente a la Provincia del Biobío y Arauco (Naranjo, J., Ramírez, P., Clavero, J., & Hauser, A, 2006).

Otros fenómenos naturales con gran afectación sobre la Región del Biobío fueron el terremoto y posterior tsunami del año 2010. En esta oportunidad, la costa chilena fue afectada por uno de los sismos más grandes de los que se tenía registro, y sus efectos fueron devastadores, dada la gran cantidad de habitantes en las zonas costeras (Martínez. C., 2013).

Al considerar el impacto sobre la población y su infraestructura, resulta importante mencionar también, la ocurrencia de numerosos incendios forestales en la Región del Biobío, encontrándose entre las 3 regiones que presenta la mayor Tasa de Daño por Incendios de Magnitud (CONAF, 2010).

Según el Centro de Información de Recursos Naturales, los incendios forestales en la Región del Biobío constituyen una peligrosa amenaza para la preservación de los entornos naturales, esto supone un impacto negativo para los habitantes, viviendas y sobre todo el medio ambiente (CIREN, 2021).

Con relación a estos fenómenos, Jaque, Castillo. E. (2021) comenta que, desde que se insertó el modelo forestal en 1974, el monocultivo de especies exóticas ha abarcado el paisaje de las grandes conurbaciones metropolitanas de Chile, estrechando la brecha urbano-forestal, generando así, situaciones de riesgo de incendios forestales.

En la misma línea, González et al., (2020) señala posibles conexiones entre el patrón de incendios y las acciones humanas, asociado al factor del cambio climático que ha sido inducido por el ser humano, el crecimiento de áreas en donde se mezclan viviendas y vegetación, zonas urbanas y rurales adyacentes y el aumento de la plantación de especies altamente inflamables como el pino y eucalipto, sugieren que aproximadamente el 60% de los incendios forestales tiene como origen áreas en donde se genera la conexión de la ciudad y el campo.

El estudio de los incendios forestales y su comprensión son fundamentales para implementar medidas de prevención y gestión eficaces para la población. Particular relevancia tiene la identificación de áreas propensas a incendios forestales, el monitoreo constante de las condiciones climáticas y la adopción de estrategias de control

adecuadas, para reducir el riesgo y mitigar el impacto de los incendios forestales en los ecosistemas y en las comunidades Valenzuela & Cáceres ,2011).

Según menciona Hauser (2000) el elemento desencadenante de las remociones en masa es el agua, las lluvias de gran intensidad ligado al clima de la zona produciría gran preocupación, ya que, se espera que para la temporada de invierno 2023 ocurra el fenómeno del niño, el cual aumentaría las precipitaciones generando un aumento en la susceptibilidad de remociones en masa.

Una línea de estudio señala que, la creciente expansión urbana en el Área Metropolitana de Concepción ha traído como consecuencia la ubicación de asentamientos humanos en sectores no aptos para su desarrollo, estos se ven mayormente afectados por amenazas como procesos de remociones en masa, inundaciones, incendios forestales. (Mardones & Vidal, 2001).

El factor principal que desencadena los eventos mencionados se identifica como la intensidad de las precipitaciones diarias. Además, se han identificado factores que han contribuido a la ocurrencia de estos eventos, entre los cuales se destacan: la deforestación de los taludes, la intervención de los taludes para la construcción de viviendas o carreteras sin una debida estabilización de ellos, pendientes pronunciadas superiores a 20° y la presencia de capas espesas de regolito que contienen arcillas del tipo montmorillonita. Estos factores, en conjunto, han incrementado la actividad morfogenética de las laderas en periodos invernales que se han caracterizado por fuertes precipitaciones en el Área Metropolitana de Concepción (Mardones *et al.*, 2006).

El Área Metropolitana de Concepción (AMC), está conformado por las comunas de: Concepción, Chiguayante, Coronel, Hualqui, Penco, Hualpén, Talcahuano, Tomé, Lota,

San Pedro de la Paz y Santa Juana (Rojas Quezada, C. A., Muñiz Olivera, I., & García-López, M. Á., 2009).

Como menciona Vidal & Mardones (2001), el Área Metropolitana de Concepción es una de las más afectadas por diversos tipos de riesgos naturales, esto debido a su crecimiento demográfico acelerado en la década de 1980, como consecuencia de la expansión las ciudades que pertenecen a la intercomuna se han visto obligadas a asentarse en áreas las cuales son de difícil manejo y que podrían estar expuestas a un elevado nivel de peligrosidad natural, como resultado de esta situación, la probabilidad de que ocurran catástrofes se ha incrementado. Además, las viviendas e infraestructuras se han vuelto vulnerables debido a que no cuentan con la capacidad necesaria para resistir eficazmente los efectos de la naturaleza.

Aunque el crecimiento del Área Metropolitana de Concepción ha disminuido en las últimas décadas, no deja de ser preocupante el índice de peligrosidad al cual están expuestos los habitantes que han sido desplazados por la expansión de la ciudad.

3 Planteamiento del Problema

En los últimos años la comuna de Santa Juana cuenta con un amplio registro de eventos de remociones en masa, los cuales se han encontrado principalmente en prensa digital, con escasa evidencia científica que aborde las problemáticas de la comuna de Santa Juana. A esto se suma, que los registros o catastros de SERNAGEOMIN se encuentran desactualizados.

Recientemente, Santa Juana se ha visto afectada por un voraz incendio forestal, afectando flora, fauna y sobre todo a los habitantes de la comuna, generando una gran

pérdida de biodiversidad en la zona y afectando a casi más de la mitad de la superficie comunal. “Santa Juana tiene 42.858,97 hectáreas siniestradas, lo que equivale al 55,14% de su superficie comunal” (Noticias UdeC, 2023).

Santa Juana cuenta con una gran población que está emplazada en el interfaz urbano rural. Según menciona González et al (2020), Chile cuenta con una gran cantidad de zonas en las cuales las personas conviven con ecosistemas vegetales, éstas son las que cuentan con un mayor riesgo de sufrir incendios forestales, del mismo modo se debe mencionar que éstas zonas contemplan un 5% del territorio nacional pero en ella habitan cerca del 80% de la población y es en ella en donde ocurren la mayoría de incendios, es por eso que zonas se deben considerar y aplicar medidas tanto de manejo, mitigación y prevención, velando así por un paisaje menos riesgoso para los habitantes.

Dentro de las problemáticas que causaría la pérdida de cubierta vegetal por los incendios forestales en Chile en primer lugar y como comenta Castillo, M.et al (2003) corresponden a una pérdida económica estimada a 50 millones de dólares, sin relacionarse con las pérdidas ambientales y sociales, si se realizara una estimación tanto de salud humana, valores sociales, culturales, medio ambiente infraestructuras y pérdidas humanas las cifras aumentarían considerablemente, otra problemática corresponde al aumento de susceptibilidad a remociones en masa “La cobertura vegetal es un factor que regula el régimen hidrológico, sea controlando la infiltración y el escurrimiento superficial de aguas-lluvia, sea protegiendo el suelo contra la erosión. La falta de cobertura aumenta la escorrentía superficial.” (Mardones & Vidal, 2001).

Uno de los fenómenos que afecta a la comuna de Santa Juana corresponde a las remociones en masa. Según el Centro de Ciencias Ambientales (EULA-Chile, 2018) gran parte de las remociones en masa que ocurren se concentran camino a Santa Juana (ruta

156) en los cuales se han registrado desprendimientos, deslizamientos de roca y deslizamientos rotacionales, estos serían causados por la deforestación de los cerros sumado a intensas lluvias. Por su parte, Mergili et al., (2015) realiza un análisis sobre el desarrollo urbano en pendientes abruptas en países de la región andina, menciona cómo ha aumentado la susceptibilidad de procesos de remoción en masa debido a construcciones en laderas, esto debido a que la escasez de superficie ha desplazado a habitantes a las afueras de las ciudades.

Para tener una óptima planificación territorial enfocada en la reducción del riesgo se debe tomar en cuenta la armonía entre las medidas que deben tomarse que sean sostenibles y seguras con los objetivos lo cuales están enmarcadas dentro de la economía, lo social y lo ambiental, según Mardones & Vidal (2001) la planificación de nuestras ciudades está a cargo de diferentes cuerpos normativos que van desde el marco nacional hasta local, el encargado de planificar nuestras ciudades corresponde a la política nacional de desarrollo urbano.

Tras la revisión de los instrumentos de planificación territorial se identifica que estos se encuentran desactualizados, un ejemplo es el PRC (Plan Regulador Comunal) de Santa Juana que es del año 2006 y posee una actualización del año 2009 y además este no cuenta con un apartado que aborde la temática de gestión, por otro se debe mencionar que Santa Juana cuenta con un PLADECO actualizado (2019-2022), el cual cuenta con un apartado de la gestión del riesgo como también la identificación de las remociones en masa como uno de los principales problema que envuelve a la comuna. Asimismo, se menciona la gestión de riesgo como una planificación sostenible y construida, que debe tener respuestas locales, y actores los cuales puedan contribuir a las respuestas.

Como menciona Mardones & Vidal (2001) se ha dejado en evidencia que los desastres naturales que han dado registro en las principales ciudades del país existen una carencia en la normativa legal, la cual debe ser abordada con mayor fuerza por las mismas comunas, en un país como Chile es de suma importancia que los instrumentos pertinentes que están encargados de la gestión del riesgo estén actualizados.

El organismo encargado de la creación de un PRC pertinente para la comuna corresponde a la dirección de obras de la municipalidad. La ordenanza del Plan regulador comuna de Santa Juana publicado el año 2006 con una actualización el año 2009 estipula en su artículo 14 y 15 áreas de riesgo, en las cuales se menciona que se debe realizar un estudio de riesgo en todas las áreas que se puedan ver afectadas por algún riesgo tanto de carácter antrópico como natural, se da énfasis en estudios de riesgo de inundaciones, anegamientos e incendios forestales, en los cuales se aborda la protección de quebradas y cursos fluviales y pendientes. Los peligros naturales causan efectos indeseados en las actividades humanas, es por eso por lo que con finalidad de ayudar y contribuir en un ordenamiento territorial sustentable estos deberían de ser inventariados para así evitar urbanización en zonas de riesgos.

Por su parte, Mergili et al., (2015) citando a Harden (2006) realiza una acotación en base a cómo se relacionan los procesos de remoción en masa y el manejo de las pendientes en zonas rurales, en donde la deforestación, actividades mineras y la agricultura con un mal manejo pueden aumentar las probabilidades de ocurrencia (susceptibilidad) de las remociones en masa afectando directamente a la población rural.

En la mayoría de los casos, los terrenos que han experimentado previamente remociones en masa tienen una tendencia a sufrir reactivaciones, lo cual plantea un riesgo tanto para la seguridad de las personas como para la viabilidad de diversas infraestructuras civiles.

la correcta identificación y descripción de estos juega un papel fundamental al orientar las actividades preventivas. además, se reconoce que el estudio de los eventos geológicos que han ocurrido en el pasado es de suma importancia, ya que estos proporcionar información esencial para comprender de manera efectiva el riesgo (Hauser, 2000)

En base a todo lo mencionado anteriormente se identifican como principales problemas la falta de levantamiento de información y estudios pertinentes que traten sobre las remociones en masa en la comuna objeto de estudio, para así tener una mejor visión del territorio y evitar futuros incidentes, del mismo modo se debe mencionar que la existencia de población urbana y rural que está en zonas de amenaza y por lo cual podrían verse directamente afectadas en ámbitos económicos, social e incluso con pérdidas humanas, es por eso que debe tener una gran consideración los incidentes ocurrido en Santa Juana en temporada de verano 2023, el cual generaría una gran expectativa en relación con las remociones en masa que podrían producirse en Santa Juana.

4 Preguntas de investigación

- ¿La comuna de Santa Juana es susceptible a remociones en masa?
- ¿Son más susceptibles las zonas que han sido afectadas por incendios forestales?
- ¿Qué relación podemos encontrar entre los incendios forestales y las remociones en masa que han ocurrido en la comuna de Santa Juana?

5 Hipótesis

La comuna de Santa Juana, localizada al sur del Área Metropolitana de Concepción y en la vertiente oriental de Nahuelbuta tiene características topográficas, geológicas y de coberturas de suelo que podrían favorecer la ocurrencia de procesos de remociones en masa.

La inexistencia de una regulación de usos de suelo a escala urbana y rural de la comuna y la ausencia de un inventario completo de remociones en masa, contribuyen a aumentar el riesgo de desastre que podrían generar estos fenómenos, en un territorio altamente afectado por incendios forestales que podrían ser un nuevo condicionante en la susceptibilidad frente a este fenómeno.

6 Objetivos

6.1 Objetivo general

Evaluar la susceptibilidad de procesos de remociones en masa en la comuna de Santa Juana, considerando los efectos que los incendios forestales podrían tener en la ocurrencia de este fenómeno.

6.2 Objetivos específicos

1. Actualizar el inventario multitemporal de remociones en masa de SERNAGEOMIN (2017) a partir de eventos registrados por la prensa local durante los últimos 30 años sumado con salidas a terreno.

2. Generar un mapa de susceptibilidad de remociones en masa para la comuna de Santa Juana utilizando un método de Frequency Ratio a escala 1:25.000.
3. Analizar el efecto de los incendios forestales en la ocurrencia de remociones en masa en la comuna de Santa Juana a partir de la correlación de las áreas quemadas con puntos de remoción en masa.

7 Marco Teórico

7.1 Riesgo, Gestión del riesgo de desastres y planificación territorial.

Según UNISDR 2004, el riesgo se refiere a la probabilidad de que las amenazas se conviertan en desastres. Por su parte, Barnechea 2010 define la gestión del riesgo de desastres como un instrumento que tiene como objetivo reducir el riesgo de desastres mediante la disminución de la vulnerabilidad de la población. esta gestión se basa principalmente en procesos enfocados en la creación de planes que permitan prevenir, reducir y mitigar los riesgos que puedan presentarse en una determinada área.

Según la Estrategia Internacional para la reducción del riesgo de desastres de las naciones unidas (2009), la planificación territorial se puede entender como un proceso llevado a cabo por las autoridades competentes. Este proceso tiene como objetivo identificar, evaluar y determinar acciones necesarias para el desarrollo y manejo adecuado del territorio. En este sentido es fundamental abordar objetivos sociales, económicos y ambientales a largo plazo, así como las posibles consecuencias que puedan afectar a la población, los habitantes y las comunidades. Todo abarcado dentro de la formulación de planes estratégicos.

La planificación territorial de acuerdo con Rodríguez (2014) citando a (Pires et al, 2011) se define como un instrumento de gobernanza que tiene como objetivo regular y controlar las malas prácticas individuales dentro de un área geográfica determinada. Su propósito principal es minimizar y reducir los efectos negativos, alentando a un uso adecuado de los espacios, el entorno natural y promoviendo un desarrollo económico y social sostenible.

Para la Política Nacional 2020 corresponde a un proceso que abarca varios factores, dentro de ellos podemos encontrar caracteres como sociales, profesionales, científicos, técnicos, de ejecución, seguimiento y evaluaciones de la política, todo en búsqueda de tener una correcta gestión del riesgo de desastres y buscando una reducción de esta, mediante acciones y medidas permanentes, del mismo modo se busca gestionar futuras emergencias.

7.2 Remociones en masa

Los procesos de remociones en masa pueden definirse y tener diversas clasificaciones, Dentro de las de las definiciones podemos encontrar variados autores, para Highland & Bobrowsky (2008) definen las remociones en masa como los deslizamientos de tierra, empleando esta terminología para describirlos movimientos de rocas, materiales y suelos que se ven afectados por la fuerza de la gravedad, en combinación con la configuración morfológica del terreno.

Alcántara (2000) por su parte comenta la existencia de una confusión en cuanto a la terminología y definiciones de los procesos de remociones en masa, ya que, la definición de procesos de remoción en masa es variada, estas pueden entenderse como procesos de ladera, procesos gravitacionales, proceso de remoción en masa, aunque de igual forma se le denomina deslizamiento de tierra.

Alcántara (2000), en su definición , aborda los movimientos de ladera como modificaciones que experimenta el terreno con el objetivo de alcanzar un equilibrio frente a los cambios de condiciones ambientales y geológicas, las cuales influyen

significativamente en la morfología de las laderas y en el relieve, (Hauser, 2000) destaca que los procesos de remoción en masa de origen gravitacional, el cual puede observarse por el movimiento o desplazamiento de una porción de terreno hacia una ubicación o cota inferior del punto original.

Chile por su parte se caracteriza principalmente por sufrir procesos de remoción en masa de tipo flujos de barro o detritos y flujos Laharicos (Hauser, 2000). En el periodo de 1978-2017 se ha declarado un total de 1010 víctimas fatales producto de las remociones en masa, con un total de 128 desaparecidos y 882 fallecidos. (Marín, M. V., et al, 2018)

En resumen, los procesos de remociones en masa son fenómenos complejos y las definiciones y terminologías utilizadas varían según los diferentes autores. Sin embargo, todos coinciden en que están estrechamente relacionados con la gravedad, la morfología del terreno, las condiciones ambientales y los cambios geológicos, los cuales desencadenan movimientos de roca, materiales y suelos, con consecuencias significativas para la estabilidad de las laderas en el relieve.

7.3 Causa de los procesos de remoción en masa

Como menciona Alcántara (2000) citando a Terzaghi, (1950), las causas fundamentales que pueden dar origen a procesos de remociones en masa se dividen en factores externos e internos. Los factores externos se caracterizan por generar tensión o esfuerzo en el terreno, pero no afectan directamente a la resistencia de los materiales. Por otro lado, las causas internas disminuyen la resistencia de los materiales sin alterar la tensión o esfuerzos presentes. Los cambios externos más relevantes incluyen aspectos

geométricos que resultan de los procesos erosivos, excavaciones, excavaciones humanas, incisiones de ríos y cargas y descargas. Además, las tensiones pueden tener origen natural o antropogénico, como los sismos, explosiones o el uso de maquinaria pesada en suelos, asimismo, los cambios en el régimen hidrológico también influyen directamente en la estabilidad del terreno.

Se logra distinguir dos movimientos dentro de los procesos de remociones en masa, en el cual los menciona como movimientos internos y externos, en cuanto los movimientos internos se implica la caracterización de los materiales (como las propiedades físicas, la estructura, la litología y el comportamiento hidrológico), en cuanto a los movimientos externos menciona que estos están influenciados por factores como la aplicación de cargas (dinámicas o estáticas), las condiciones climáticas y la alteración en los taludes. (Hauser, 2000)

Highland & Bobrowsky (2008) menciona que existen dos categorías las cuales pueden dar lugar deslizamientos, dentro de las cuales podemos encontrar las naturales y las causadas por la acción antrópica. Estas dos categorías tienen la capacidad de combinarse y potenciarse mutuamente. Los deslizamientos naturales se desencadenan por diversos mecanismos o factores, los cuales pueden operar de manera individual o en combinación como se ha mencionado anteriormente. Estos mecanismos incluyen la actividad volcánica, sísmica y la presencia del agua. Sin embargo, es importante tener en cuenta que los efectos de estos mecanismos pueden variar según otros factores, como la morfología del terreno, los tipos de suelo, la geología, la inclinación de la pendiente del área y la existencia de estructuras o asentamientos humanos que puedan resultar afectados.

Cuadro 1: causas de los movimientos del terreno

Causas de índole geológica	Causas por procesos físicos
Materiales débiles Materiales sensibles Materiales intemperizados Materiales sujetos a cizallamiento Materiales con fisuras y diaclasas Discontinuidades orientadas adversamente (esquistosidad) planos de inclinación) Discontinuidades estructurales (fallas. Discordancias, contactos) Permeabilidad contrastaste Contraste de materiales con diferente plasticidad.	Precipitación intensa Derretimiento rápido de nieve o hielo Eventos de precipitación extraordinarios Actividad sísmica Erupciones volcánicas Gelifracción Expansión e hidratación de arcillas
Causas morfológicas	Causas de origen antrópico
Levantamientos tectónicos o volcamientos Erosión glacial Erosión fluvial al pie de las laderas Erosión marina al pie de los acantilados Erosión glacial al pie de las laderas Erosión en márgenes laterales Erosión subterránea Remoción de la vegetación (por incendios y sequia)	Excavación de laderas o del pie de las laderas Incremento de peso de las laderas Disecación de cuerpos de agua (presas) Deforestación Irrigación Actividad minera Vibraciones artificiales

Fuente: Alcántara 2000 citando a Cruden y Varnes (1996)

7.4 Factores condicionantes y de los procesos de remoción en masa de las remociones.

Como menciona Sepúlveda 1998 los factores condicionantes de las remociones en masa corresponden a los que generan una potencial inestabilidad en el suelo, estos corresponden habitualmente a la geología, geotécnica, vegetación y geomorfología, estos factores pueden controlar la susceptibilidad de un área a producir remociones en masa.

Alcántara (2000) Por otro lado, los factores condicionantes se ven afectados o dependen de la estructura, forma y naturaleza del terreno.

7.4.1 Geomorfología

Los elementos geomorfológicos que afectan a los fenómenos de remoción en masa incluyen principalmente la configuración de la topografía, las pendientes en de las laderas, cambios que puedan ocurrir de manera abrupta en dichas pendientes, al igual que si altura y extensión. Estas características tienen un impacto directo en la velocidad, volumen y energía de las remociones en masa. Además, se debe mencionar que cualquier alteración de los factores puede cambiar la estabilidad de la ladera convirtiéndola en inestable y desencadenando eventos de remoción (Popescu, 2002). De igual forma existen factores como lo son la forma y la superficie de las hoyas hidrográficas, orientación de las laderas u los efectos de su exposición al sol.

7.4.2 Geología y Geotecnia

Lara & Sepúlveda (2008) consideran que la generación de diferentes fenómenos de remoción en masa se ven influenciada en distintos niveles por la geología. Dentro de los factores que pertenecen a esta categoría, se incluyen características como lo son el tipo de depósito y la composición de material, la densidad, plasticidad, humedad y permeabilidad del suelo, estructura, litología de las rocas, meteorización y alteración.

7.4.3 Vegetación

En este contexto, establece que la estabilidad que brinda la vegetación está influenciada por las condiciones climáticas y la topografía del terreno. Por ejemplo, áreas propensas a fuertes vientos, sumado con pendientes pronunciadas pueden llevar a que árboles se desplacen el suelo, generando así inestabilidad en el terreno. Adicionalmente, en regiones con climas lluviosos y vegetación densa, puede ocurrir que la evapotranspiración no logre contrarrestar la alta tasa de infiltración, por consiguiente, el nivel freático aumenta logrando que se pueda satura el material del suelo. (Prieto, 1985 para Lara & Sepúlveda, 2008)

La presencia de vegetación desempeñaría un papel crucial para mitigar el impacto erosivo de las laderas, influenciado por factores como lo es el clima, las propiedades del suelo y la topografía. La existencia de árboles en estas áreas facilitaría la absorción del agua, reduciendo así el nivel de saturación del suelo. Del mismo modo las raíces de los árboles son de gran importancia, ya que estas ayudan a contribuir en la estabilización de las laderas al actuar como una especie de anclaje de refuerzo. Además, el autor

menciona que es importante tener en cuenta que en algunos casos esta estabilización puede ser únicamente superficial. (Selby, 1993 para Lara & Sepúlveda, 2008)

Para lograr la estabilización efectiva de laderas, sería óptimo contar con vegetación en forma de bosques con suelos revestidos de pasto o hierba. En detalle, destaca los impactos clave que la vegetación ejerce sobre la estabilidad del suelo, que engloban la capacidad de la vegetación para interceptar el agua de lluvia, reducir la erosión provocada por el agua en las pendientes, fortalecer la resistencia del suelo y su porosidad. Además, señala que la vegetación contribuiría al aumento de la evapotranspiración del agua, lo cual resultaría en una disminución del grado de saturación del suelo y en la generación de compactación en capas más profundas del suelo. (Selby, 1993 para Lara & Sepúlveda, 2008)

Por otro lado, la escasa presencia de vegetación tiende a tener un efecto de disminución en la estabilidad de las laderas, lo cual evidencia una alta sensibilidad a sufrir por la erosión hídrica, en términos generales las raíces actúan como un elemento estabilizado de las laderas. (Greenwood & Norris, 2006 para Lara & Sepúlveda, 2008).

7.4.4 Actividad antrópica

Con frecuencia, el control que los seres humanos ejercen sobre la estabilidad de las laderas desempeña un papel fundamental en la ocurrencia de eventos de remoción en masa. Actividades que desempeña como explotaciones, excavaciones, rellenos y

modificaciones en los usos de suelo, entre otras ayudan e inciden en la generación de deslizamientos. Estas acciones pueden contribuir tanto a la desestabilización de las laderas como a la provisión de material susceptible a ser desplazado en eventos futuros, así también como a la alteración en la escorrentía superficial y la topografía. además, se agrega la deforestación que a menudo deriva de las actividades ilegales de tala. Lara & Sepúlveda, 2008

7.4.5 Hidrología e hidrogeología

Lara & Sepúlveda, 2008 mencionan que los factores hidrológicos tales como lo son La red de drenaje, las posiciones y variaciones del nivel freático, caudales, son factores que están directamente relacionados con la generación de remociones en masa, esto debido a que la incorporación del agua en macizos rocosos o en el suelo.

El suelo alcanza niveles variables de cohesión en su estado saturado, influenciados por su composición granulométrica. La presencia de agua en la matriz del suelo, que en ciertos casos lleva a la saturación, conlleva a una reducción en la resistencia del material. Este fenómeno se traduce en una disminución de la tensión efectiva debido a la generación de presiones poros. En el caso de las rocas, la infiltración del agua puede contribuir a la pérdida de resistencia al introducirse en las estructuras, aplicando tensiones que actúan en sentido contrario a las que mantienen la estabilidad del material (Lara, 2007).

7.5 Factores desencadenantes de los procesos de remoción en masa de las remociones.

Los factores detonantes con mayor frecuencia para las remociones en masa corresponden a la intensidad de lluvias, movimientos sísmicos, aplicaciones de carga y modificaciones en las pendientes. (Mardones & Rojas, 2012)

Por su parte Alcántara (2000) afirma que los factores determinantes de los movimientos de laderas son aquellos que poseen la capacidad de alterar las fuerzas tanto internas como externas que actúan sobre el terreno. En cuanto a los Factores desencadenantes los considera como los responsables de originar y desencadenar las inestabilidades en el terreno, estos suelen influir en la velocidad y magnitud del movimiento.

Para la autora Citando a Wienczorek (1996) los factores desencadenantes corresponden a elementos externos los cuales provocan una respuesta que se manifiesta en una remoción en masa mediante un rápido aumento de los esfuerzos o de la disminución de la resistencia del material en una ladera. Los agentes desencadenantes que destacan o que son más comunes en las remociones en masa corresponden a las lluvias intensas y los terremotos, del mismo modo en un segundo plano las actividades humanas, la fusión de la nieve, las erupciones volcánicas, la erosión de los causes, entre otros.

7.5.1 Precipitaciones

Hauser (2000) menciona que el factor desencadenante en la mayoría de los procesos de remoción en masa corresponde al agua, en este caso las precipitaciones, ya que

producen una disminución en la resistencia del corte y presiones que pueden ayudar a la ruptura del suelo.

Por su parte, González *et al.* (2002) para Lara & Sepúlveda (2008) enfatizan en que las lluvias, como desencadenantes de remoción en masa, están vinculadas a su intensidad, duración y distribución. En este sentido, lluvias de baja intensidad durante lapsos prolongados y precipitaciones intensas en cortos periodos podrían desencadenar eventos de remoción en masa en áreas propicias para tales sucesos.

Del mismo modo es de relevancia mencionar la ocurrencia de fenómenos climáticos como lo es el reconocido fenómeno de El Niño, donde se observa una propensión hacia las precipitaciones excesivas, que están caracterizadas por inviernos que cuentan con días lluviosos de gran intensidad, junto con niveles elevados de caudales líquidos de escorrentía. Para el caso de Chile, las regiones centrales dentro de los últimos 50 años se ha correlacionado la ocurrencia de remociones en masa principalmente flujos de barro y detritos por la presencia del fenómeno de El Niño (García, 2000; Sepúlveda *et al.*, 2006).

7.5.2 Sismos

La ocurrencia de movimientos telúricos o sismos es una de las causas principales de que se generen procesos de geodinámica externas tales como deslizamientos de tierra, derrumbes, desprendimientos, entre otros. Estos eventos sísmicos actúan como desencadenantes de dichos fenómenos. (Huarcaya Fernández Baca, P. O., & Villalba Velasque, J. 2016)

Los sismos representan importantes desencadenantes de remociones en masa en diversos contextos geológicos y topográficos. Las aceleraciones sísmicas provocan cambios temporales en los niveles de esfuerzo a los que están sometidas las laderas, tanto en términos normales como de corte, lo que puede resultar en inestabilidad de las laderas. (Lara & Sepúlveda, 2008)

7.6 Clasificación de remociones en masa

En cuanto a la clasificación de remociones en masa Alcántara (2000) menciona que éstas hacen referencia a la involucración de los tipos de materiales, en los cuales suelen distinguirse materiales rocosos, derrubios y suelos, de igual forma suele considerarse otros aspectos que afectan, tales como la velocidad y magnitud del movimiento, la cantidad de agua que contenga el terreno.

Por su parte Alcántara (2000) menciona que las clasificaciones de procesos de remoción en masa con mayor aceptación y la cual es aplicada en un marco internacional que se basa en el mecanismo de movimiento, las cuales se dividen en Vuelcos o Desplomes (*Topples*), Caídas o Desprendimientos (*Falls*), Deslizamientos (*Slides*), Flujos (*Flows*), Expansiones laterales (*Lateral spreanding*) y movimientos complejos (*Complex movements*), del mismo modo menciona que una completa clasificación es aquella que recopila EPOCH (1993) la cual en base a lo planteado por Varnes (1978) y Hutchinson (1988) se logra la creación de un margen que logra diferenciar entre los tipos de movimientos y los materiales que se vean involucrados.

Imagen 2: Clasificación de los procesos de remoción en masa.

Mecanismos de movimiento		Tipo de material involucrado	
Tipo	Roca (Rock)	Derrubios (Debris)	Suelo (Soil)
Desprendimiento (Fall)	Caída o desprendimiento de rocas (Rockfall)	Caída o desprendimiento de derrubios (Debris Fall)	Caída o desprendimiento de suelos (Soil Fall)
Vuelco o desplome (Topple)	Vuelco o desplome de rocas (Rock Topple)	Vuelco o desplome de derrubios (Debris Topples)	Vuelco o desplome de suelo (Soil topple)
Deslizamiento rotacional simple (Rotational Slide)	Individual (Simple) Múltiple (Multiple) Sucesivo (Successive)	Individual (Simple) Múltiple (Multiple) Sucesivo (Successive)	Individual (Simple) Múltiple (Multiple) Sucesivo (Successive)
Deslizamiento translacional o de bloques no rotacionales (Translational Slide, non-rotational)	Deslizamiento de roca en bloque (Block Slide)	Deslizamiento de derrubios de bloque (Block Slide)	Deslizamiento translacional del suelo (Slab Slide)
Deslizamiento planar	Deslizamientos de rocas (Rock Slide)	Deslizamiento de derrubios (Debris Slide)	Coladas de barro (Mudslide)
Flujos (Flow)	Flujos de rocas (Rock Flow)	Corrientes de derrubios (Debris Flow)	Flujos de tierra, arena o suelos (Soil Flow)
Expansión lateral (Lateral spreading)	Expansiones laterales en Roca (Rock Spreading)	Expansiones laterales en derrubios (Debris Spread)	Expansiones laterales de suelo (Soil Spreading)
Complejo (Complex)	Ejemplo: Alud de rocas (Rock Avalanche)	Ejemplo: Flujo deslizante (Flow Slide)	Ejemplo: Rotación con flujo de tierra (Slump-Earthflow)

Fuente: Elaboración Propia en base a Alcántara 2000 citando EPOCH (1993); Varnes (1978) y Hutchinson (1988)

7.7 Susceptibilidad ante procesos de remoción en masa

La susceptibilidad ante procesos de remoción en masa es definida como cierto grado de predisposición que puede tener un lugar o área en la cual pueda generarse alguna amenaza, esto debido a factores que puedan detonar las remociones en masa sumado a sus condiciones intrínsecas (Becerra & De Rurange, 2018). Según Sepúlveda (1998), la susceptibilidad a los procesos de remoción en masa se refiere a la probabilidad de ocurrencia de estos eventos en una zona específica. Además, por su parte Glade et al., (2005) para Lara (2007) mencionan que la susceptibilidad a los deslizamientos de tierra puede definirse como una propensión de un área en la cual puedan ocurrir deslizamientos de tierra.

La susceptibilidad a deslizamientos de tierra señala la posibilidad de ocurrencia de una falla de talud en alguna zona, esta puede verse influenciada por características tanto geológicas, geomorfológicas, estructurales y la vegetación de esa área (Guerriero et al., 2023). Por otro lado, la Organización de los Estados Americanos (OEA, 1993) menciona que la susceptibilidad a los procesos de remoción en masa se puede determinar mediante la zonificación del peligro y la creación de mapas de susceptibilidad. Estos mapas permiten analizar el riesgo de posibles deslizamientos en el territorio, convirtiéndose en una herramienta de gran importancia en el contexto de la planificación territorial. Por su parte, SERNAGEOMIN (2022) define la susceptibilidad ante proceso de remoción en masa como la potencialidad de una unidad geomorfológica o geológica que pueda ser afectada o producir un proceso geológico determinado, la susceptibilidad representa la probabilidad de ocurrencia espacial y no la probabilidad temporal de que se produzca un deslizamiento.

7.8 Mapas de susceptibilidad ante remociones en masa

Los mapas de susceptibilidad ante remociones en masa facilitan la identificación de las áreas de un territorio que actualmente están afectadas o que podrían verse expuestas a estos procesos. Para su creación resulta imprescindible una clara comprensión de los agentes que controlan el proceso, sumado a la cantidad de datos que se recolectan. (Carrasco et al., 2002)

Los mapas de susceptibilidad a deslizamientos de tierra muestran áreas con alta y baja propensión a deslizamientos de tierra y pueden usarse para tomar medidas preventivas por adelantado antes de que se produzcan daños. (Tien Bui et al., 2014)

Para Jiménez (2005) los mapas de susceptibilidad son útiles y tienen como objetivo evaluar las características geotécnicas de estabilidad de las pendientes para la preparación de proyectos urbanos, construcciones civiles o cambios en la topografía. Se puede entender que los mapas de susceptibilidad son de suma importancia para ser de referencia en cuanto a las acciones mencionadas anteriormente, ya que éstas pueden llevarse a cabo con mayor o menor complicaciones en relación con la inestabilidad del terreno.

7.9 Incendios forestales

Según la definición proporcionada por la Corporación Nacional Forestal, un incendio forestal se describe como un fuego que se extiende de manera descontrolada en áreas rurales, independientemente de su causa de origen. Este tipo de incendio tiene el potencial de representar una amenaza significativa para los habitantes, sus viviendas y

el entorno, ya que puede afectar por medio de vegetación leñosa, herbácea o arbustiva (CONAF, 2017)

El fuego es un proceso que requiere oxígeno y materiales inflamables como fuente de ignición. Valenzuela & Cáceres, (2011) citando a Ladnsberg, J (1997) cuando este proceso no puede ser controlado se le denomina incendio. En palabras de Salas, F (2013) citado por los mismos autores, se refiere a los incendios forestales como aquellos incendios incontrolados que afectan a vegetación cerca de plantaciones forestales, envolviéndola en los efectos destructivos del fuego.

Se define los incendios de magnitud como el incendio que afecta desde 200 hectáreas en adelante una zona, tomando en cuenta los impactos ambientales, económicos y ecológicos que puedan verse envueltos provocando una gran cantidad de daños siendo responsables de estos en su mayoría el factor antrópico, haciendo una relación entre el aumento y la disminución de las actividades silvoagropecuarias en diferentes zonas, el aumento de población en zonas rurales creando así un aumento en las conectividades de los terrenos urbanos- rurales. (CONAF, 2010)

En la actualidad, la ocurrencia de incendios forestales impacta no solo a las plantaciones, sino que, de igual forma al bosque nativo, y la causa principal se liga directamente con la actividad antrópica. Ejemplos notables incluyen a incendios ocurridos como el que ha afectado a la Reserva Nacional de Malleco, China Muerta, la tormenta de fuego de 2017, y los más recientes ocurridos en el verano de 2023, entre otros. Estos incidentes repercuten de una manera negativa a los suelos, exponiéndose a la amenaza de la erosión y la pérdida de la biodiversidad (Ipinza Carmona et al., 2023)

7.10 Causas de los incendios forestales

Según Mcwhethy et al., (2018) los incendios forestales suelen producirse en zonas de climas mediterráneos, los cuales se caracterizan por tener primavera con condiciones climáticas suaves y una cantidad considerable de lluvia, las cuales favorecen al crecimiento de vegetación. Sin embargo, durante los veranos posteriores la situación cambia, ya que las altas temperaturas y la falta de humedad convierten a esa vegetación en material que puede quemarse fácilmente.

Dentro del marco de los incendios forestales, los factores causales muestran variaciones según la región geográfica, los aspectos socioculturales de las naciones, la percepción del manejo del fuego para diversas actividades silvoagropecuarias y aspectos normativos que rigen dicha actividad. En muchas instancias, el aumento deliberado y la utilización irresponsable del fuego intensifican la problemática de desencadenar un incendio forestal, generando así un incremento en las estadísticas de estos incidentes. En ecosistemas mediterráneos como lo es el caso del sur de Australia, California, Europa del sur Nueva Zelanda y Chile, este fenómeno se ve relacionado estrechamente por la actividad humana, siendo la intencionalidad una de las causas principales de los incendios forestales, con variaciones y énfasis que dependen de los países mencionados anteriormente. (Castillo et al. 2019)

Por su parte Úbeda & Francos (2018) hablan sobre las causas que siempre suelen ser mencionadas, tales como causas antrópicas las cuales abarca las negligencias, accidentes e intencionalidades, y las causas naturales, del mismo modo se menciona que dichas causas son solo el inicio de del desastre, se debe realizar un estudio o investigación con mayor profundidad, en países desarrollados suelen verse afectados

por los cambios de usos de suelo, los aumentos de masas forestales causando estrés hídrico, del mismo modo el cambio climático sería un causante de origen de los incendios forestales, por momentos en los cuales hacen presencia olas de calor o años en donde la sequía puede ver afectada a un país.

En el estudio realizado por González et al., (2020) se han establecido potenciales relaciones entre las actividades humanas y el régimen de fuego, incluyendo el cambio climático antropogénico, el aumento en las zonas donde convergen viviendas y formaciones vegetacionales áreas de interfaz urbano-rural y el incremento de plantaciones forestales de especies de alta inflamabilidad, lo que se evidencia en que cerca del 60% de los incendios se originan en áreas de interfaz urbano-rural (Sánchez et al., 2023).

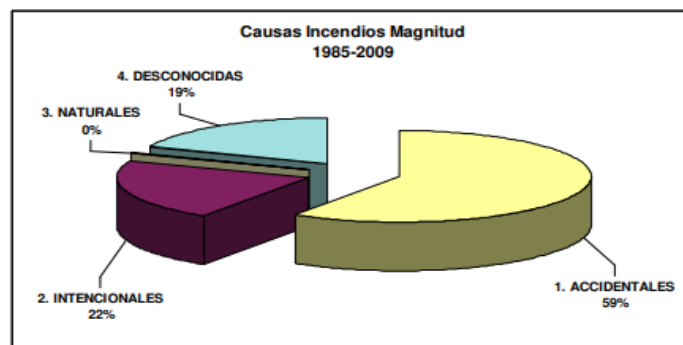
7.11 Impacto de los incendios forestales en el territorio

Los incendios forestales, como se ha mencionado anteriormente, constituyen la causa primordial de la reducción de los bosques y la degradación de suelos fértiles a nivel global. Estos incidentes representan una significativa fuente de liberación de carbono y otras partículas, contribuyendo de manera sustancial al fenómeno del calentamiento global (Valenzuela & Cáceres, 2011). Además, la emanación de humo disminuye la actividad fotosintética de árboles y plantas, afectando negativamente tanto la salud humana como la de los animales. Los efectos y respuestas del ecosistema forestal están directamente vinculados a la dinámica del incendio, lo que implica que las alteraciones físicas, químicas y biológicas en los suelos dependen del tipo de fuego y de las condiciones inherentes al terreno. Es por esta razón que entidades gubernamentales

como CONAF y ONEMI se esfuerzan en prevenir estos incidentes mediante diversas campañas preventivas. (Valenzuela & Cáceres, 2011)

Respecto a los efectos que producen los incendios forestales, se identifican pérdidas humanas, suelo y agua, daños en propiedades públicas y privadas, disminuciones en las fuentes de trabajo, pérdidas o paralizaciones del sector industrial; y efectos climatológicos de pequeña y gran escala, incluyendo la reducción de la disponibilidad de oxígeno y contaminación de la atmósfera (Castillo et al., 2003). El impacto de los incendios forestales incluye también cambios en los regímenes de vientos locales, aumento en la radiación solar, una disminución en la humedad ambiental, el suelo por su parte se vería afectado por erosiones y pérdida en su composición, la vegetación puede verse afectado fisiológicamente, teniendo una pérdida de esta y alterando, los recursos hidrológicos pueden verse afectados, contaminando las aguas, disminuyendo su capacidad de recargas, sedimentando y alterando sus caudales, además de tener un aumento en la escorrentía superficial, sumado a esto tendríamos una pérdida de hábitat afectando el paisaje junto a su biodiversidad (Castillo et al., 2003)

Figura 3: Causas de incendios de magnitud 1985-2009



Fuente: (CONAF, 2010)

Tabla 3: Efectos socioeconómicos y ecológicos derivados de los incendios forestales.

Efectos socioeconómicos	Efectos ecológicos
En la salud pública: Contaminación de los suelos, agua y atmósfera	En el clima, a pequeña y gran escala: <ul style="list-style-type: none"> ● Cambio en los regímenes de vientos ● Aumento de la radiación solar y disminución de la humedad ambiental ● Reducción de la disponibilidad de oxígeno ● Contaminación atmosférica
Daños a la propiedad pública y privada	En el suelo: <ul style="list-style-type: none"> ● Erosión y pérdida de suelos ● Deterioro de las propiedades físicas y químicas ● Pérdida de nutrientes ● Destrucción de la microfauna y estrata orgánica no incorporada al suelo.
Paralización de procesos productivos	En la vegetación <ul style="list-style-type: none"> ● Muerte de tejidos vegetales, alteraciones fisiológicas y deformaciones ● Incremento de plagas y enfermedades ● Cambios en la sucesión vegetal y entrada de vegetaciones invasora ● Alteraciones y pérdidas en la regeneración natural
Disminución de fuentes de trabajo	En los recursos hídricos: <ul style="list-style-type: none"> ● Alteraciones en las relaciones hídricas ● Aumento de la escorrentía superficial ● Contaminación de las aguas ● Sedimentación y embacamiento ● Deseccación de los acuíferos
Pérdidas económicas directas	En el paisaje <ul style="list-style-type: none"> ● Fragmentación ● Desertificación En la bio diversidad <ul style="list-style-type: none"> ● Pérdida de especies de flora y fauna silvestre ● migración de animales, aves e insectos ● Rupturas en las cadenas alimenticias y alteraciones en las sucesiones ecológicas.

Fuente: Elaboración propia en base a (Valenzuela & Cáceres, 2011)

7.12 Relación entre incendios forestales y procesos de remoción en masa

Entre los efectos de los incendios, resulta importante destacar la disminución significativa de la vegetación, los cambios en la geotecnia y la permeabilidad del suelo, suelen tener como consecuencia la ocurrencia de deslizamientos de tierra (Fuenzalida., 2015).

Los incendios forestales afectan directamente el equilibrio natural de los suelos y las condiciones hidrológicas: luego de que un bosque se quema, los suelos por lo general se vuelven impermeables al agua, esto genera una disminución en la capacidad de absorción del suelo debido al fuego (McGuire et al., 2018). A su vez, genera un fenómeno denominado como ciclo de incendio-inundación el cual trata de un aumento de posibilidad de inundaciones y un aumento en la susceptibilidad a deslizamientos de tierra causados por la escorrentía. (Rengers et al 2020). Los flujos de escombros que ocurren después de un incendio forestal al ser una mezcla de agua y rocas sueltas que fluyen cuesta abajo pueden ser extremadamente peligrosos y por lo cual esto podría generar un alto número de pérdidas humanas (Kean et al., 2019).

Imagen 1



Fuente: Fotografía Juan Vidal Soto, Incendios Forestales Santa Juana 2023.

8 Metodología

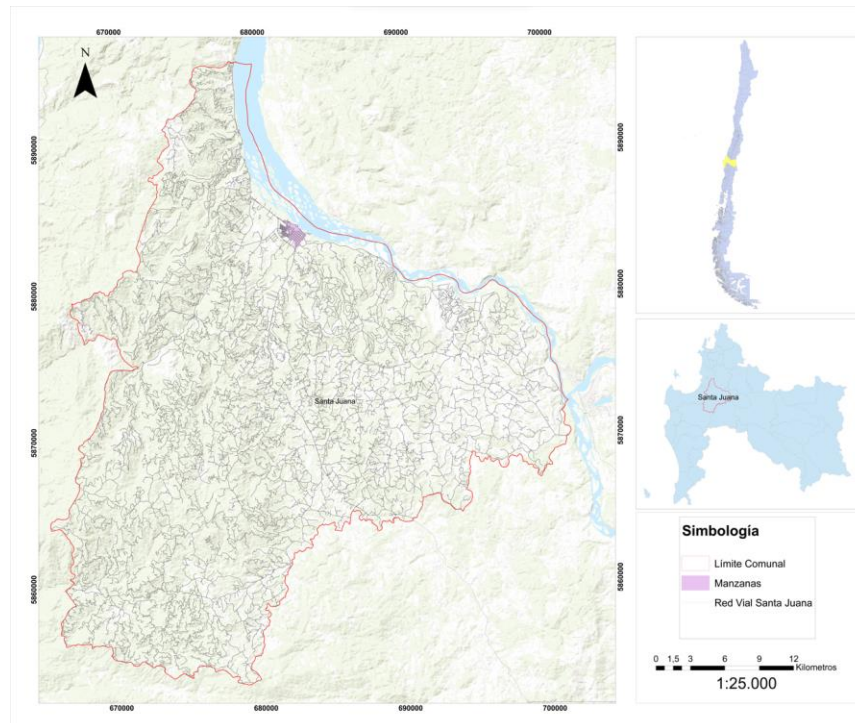
8.1 Enfoque Metodológico

La investigación consta de búsqueda y análisis de fuentes bibliográficas en donde se buscará principalmente generar un catastro de remociones en masa enmarcado dentro de la comuna de Santa Juana, sumado a esto la recopilación de datos geográficos, salidas a terreno que posteriormente serán utilizados mediante sistemas de información geográficos ArcGIS. La metodología utilizada se basa en un enfoque estadístico bivariado los cuales cuantifican la susceptibilidad a los deslizamientos de tierra mediante el cálculo de los valores de peso de cada clase de factores individuales relacionados con los deslizamientos.

8.2 Área de estudio

Santa Juana es una comuna ubicada en la provincia de Concepción, región del Biobío, Chile, emplazada al sur del Área Metropolitana de Concepción, eminentemente una zona rural, la cual según datos recopilados del Censo 2017 cuenta con una población de 13.749 habitantes y con una superficie total 731,2 km². (INE, 2017) en base a recopilación de antecedentes de la prensa digital se ha observado el actuar de remociones en masa en la ruta de la madera (km156) la cual conecta Concepción con Santa Juana. últimamente los incendios forestales ocurridos en la comuna de Santa Juana que han afectado fuertemente flora, fauna, infraestructura, pérdidas humanas, del mismo modo mencionar las remociones en masa las cuales se han detectado dentro del Área metropolitana de Concepción, dejando damnificados por su proceder.

Figura 4: Área de estudio Comuna de Santa Juana

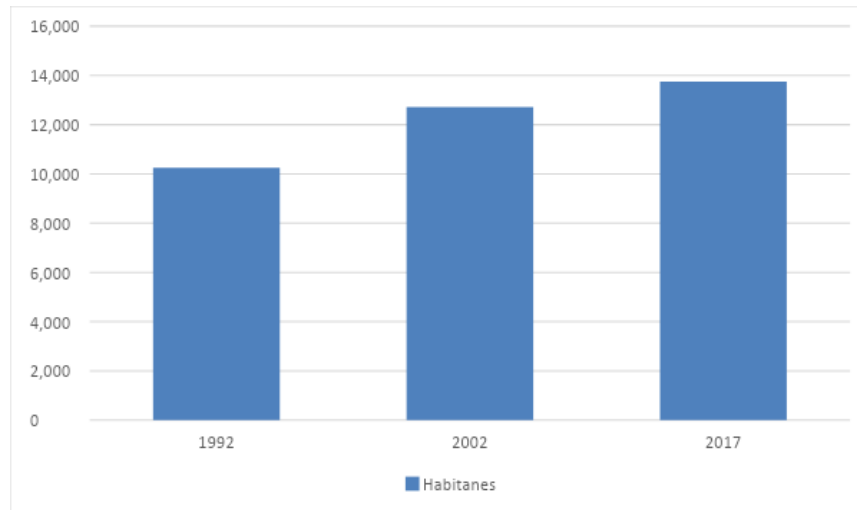


Fuente: Elaboración propia.

8.3 Antecedentes Demográficos

Los datos a continuación provienen de los Censos de población y viviendas realizados por el instituto nacional de estadísticas (INE) en los años 1992, 2002 y 2017. Según la información proporcionada por el INE, la población total para la comuna de Santa Juana en el Censo realizado en 1992 corresponde a 10.248 habitantes. Para el año 2002, la población aumentó a 12.713 habitantes y para el año 2017, el número de habitantes incrementó a 13.739.

Figura 5: Datos demográficos de la comuna de Santa Juana en base a censos realizados en 1992, 2002 y 2017.



Fuente: elaboración propia en base a Censos 1992, 2002 y 2017.

8.4 Antecedentes climáticos

Para tener un acercamiento sobre los antecedentes climáticos que enmarcan a la comuna de Santa Juana se ha optado por analizar los datos de precipitaciones históricas anuales registrados por la estación carriel sur, la cual entrega información primeramente sobre la comuna de Concepción y comuna aledañas. Con base en esto, los valores pueden tener diferencias con las precipitaciones reales que han ocurrido en el área de estudio.

Tabla 2. Precipitaciones periodo años 1990-2020 de la ciudad de Concepción. Datos estación meteorológica Carriel Sur.

Año	Temperatura media	Año	Temperatura media	Año	Temperatura media
1990	848	2001	1358.6	2012	742.4
1991	1142.4	2002	1363.2	2013	599.8
1992	1454.9	2003	871.7	2014	980.8
1993	1146.2	2004	1126.9	2015	715.4
1994	844.3	2005	1382.9	2016	616
1995	952.9	2006	1315.5	2017	929.8
1996	630.8	2007	779.4	2018	781.3
1997	1535	2008	1137	2019	715.6
1998	598.6	2009	935.2	2020	808.8
1999	1091.2	2010	760.2		
2000	1406.4	2011	762.4		

Fuente: elaboración propia en base a datos de estación meteorológica Carriel Sur.

Tabla 3. Temperatura media (°C) periodo años 1990-2005 de la ciudad de Concepción. Datos estación meteorológica Carriel Sur.

Año	Total Anual	Año	Total Anual	Año	Total Anual
1990	12.5	2001	12.5	2012	13.1
1991	12.8	2002	12.2	2013	12.9
1992	12.8	2003	12.9	2014	13.2
1993	13.1	2004	13	2015	13.4
1994	13.1	2005	12.8	2016	13.6
1995	12.8	2006	13	2017	13.1
1996	13.2	2007	11.9	2018	12.8
1997	13.6	2008	13.1	2019	13.2
1998	13	2009	12.6	2020	13.1
1999	13	2010	12.4		
2000	12.7	2011	12.6		

Fuente: elaboración propia en base a datos de estación meteorológica Carriel Sur.

Conforme a la clasificación de Köppen, la comuna de Santa Juana exhibe la preeminencia de dos tipos de clima: el primero, corresponde a un clima templado cálido con lluvias invernales, y el segundo, un clima templado lluvioso que prevalece en el sector oriental. De acuerdo con el atlas agroclimático de Chile Universidad de Chile, las temperaturas de Santa Juana pueden oscilar entre los 27,8°C en enero y una mínima de 4,2°C en julio, su temperatura media anual sería de 19°C (CIREN, 2021).

8.5 Métodos y técnicas

8.5.1 Mapa de inventario de remociones en masa

Para determinar la ocurrencia de remociones en masa en el área de estudio entre el periodo de 1990 y 2019 se ha examinado el Diario El Sur, desde el 1 de mayo de 1990 hasta el 31 de septiembre de 2019, del mismo modo se ha realizado una búsqueda a

través de prensa digital buscando reportes de eventos de remociones en masa en la comuna de Santa Juana.

8.5.2 Metodología utilizada Frequency Ratio

El Frequency Ratio (FR) o índice de frecuencia, es uno de los modelos probabilísticos que más suelen ser utilizados a la hora de realizar estudios de susceptibilidad a remociones en masa (RM). Algunos autores plantean que, dentro de los métodos bivariados existentes, el FR puede tener una mayor precisión y exactitud (Li et al., 2017). Mientras otros autores, atribuyen la popularidad del método a su simplicidad (Acharya & Lee, 2018). Cuando el FR da un valor superior a 1, indica una correlación mayor respecto a la ocurrencia de deslizamientos de tierra y la clase de un factor condicionante. Por otro lado, cuando resulta un valor menor a 1, indica que existe una correlación menor (Prakash Biswakarma, 2023)

Boukhres et al., 2023, plantean que el FR se basa en un análisis bivariado entre variables que se modelarán y variables predictoras. Del mismo modo, exponen que este método se centra en analizar la relación entre la superficie del fenómeno y la superficie total del área a estudiar. El FR puede reflejar la relación de respuesta entre deslizamientos de tierra y factores ambientales básicos, y caracterizar el grado relativo de influencia de cada atributo de los factores ambientales en la ocurrencia de deslizamientos de tierra. Cuando el FR es mayor que 1 indica una fuerte correlación entre la ocurrencia de RM y la clase de un factor condicionante y lo contrario cuando el valor es menor que 1 (Kumar et al., 2019).

La fórmula para calcular el FR según Acharya & Lee (2018) corresponde a:

$$FR = \frac{N_{pix}(LX_i) / \sum_{i=1}^m N_{pix}(LX_i)}{N_{pix}(X_j) / \sum_{j=1}^n N_{pix}(X_j)}$$

FR es la relación de frecuencia de la clase i del parámetro j. $N_{pix}(LX_i)$ es el número de píxeles con remociones en masa dentro de la clase i del parámetro X. $N_{pix}(LX_j)$ es el número de píxeles de clases del parámetro variable X_j . m es el número de clases en el parámetro variable X_i , y n es el número de parámetros en el área de estudio (Acharya & Lee, 2018). Posteriormente, los FR son normalizados en un rango de valores de probabilidad [0,1] como Frequency Relative (RF) (Acharya & Lee, 2018). El RF para cada clase se calcula con la siguiente ecuación.

$$RF = \frac{FR_{ij}}{\sum_{i=1}^m FR_{ij}}$$

A continuación, se calcula la tasa de predicción (PR), la cual sirve para calcular el peso de cada parámetro, la tasa de predicción abarca la interrelación que existe entre las variables independientes. (Acharya & Lee, 2018) con la siguiente ecuación.

$$PR = \frac{(RF_{\max} - RF_{\min})}{(RF_{\max} - RF_{\min})_{\min}}$$

Para finalizar, el Índice de Susceptibilidad a Remociones en Masa (LSI) se calcula, en base a la sumatoria del producto del PR de cada factor y el RF de cada clase (Acharya & Lee, 2018).

$$LSI = \sum (PR * RF)$$

8.6 Validación para Frequency Ratio

Para poder validar y evaluar el resultado de susceptibilidad obtenido mediante el modelo Frequency ratio se ha optado por utilizar el área bajo la curva, está brinda herramientas para poder diferenciar dos clases, las cuales están establecidas a través de una prueba de diagnóstico, de igual modo esta prueba de diagnóstico puede ser utilizada con el total de puntos realizados. (Cantarino et al. (2019)

La ventaja que se obtienen mediante el método de ROC corresponde a su independencia del número de umbrales que se consideran para los cálculos, Suponiendo n clases de índices de susceptibilidad a remociones en masa se pueden definir n+1 umbrales, primer valor umbral (i=1) es inferior al índice de susceptibilidad mínimo observado, y el último valor de límite (i=n+1) es más alto que el máximo índice de susceptibilidad. Cada umbral forma una matriz de confusión en la que se definen cuatro tipos de píxeles: verdaderos positivos (TP), falsos positivos (FP), verdaderos negativos (TN) y falsos negativos (FN)

(Vakhshoori & Zare, 2018). Los píxeles TP y FN son remociones en masa dentro de las clases por encima y por debajo del valor del umbral, respectivamente, y que, por el contrario, los píxeles TN y FP son los píxeles estables dentro de las clases por debajo y por encima del valor del umbral, respectivamente (Vakhshoori & Zare, 2018). A partir del número de píxeles en cada umbral, se calculan la Tasa de Positivos Verdaderos (TPR) y la Tasa de Falsos Positivos (FPR).

$$TPR = \frac{TP}{TP+FN}$$

$$FPR = \frac{FP}{TN+FP}$$

TPR y FPR son representados en el trazado del eje Y y en el eje X de la curva de ROC, (Sheng et al., 2022; Vakhshoori & Zare, 2018). Estos forman los puntos (1,1) en la curva para el primer umbral ($i=1$), y el punto (0,0) para el último umbral ($i=n+1$). La ecuación para obtener el área bajo la curva se presenta de la siguiente forma:

$$AUC = \sum_{i=2}^{n+1} \frac{1}{2} \sqrt{(x_i - x_{i+1})^2 \cdot (y_i + y_{i+1})}$$

Finalmente, el valor que el área bajo la curva nos brinda la tasa de exactitud del modelo, ya que se involucran datos de entrenamiento, del mismo modo obtenemos la tasa de predicción con el conjunto de datos de prueba (Vakhshoori & Zare, 2018).

Los valores del Área bajo la curva se interpretan son analizados en base a la siguiente clasificación: excelente (0,9 – 1); muy bueno (0,8 – 0,9); bueno (0,7 – 0,8); moderado (0,6 – 0,7) y pobre (0,5 – 0,6) (Thongley & Vansarochana, 2021)

8.7 Parámetros para determinar el índice de susceptibilidad de Remociones en Masa

Dentro de los parámetros que se utilizarán para evaluar la susceptibilidad del área de estudio en base al trabajo realizado por Chen et al (2016), se ha optado por los siguientes: altitud, distancia de drenaje, pendientes, Coberturas de Suelo, litología, orientación de laderas, forma de la pendiente, distancia de drenaje y finalmente la distancia de caminos.

8.7.1 Altitud

Liu et al. (2022) definen la elevación o altura como una distancia vertical medida desde un punto en relación con el nivel medio del mar. Según Zhang et al, 2022, la elevación también es un factor comúnmente considerado en la propensión a remociones en masa. La altitud o elevación, tiene una conexión directa e indirecta con los deslizamientos de tierra. Un aumento en la altitud puede resultar en un mayor grado de inclinación. (Saranaathan et al. 2021). Es crucial destacar que la elevación, como parámetro importante, indica la altura de un área sobre el nivel medio del mar. Terrenos con altitudes más elevadas y pendientes pronunciadas son particularmente susceptibles a remociones en masa. (Eitvandi et al, 2022)

8.7.2 Distancia de drenaje

La distancia de drenaje, o distancia de corrientes, es un factor determinante para la estabilidad de los taludes, según Yalcin et al., 2011 los niveles de saturación de los

materiales tienen un impacto directo en la estabilidad, y la proximidad de los taludes a las redes de drenaje juega un papel crucial en este aspecto. La cercanía a arroyos o cursos de agua puede generar efectos adversos, ya que estos tienen el potencial de erosión. En este contexto, la interrelación entre las aguas subterráneas y los cursos de agua también es de gran importancia, como señalan Yalcin et al., 2011 las aguas subterráneas modifican directamente las propiedades del agua superficial al mantener el flujo de base del curso del agua.

El caudal base, que representa el estado normal de los ríos durante periodos sin lluvias o deshielo, está directamente relacionado con las aguas subterráneas. Estas proporcionan un flujo base para la mayoría de los ríos, teniendo un impacto significativo en la cantidad de agua y la composición química de los ríos. En arroyos más pequeños, las aguas subterráneas contribuyen considerablemente al aumento de la descarga durante y después de intensas lluvias, intensificando así el impacto en los deslizamientos de tierra, según Yalcin et al., 2011.

Chen et al. (2016), destaca la relación entre la escorrentía y los deslizamientos de tierra. La escorrentía desempeña un papel importante como factor desencadenante de los deslizamientos, ya que los ríos son los principales mecanismos que contribuyen a la ocurrencia de remociones en masa. Adicionalmente, Zhang et al. (2016) menciona la distancia de drenaje como la distancia a las masas de agua, indicando que los cuerpos de agua pueden afectar negativamente la estabilidad de los taludes mediante la erosión o al saturar la parte inferior del material, lo que resulta en un aumento del nivel del agua.

8.7.3 Distancia de carretera

La distancia de carreteras o proximidad de las vías se ha identificado como uno de los factores antropogénicos más significativos que influyen en la ocurrencia de remociones

en masa, según Chen, W., Chai, H., Sun, X. et al. (2016). Estos deslizamientos pueden originarse durante la construcción de carreteras, especialmente

En el proceso de construcción de carreteras, las acciones emprendidas por las personas, como la excavación manual en la cima de los taludes y el uso de explosivos, alteran la composición original de la roca y el suelo. Estas operaciones afectan directamente la estabilidad de los elementos y contribuyen al aumento de la ocurrencia de remociones en masa (Bin L, et al 2021).

Las remociones en masa pueden ocurrir tanto en las propias carreteras como en las laderas intervenidas por la construcción de estas. Las remociones en masa son frecuentes a lo largo de los tramos excavados para las carreteras, principalmente debido al deterioro de la configuración natural de las pendientes durante el proceso de construcción. La excavación expone las uniones y fracturas que contribuyen a la inestabilidad de los taludes Zhang, G., et al. (2016). Para mitigar el riesgo de deslizamientos de tierra, la construcción de carreteras y sus trazados debe basarse en principios de planificación que minimicen la perforación de taludes, la deforestación y cambios en las cargas hidrológicas adicionales que podrían desestabilizar la ladera. (Eitvandi, N., et al, 2022).

8.7.4 Pendientes.

La pendiente representa el grado de inclinación que puede existir en un terreno, por lo que podemos entender que mientras más empinado se encuentre un terreno mayor será su susceptibilidad a deslizamientos de tierra. Liu, LL., et al. (2022). La pendiente juega

un papel crucial en la evaluación de la estabilidad de las laderas y al momento de cartografía la susceptibilidad a deslizamientos de tierra mediante sistemas de información geográficos (SIG). La pendiente impacta en el nivel de presión del agua en poros lo que a su vez influye en la concentración de humedad y por ende afecta a la estabilidad de las pendientes. Melese, T., Belay, T. & Andemo, A. (2022). El ángulo que pueda tener una pendiente es el factor principal que afectaría la en la estabilidad de la pendiente. Mediante va aumentando el ángulo de pendiente, generalmente aumenta el esfuerzo cortante en el suelo. Gholami, M., Ghachkanlu, E.N., Khosravi, K. *et al* (2019

8.7.5 Forma de la pendiente

La forma de la pendiente o curvatura del perfil se refiere al gradiente de la pendiente, la cual se entiende como el cambio en la inclinación de estas. (Liu. *et al* 2022). Analizar la forma de la pendiente es un factor de suma importancia, ya que permite separar y clasificar el terreno en superficies cóncavas, convexas y planas, lo que facilita a la identificación y comprensión de zonas que puedan sufrir deslizamientos de tierra. (Regmi, A.D., *et al.* 2014).

8.7.6 Litología

La geología es un factor que influye en gran medida en la ocurrencia de remociones en masa, esto es debido porque las variaciones litológicas y estructurales a menudo conducen a una diferencia en la resistencia y permeabilidad de las rocas y los suelos (Chen, W. *et al* 2016). Así mismo la composición litológica determina las propiedades

mecánicas y físicas de los depósitos (Liu, et al. 2022). La litología representa las propiedades geomecánicas e hidráulicas de los lechos rocosos, lo que posteriormente afectaría directamente a la cobertura del suelo, por lo tanto, es aceptada la litología como la variable más representativa para la ocurrencia de las remociones en masa. (Shu, H., et al 2021). Las remociones en masa o deslizamientos de tierra suelen ocurrir en unidades rocosas que cuentan con una muy baja resistencia a los cortes al igual que una baja permeabilidad. Es por eso que la litología es un factor importante de analizar, ya que las diferentes unidades litológicas existentes representan diferentes grados de susceptibilidad ante los deslizamientos de tierra. (Eitvandi, N., et al (2022).

8.7.7 Orientación de laderas (Aspect)

La orientación de laderas también considerada como orientación de la pendiente o aspecto es considerado como un factor condicionante a la hora de hablar sobre la ocurrencia de las remociones en masa, ya que indica y describe la dirección de las pendientes. (Chen, W., *et al.* 2016)

Por su parte Shu, H., Guo, Z., Qi, S., Song, D., Pourghasemi, H., & Ma, J. (2021). indica que la orientación indica la dirección a la cual se puede enfrentar un talud, siendo un factor causante de diferencias en el microclima y afectando los usos de suelos de las pendientes. Diferentes inclinaciones en la pendiente reciben variada influencia de la radiación solar lo que influye en la cantidad de cobertura vegetal, los procesos de meteorización en la superficie y la evaporación del área. Estos factores a su vez pueden influir a la susceptibilidad de remociones en masa. (Bin L, et al 2021)

La orientación de las laderas durante los eventos de remociones en masa tiene un papel en la aceleración de estos eventos. Afecta la estabilidad de los deslizamientos mediante la influencia de factores tales como la luz solar, las precipitaciones, el viento o la humedad del suelo. (F. Yan, et al 2019). Como se ha mencionado anteriormente los parámetros que influyen en la orientación de las laderas corresponden a la exposición a la luz solar, los vientos secos, las precipitaciones y las discontinuidades, estas pueden aumentar la ocurrencia de deslizamientos de tierra. (Yalcin et al., 2011)

8.7.8 Coberturas de suelos

Los usos de suelo o Coberturas de suelo, suele ser utilizadas a menudo en estudios o evaluaciones de susceptibilidad a los deslizamientos de tierra, como un factor estático, el cual puede brindar información valiosa, como las actividades humanas que contribuyen en la ocurrencia de remociones en masa, como por ejemplo el cultivo de laderas y la deforestación. (Vakhshoori & Zare, 2018).

La cobertura de suelo es un parámetro relevante para calcular el FR, ya que el efecto que genera las coberturas del suelo en la estabilidad de los taludes puede entenderse mediante efectos mecánicos e hidrológicos, las coberturas vegetales reducen la susceptibilidad ante la erosión del suelo, procesos de remoción en masa y la acción de las precipitaciones, lo cual significa que actúa como una especie de protección ante este proceso. Las raíces aumentan el grado de permeabilidad de los suelos. (Yalcin et al., 2011).

9 RESULTADOS

9.1 Resultados Frequency Ratio

Para poder obtener el resultado de Frequency Ratio no se ha dividido el total de puntos entre prueba y entrenamiento, sino que se ha utilizado el total, ya que al no ser muchos esto podría afectar al resultado. Como se ha mencionado anteriormente Cuando el Frequency Ratio da un valor superior que 1 este indica una correlación mayor, por otro lado, cuando da como resultado un valor menos que 1 indica que hay una menor correlación con respecto a la ocurrencia de deslizamientos de tierra y la clase de un factor condicionante (Prakash Biswakarma,2023).

En relación con los valores obtenidos de FR de cada clase de los 8 parámetros considerados para trabajar (Tabla 4) podemos observar en el primer parámetro que corresponde a Pendientes que sobre los rangos de 5°-15° el FR es muy bajo, su valor corresponde a 0,0000003 lo cual podríamos entender como una pendiente moderada. En las pendientes de 15°- 25° comienza a aumentar ligeramente con un Valor de FR de 0.0000014, esto nos indicaría que hay una mayor comparación con las categorías anteriores, finalmente la última clase corresponde a pendientes sobre los 25° en donde su FR se dispara a los 0,0000381, esto significa que existe una alta correlación a procesos de remoción en masa en pendientes sobre los 25°.

La Elevación por su parte muestra que los rangos entre 40 – 50 msnm tiene el valor más alto de FR siendo 0,0000172, lo sigue el rango de 30 – 40 msnm con un FR de 0,0000222, media que aumenta la elevación el FR tiende a disminuir, la clase de elevación sobre los 200 msnm es la que cuenta con un FR más bajo siendo 0,00000007.

La distancia de Drenaje nos muestra que los rangos que abarcan de 50 – 100 m son los que están mayormente susceptibles a procesos de remoción en masa, contando con un FR de 0,0000133, los rangos de 0-50 cuentan con un FR de 0,0000083, el rango de 100 - 150 cuenta con un FR de 0,0000057, el rango de 150-200m cuenta con un FR de 0,0000012 finalmente la distancia sobre los 200 m es la que tiene el valor más bajo de FR siendo 0,0000001.

En cuanto a la Distancia de Carreteras o Distancia de Caminos podemos observar que se separa en rangos que van de 0 – 10m con un FR de 0,0000339 ; 10 – 20m con un FR de 0,001286 ; 20 – 30m con un FR de 0.0000424 ; 30 – 40m con un FR de 0,000048 y sobre 40 m con un FR de 0,0000005, en resumen a medida que va aumentando la longitud de las carreteras el FR tiende a disminuir, la clase con menor Fr corresponde a sobre 40m de distancia y la clase que es más propensa a procesos de remoción en masa corresponde a 10 - 20 m.

Para la Forma de la pendiente se han obtenido valores altos para pendientes cóncavas y convexas, siendo respectivamente 0,0000018 y 0,0000033.

La Litología señala que el Complejo intrusivo Concepción y la Formación Huachipato cuentan con un FR alto, siendo 0,000018 y 0,000049 respectivamente, lo sigue la Serie oriental con 0,0000026 y la Formación Huachipato con 0,0000016.

La Orientación de las Laderas muestra valores altos de FR en las pendientes expuestas al Noreste, Este y Sureste, siendo respectivamente valores de 0,0000038; 0,0000047 y 0,0000053.

Finalmente, para las Coberturas de Suelo podemos observar respecto a sus FR que las Áreas Quemadas cuentan con un valor de FR de 0,0000020, seguido por las Áreas

urbanas con un FR de 0,00000335. Del total de Factores analizados hay 4 variables que cuentan con un peso importante y por lo cual influyen o tienen mayor relevancia a los procesos de remoción en masa, los cuales son: pendientes con un PR de 3,48, la Distancia de Carreteras, con un PR de 2,21, la Forma de la Pendiente, con un PR de 2,36 y las Coberturas de Suelo con un PR de 2,04 (Anexo 12.1).

Tabla 4. Peso de las clases para cada factor con Frequency Ratio.

Factor	Clase	Pixeles Clase	Pix Clase (%)	Area RM	Pixeles RM	Pix RM (%)	FR
Pendiente	< 5	3056915	14,83%	0	0	0,00%	0,0000000
	5 - 15°	7372985	35,76%	50	2	3,77%	0,0000003
	15 -25°	6255312	30,34%	175	7	13,21%	0,0000011
	25°	3933042	19,08%	1100	44	83,02%	0,0000112
	Total	20618254	100,00%	1325	53	100,00%	0,0000126
Elevación	22,371 - 30 m	45984	0%	0	0	0%	0,0000000
	30 - 40	180075	1%	100	4	8%	0,0000222
	40 - 50	813115	4%	350	14	26%	0,0000172
	50 - 100	2065734	10%	225	9	17%	0,0000044
	100 - 150	3835431	19%	300	12	23%	0,0000031
	150 - 200	4549256	22%	200	8	15%	0,0000018
	200 > m	9128659	44%	150	6	11%	0,0000007
	Total	20618254	100%	1325	53	100%	0,0000493

Susceptibilidad de remoción en masa, en comuna de Santa Juana.

Dist. Drenajes	0 - 10	2057585	9,98%	0	0	0,00%	0,0000 000
	10 - 20	1732119	8,40%	100	4	7,55%	0,0000 023
	20 - 30	1754296	8,51%	75	3	5,66%	0,0000 017
	30 - 40	1633030	7,92%	150	6	11,32%	0,0000 037
	40 >	1344122 4	65,19%	1000	40	75,47%	0,0000 030
	Total	2061825 4	100,00%	1325	53	100,00 %	0,0000 107
Dist. Carreteras	0 - 10	236172	1,15%	200	8	15,09%	0,0000 339
	10 - 20	202202	0,98%	650	26	49,06%	0,0001 286
	20 - 30	212343	1,03%	225	9	16,98%	0,0000 424
	30 - 40	199728	0,97%	25	1	1,89%	0,0000 050
	40 >	1976780 9	95,88%	225	9	16,98%	0,0000 005
	Total	2061825 4	100,00%	1325	53	100,00 %	0,0002 103
Forma de la pendiente	Concava	9604432	46,58%	425	17	32,08%	0,0000 018
	Plana	32056	0,16%	0	0	0,00%	0,0000 000
	Convexa	1098176 6	53,26%	900	36	67,92%	0,0000 033
	Total	2061825 4	100,00%	1325	53	100,00 %	0,0000 050
Litología	Fm. Huachipato	1229216	6%	50	2	4%	0,0000 016
	F.m Santa Juana	4075771	20%	500	20	38%	0,0000 049
	Dep. Fluviales recientes	15505	0%	0	0	0%	0,0000 000
	Comp. Int. Concepción	1138908 4	55%	525	21	40%	0,0000 018

Susceptibilidad de remoción en masa, en comuna de Santa Juana.

	cuerpos de agua	1115	0%	0	0	0%	0,0000 000
	serie oriental	3907563	19%	250	10	19%	0,0000 026
	Total	2061825 4	100%	1325	53	100%	0,0000 109
Orientación de laderas	Flat	989	0%	0	0	0%	0,0000 000
	North	2495899	12%	75	3	6%	0,0000 012
	Northeast	2883607	14%	275	11	21%	0,0000 038
	East	3165621	15%	375	15	28%	0,0000 047
	Southeast	2648182	13%	350	14	26%	0,0000 053
	South	2215912	11%	25	1	2%	0,0000 005
	Southwest	2264004	11%	50	2	4%	0,0000 009
	West	2500781	12%	125	5	9%	0,0000 020
	Northwest	2443259	12%	50	2	4%	0,0000 008
	Total	2061825 4	100%	1325	53	100%	0,0000 192
Coberturas	Agrícola	824919	4%	50	2	4%	0,0000 024
	Bosque Nativo	818305	4%	50	2	4%	0,0000 024
	Plantaciones Exóticas	1196156	6%	50	2	4%	0,0000 017
	Humedales	425006	2%	25	1	2%	0,0000 024
	Matorrales	71171	0%	100	4	8%	0,0000 562
	Cuerpos de Agua	3598	0%	0	0	0%	0,0000 000
	Suelos Desnudos	2183540	11%	0	0	0%	0,0000 000

Área Urbana	388491	2%	325	13	25%	0,0000 335
Área Quemada	1470706 8	71%	725	29	55%	0,0000 020
Total	2061825 4	100%	1325	53	100%	0,0001 005

Fuente: elaboración propia.

9.2 Susceptibilidad a remociones en masa

9.2.1 Inventario actualizado

El total de los eventos encontrados, a partir de la revisión de prensa en Diario El Sur en el periodo de 1990 a 2019, corresponde a 23. De estos, solo 7 están enmarcados dentro del área de estudio (Figura 5) los restantes ocurren fuera de ella, principalmente, en la Ruta de la Madera, correspondiente a la Ruta CH-156 (Figura 6), que bordea el Río Biobío.

Figura 5. Reportes de Remociones en masa 1990-2019



Fuente: Obtenida mediante revisión de Diario El Sur.

Figura 6. Reportes de Remociones en masa 1990-2019



Fuente: Obtenida mediante revisión de Diario El Sur.

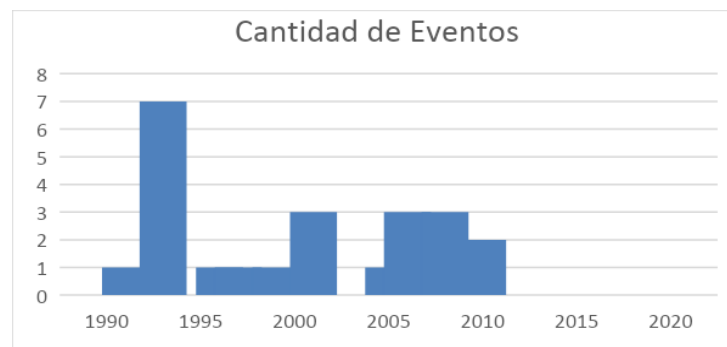
Tabla 4. Reportes de Remociones en masa 1990-2019

Años	Eventos
1990	0
1991	1
1992	0
1993	7
1994	0
1995	0
1996	1
1997	1

1998	0
1999	1
2000	0
2001	3
2002	0
2003	0
2004	0
2005	1
2006	3
2007	0
2008	3
2009	0
2010	2
2011	0
2012	0
2013	0
2014	0
2015	0
2016	0
2017	0
2018	0
2019	0
2020	0

Fuente: Elaboración propia en base a información obtenida mediante revisión de Diario El Sur.

Gráfico 1. Cantidad de Reportes de remociones en masa
1990-2019



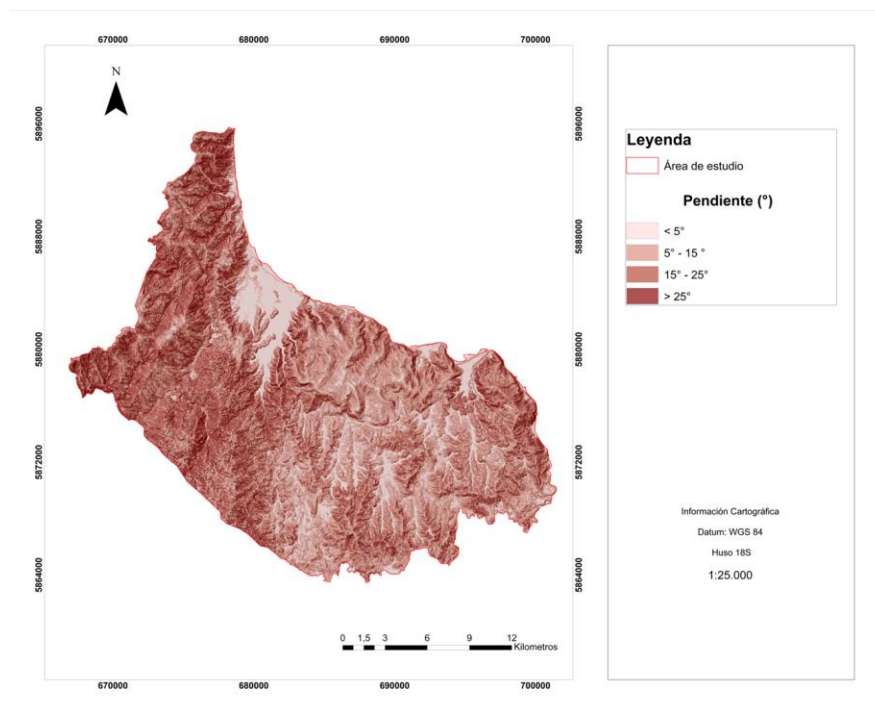
Fuente: elaboración propia en base a datos obtenidos mediante revisión de prensa en Diario el Sur..

9.3 Parámetros utilizados por el modelo Frequency Ratio

9.3.1 Pendiente.

Para poder obtener mapa ráster se ha realizado una extracción por máscara al MDT del MINVU (2013), luego mediante la Herramienta de Análisis Espacial (Spatial Analyst Tools), se ha generado un Slope, el cual brinda por defecto 9 clases con datos de pendientes, posteriormente, se ha clasificado con la función Reclassify en 4 clases: $<5^{\circ}$; $5 - 15^{\circ}$; $15 - 25^{\circ}$ y $> 25^{\circ}$ (Figura 7).

Figura 7: Cartografía de Pendientes.



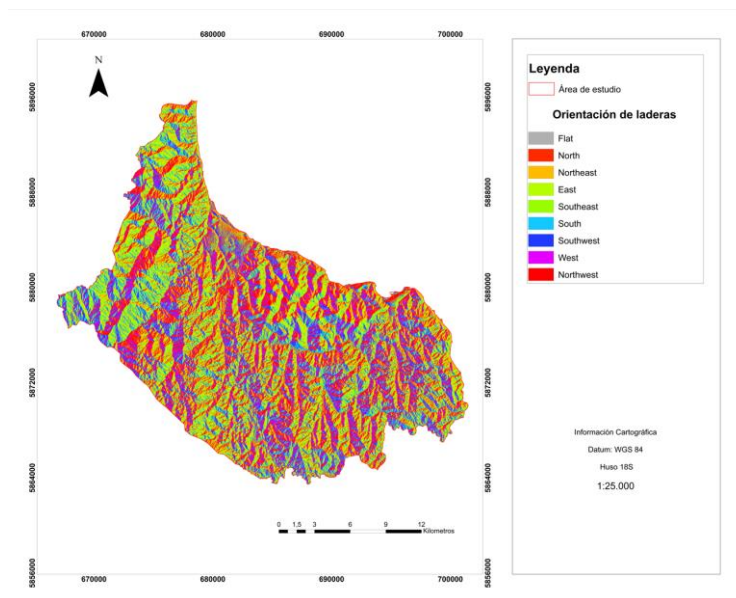
Fuente: elaboración propia.

La utilización de estas clases se justifica en base al área de estudio, en donde al revisar el histograma sumado a la apreciación de datos obtenidos (remociones en masa) se ha llegado a la conclusión de que para obtener un mejor resultado se debe utilizar el corte de $15^\circ >$, como puede observarse el área considerada como urbana se encuentra en el rango de $<5^\circ$, lo cual ayuda a no sobrestimar los valores obtenidos mediante el FR.

9.3.2 Orientación de laderas

Para realizar el mapa se ha utilizado el MDT del MINVU (2013), al cual mediante una extracción por mascara se ha cortado al área de estudio, para obtener el resultado final se ha utilizado la herramienta Aspect, la cual ha generado un resultado con 10 clases, finalmente se ha reclasificado como Zhang et al. (2016).

Figura 8: Cartografía de Orientación de laderas.



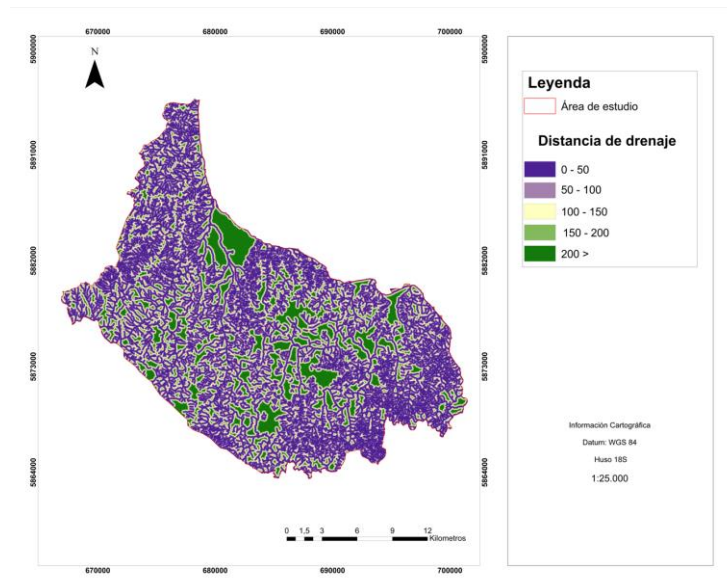
Fuente: elaboración propia.

La orientación de laderas se clasificó en 9 clases (Figura 7): Flat (plano); North ($337,5^{\circ} - 22,5^{\circ}$); Northeast ($22,5^{\circ} - 67,5^{\circ}$); East ($67,5^{\circ} - 112,5^{\circ}$); Southeast ($112,5^{\circ} - 157,5^{\circ}$); South ($157,5^{\circ} - 202,5^{\circ}$); Southwest ($202,5^{\circ} - 247,5^{\circ}$); West ($247,5^{\circ} - 292,5^{\circ}$), y Northwest ($292,5^{\circ} - 337,5^{\circ}$) (Figura 8).

9.3.3 Distancia de drenaje

Para obtener la cartografía de distancia de drenaje (Figura 8) se utilizó la red de drenaje del levantamiento cartográfico del área Metropolitana de Concepción realizado por el MINVU (2013), la cual se ha recortado para el área de estudio, posteriormente, como en Acharya & Lee (2018) se ha utilizado la función de Euclidean Distances mediante la herramienta de Análisis Espacial (Spatial Analyst Tools).

Figura 9: Cartografía de Distancia de Drenaje.



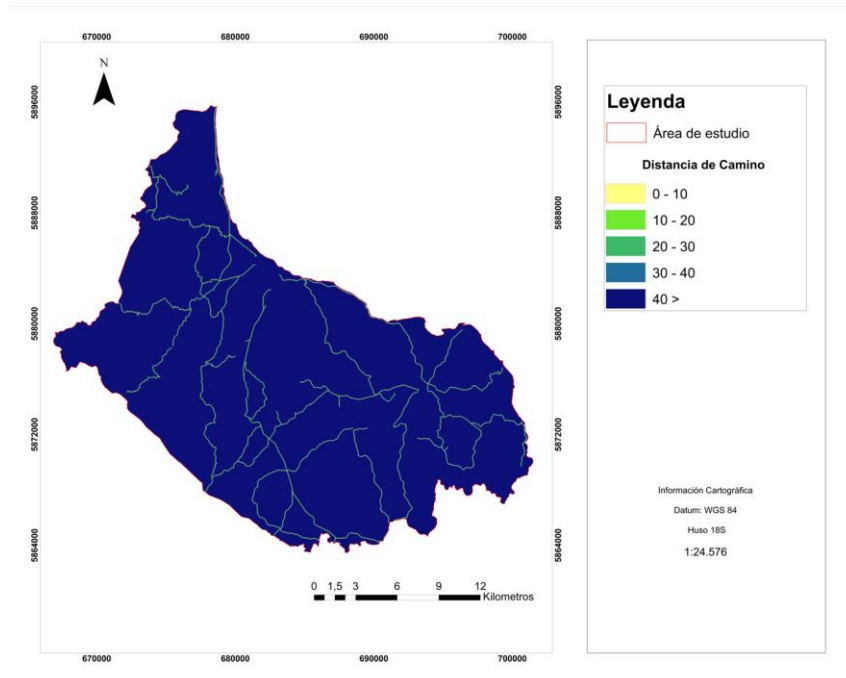
Fuente: elaboración propia.

Finalmente, las clases de distancia del drenaje se han reclasificado como en Zhang et al. (2016) el cual ha trabajado con intervalos de 50 metros metros, la clasificación resultante corresponde a 50 - 100 m; 100 - 150 m; 150 - 200 m, y > 200 m (Figura 9).

9.3.4 Distancia de Carretera

Para la realización de la cartografía de Distancia de Carretera (Figura 9) se ha utilizado la red vial MINVU (2013), a partir de esta se ha enfatizado en recortar y utilizar solo las rutas principales del área de estudio, para poder calcular la distancia de carretera se ha utilizado mediante la función de Euclidean Distance como en Acharya & Lee (2018).

Figura 10: Cartografía de Orientación de laderas.



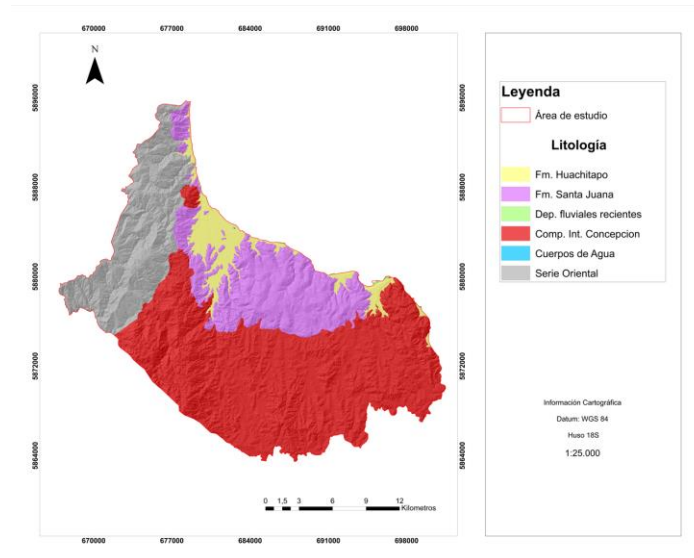
Fuente: elaboración propia

Para los rangos de distancia de carretera se ha reclasificado en 5 clases, esto debido a la información obtenida de las remociones en masa, ya que, se han ubicado principalmente en los caminos principales, los rangos corresponden a: 0 -10; 10 - 20; 20 - 30; 30 – 40 y 40> metros (Figura 10).

9.3.5 E) Geología

La litología en el área de estudio se obtuvo a partir de la digitalización del Mapa geológico en formato de PDF escala 1:50.000m para ello se ha digitalizado a partir de Mapa Geológico del Área comprometida entre las Coordenadas 36°57'0"- 37°16'30" S y 72°45'- 73°15' W Región del Biobío, Chile del Laboratorio de Geomática Departamento Ciencias de la Tierra, Universidad de Concepción 2012, Modificado de Castro F, 2023. (Figura 11).

Figura 11: Cartografía de Orientación de laderas.



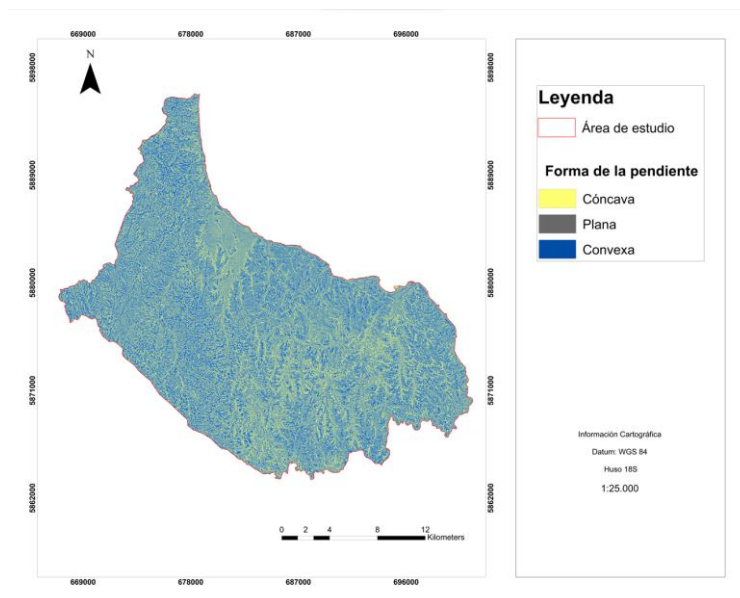
Fuente: elaboración propia en base a del Laboratorio de Geomática Departamento Ciencias de la Tierra, Universidad de Concepción 2012, Modificado de Castro F, 2023 .

Luego de digitalizar la capa vectorial resultante se convirtió a ráster en ArcGIS, mediante la herramienta Feature to ráster. Las unidades litológicas que abarcan el área de estudio corresponden a 5: 1. Formación Huachipato; 2. Formación Santa Juana; 3. depósitos Fluviales Recientes; 4. Complejo intrusivo Concepción y 5. Serie oriental.

9.3.6 F) Forma de la pendiente

La forma de la pendiente se ha obtenido a partir una extracción por mascara del MDT Minvu (2013) posteriormente utilizando la función de Curvature ha generado un ráster resultante, finalmente se ha optado por reclasificar como Saranaathan., et al (2021). En donde los valores que sean negativos se asociaran a cóncavos, los valores cero se agruparan como planos y todos los valores positivos se agruparan como convexos (Figura 12).

Figura 12: Cartografía de Orientación de laderas.

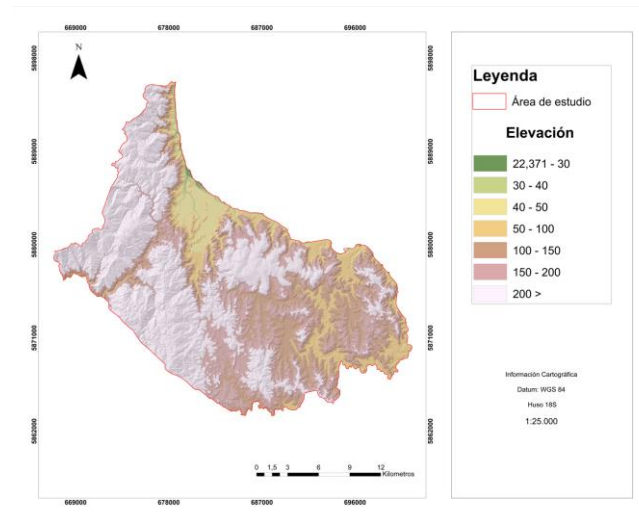


Fuente: elaboración propia

9.3.7 Altitud

El área de estudio presenta una elevación mínima del área de estudio corresponde a 22,371 y la máxima a 671,691 metros, para obtener el mapa de altitud de que se preparó en ARCGIS a partir de una extracción por máscara del Modelo Digital de Terreno (MDT) de Minvu 2013, es por esto La altitud se clasificó en 7 clases: 22,371 - 30 msnm; 30 – 40 msnm; 40 – 50 msnm; 50 – 100 msnm; 100 – 200 msnm; y 200 > (Figura 13). La justificación para esta clasificación corresponde a que en pruebas iniciales se optó por dividir de 10 en 10 hasta los primeros 50 metros, ya que, el plano urbano de Santa Juana está ubicado entre los rangos de 40 – 50 msnm, se ha concluido que al abarcar rangos mayores se podría sobreestimar los valores para el FR.

Figura 13: Cartografía de Orientación de laderas.

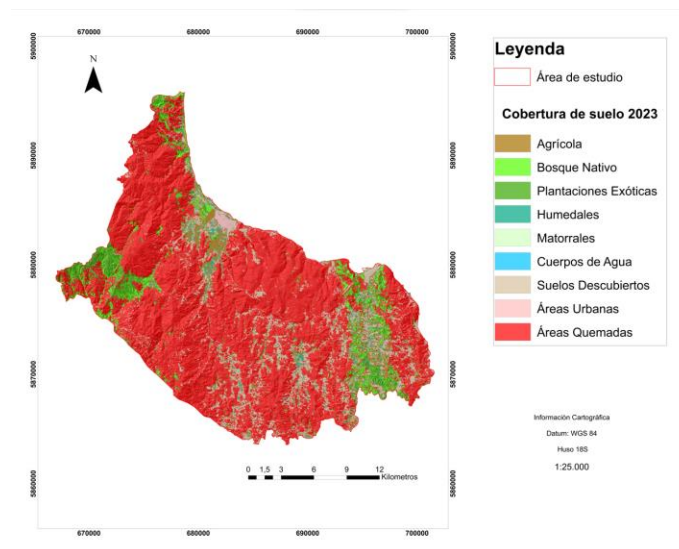


Fuente: elaboración propia.

9.3.8 Coberturas de suelo

La variable de Cobertura de Suelo o usos de suelo se ha trabajado a partir de Grupo de Estudios amenaza BioBío (2023), el cual cuenta con 9 clases las cuales corresponden a: 1. Agrícola; 2. Bosque Nativo; 3. Plantaciones Exóticas; 4. Humedales; 5. Matorrales; 6. Cuerpos de Agua; 7. Suelos Descubiertos; 8. Áreas Urbanas y 9. Áreas Quemadas (Figura 14).

Figura 14: Cartografía de Orientación de laderas.



Fuente: elaboración propia.

9.4 Evaluación de susceptibilidad remociones en Masa

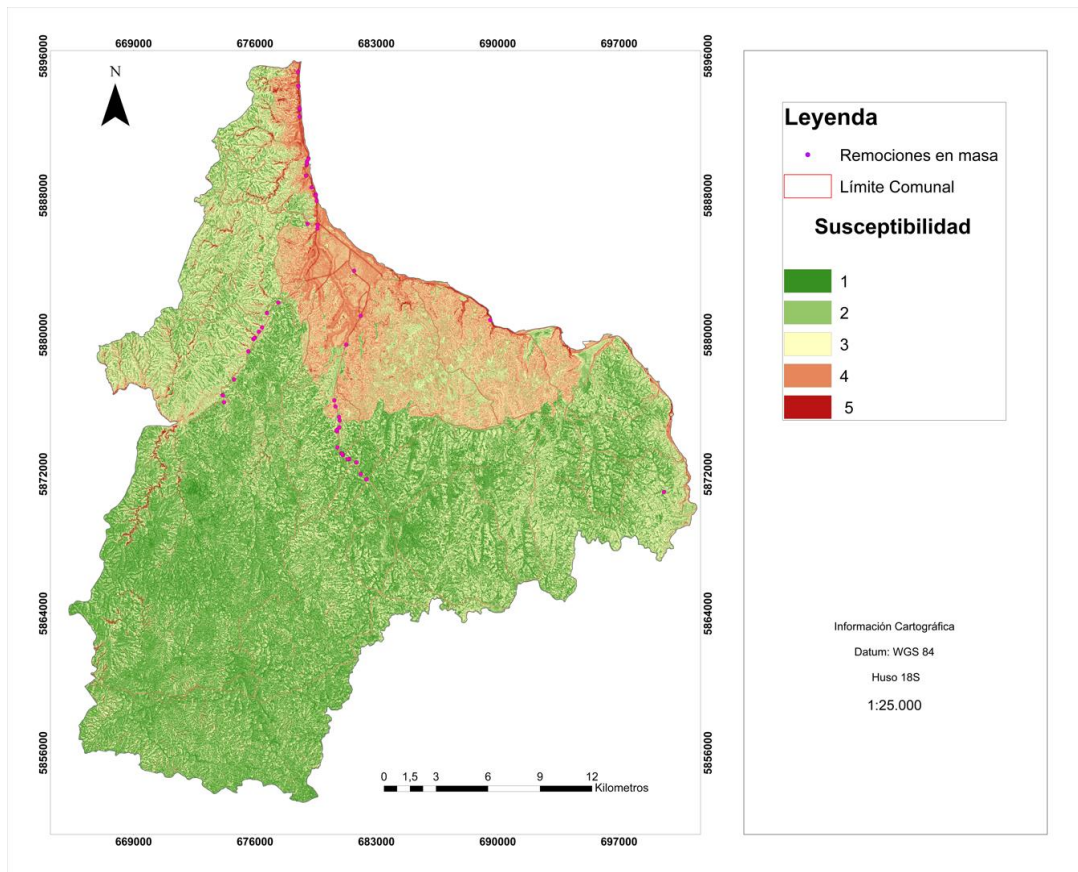
9.4.1 Susceptibilidad

Se realizaron varias pruebas con los factores mencionados en el punto 9.3 para todo el territorio de la comuna y no se lograba obtener resultados óptimos por lo que la evaluación de susceptibilidad se realiza en una zona más reducida en base a la distribución de los puntos inventariados (revisión de prensa e inventario de remociones en masa del trabajo doctoral de Francisco Castro) ya que al no tener registro en la zona sur de la comuna esto podría generar sobrestimación de los parámetros.

Luego de correr el modelo de FR, se han generado 3 cartografías (Figura 15, Figura 16 y figura 17), las cuales serán mostradas a continuación, esto debido a que hubo errores a los cuales se tuvo que acotar la información obtenida para llegar al resultado final de susceptibilidad se han realizado una serie de pruebas relacionadas a las reclasificaciones de los parámetros utilizados.

La primera cartografía (Figura 15) se realizó en toda la comuna con todas las variables mencionadas anteriormente en el apartado metodológico junto con el índice de vegetación normalizado. En la imagen se observa un índice de susceptibilidad que va desde medio hasta muy alto en zonas donde no debería existir esta clasificación cómo es en el caso del plan urbano de la comuna de santa Juana.

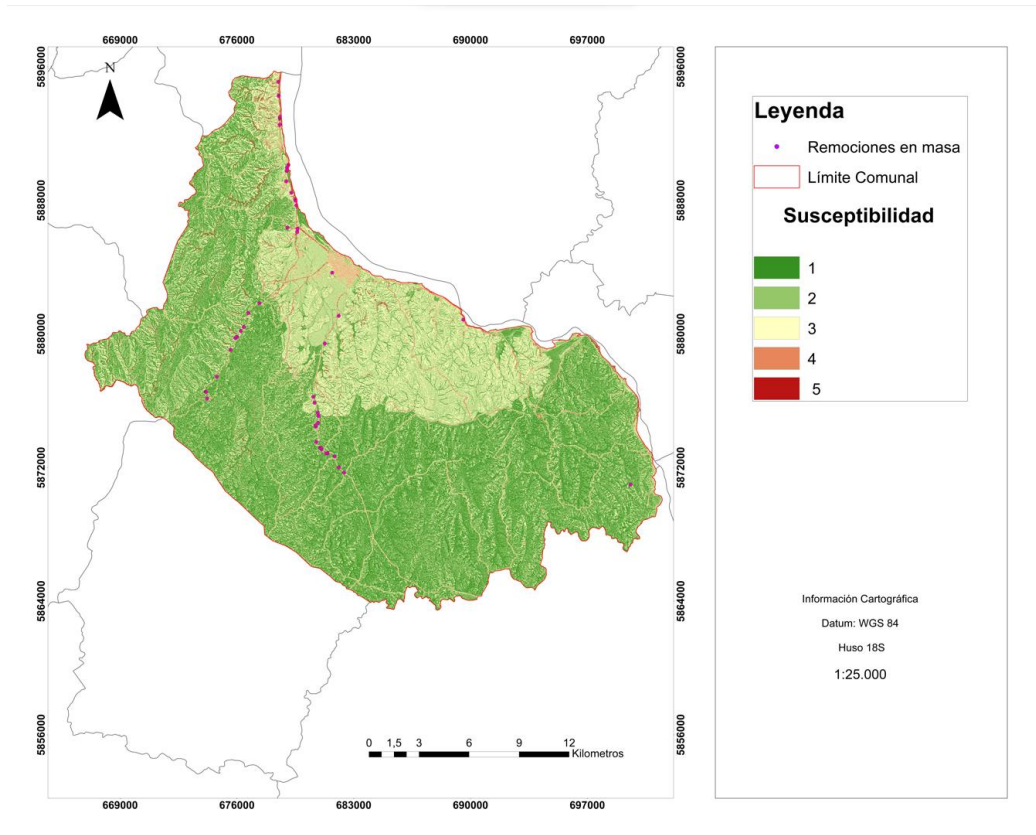
Figura 15: Cartografía de prueba susceptibilidad.



Fuente: elaboración propia

En el caso de la segunda cartografía (Figura 16) se ha realizado un recorte en el área de estudio, en el cual no se ha contemplado la parte sur de la comuna, esto debido a la falta de registro de procesos de remoción en masa en este sector. Se ha considerado y que al abarcar un área de estudio más amplia podría sobrestimar resultados en términos de índice de susceptibilidad, del mismo modo se observa cómo los factores siguen marcando una alta susceptibilidad en el plano urbano de la comuna de Santa Juana.

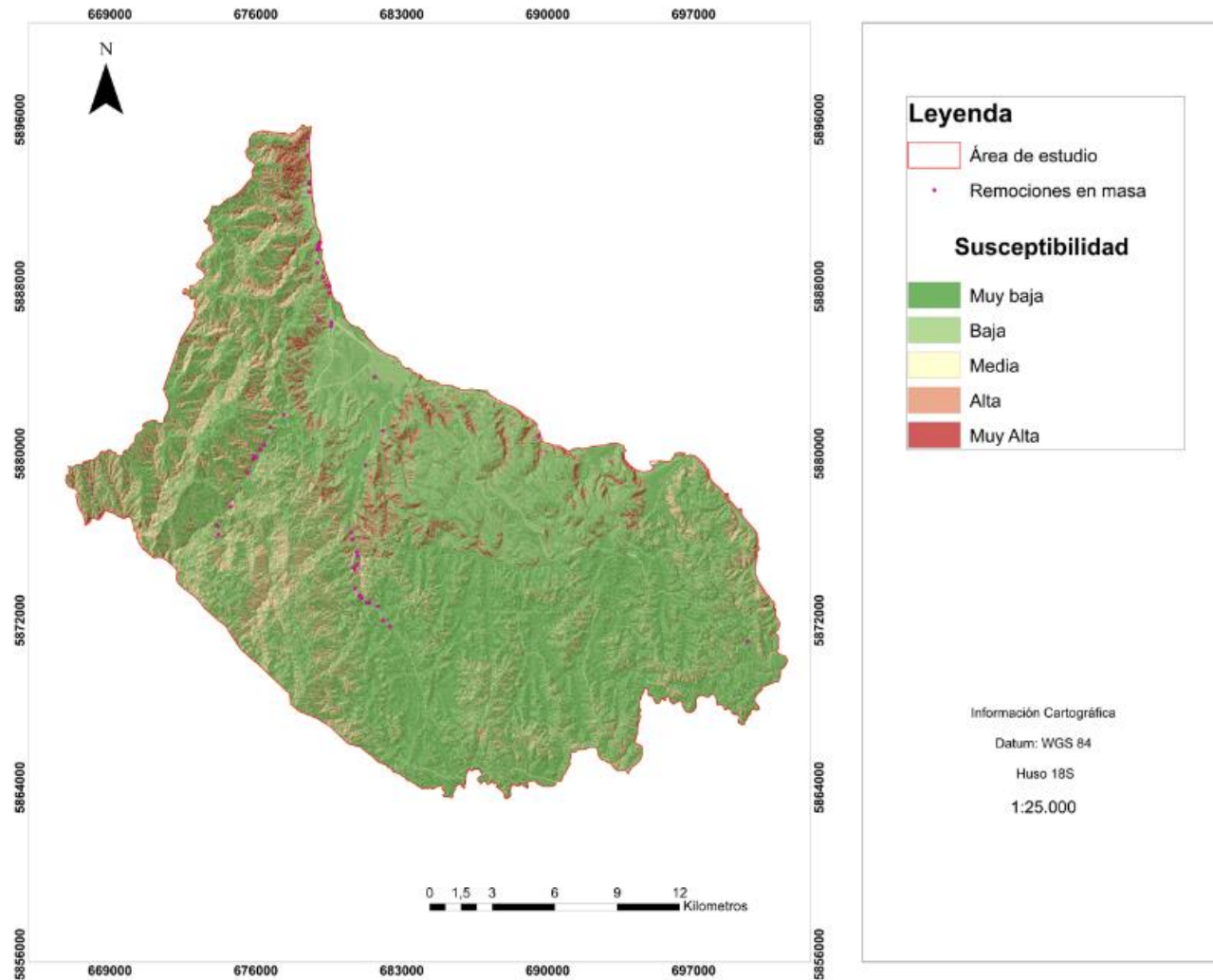
Figura 16: Cartografía de prueba susceptibilidad.



Fuente: elaboración propia.

El resultado final (Figura 17) muestra que en el total del área de estudio el 32,02% de su superficie muestra una Muy baja Susceptibilidad ante procesos de remoción en masa; el 49,17% muestra un índice Bajo; el 6,60% muestra un índice medio y finalmente solo el 2,48% de la superficie del área de estudio muestra un 2,48% de alta susceptibilidad ante procesos de remoción en masa (Tabla 5), del mismo modo mencionar que principalmente las áreas con alta susceptibilidad ante procesos de remoción en masa corresponden a laderas con pendientes pronunciadas que cuentan con escasa vegetación.

Figura 17: Mapa de Susceptibilidad ante PRM Área de Estudio.



Fuente: elaboración propia.

Gracias a las salidas a terreno en el área de estudio se han podido registrar y evidenciar varios deslizamientos de tierra a lo largo de La Ruta de la Madera. En la figura 18 se muestra un deslizamiento que ocurre en esta ruta y que como podemos observar se desarrolla en una ladera con escasa vegetación con huellas de un proceso de tala que aumentaría la susceptibilidad ante estos procesos, esto ha significado efectos nocivos para la ruta, tales como cortes en la vialidad generando desvíos o incluso atochamientos.

Figura 18



Fuente: Fotografía de Bascuñán. F, terreno del 2 de Julio de 2023.

Otros casos son los correspondientes a la figura 19 y figura 20, para la figura 19 se muestra un corte en la ladera, la cual cuenta con escasa vegetación, del mismo modo se aprecia una obra de mitigación lo cual se puede inferir que es un punto que recurrentemente sufre procesos de remoción en masa, para la figura 20 se observa una pendiente pronunciada la cual muestra un deslizamiento .

Figura 19



Fuente: Fotografía de Bascuñán. F, terreno del 2 de Julio de 2023.

Figura 20



Fuente: Fotografía de Bascuñán. F, terreno del 2 de Julio de 2023.

Tabla 5: Porcentajes de Susceptibilidad.

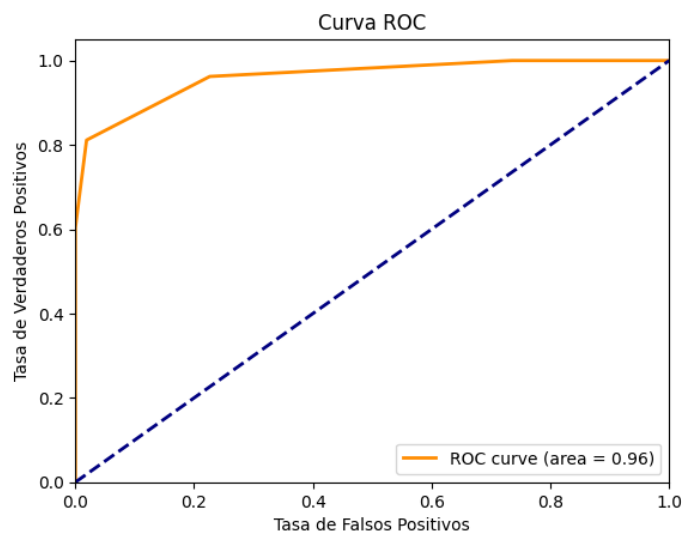
Índice de susceptibilidad	Superficie (Km2)	%
Muy baja	163,7669	32,02%
Baja	251,4504	49,17%
Media	33,7111	6,60%
Alta	49,7514	9,73%
Muy alta	1277,65	2,48%

Fuente: elaboración propia.

9.4.2 Validación de la susceptibilidad

Para el mapa de susceptibilidad se ha calculado el valor del Área Bajo la Curva (AUC) con su respectivo gráfico, como se ha mencionado anteriormente para realizar de deben ocupar los set de puntos de entrenamiento y de prueba para calcular respectivamente las tasas de exactitud y de predicción, para este caso debido a la acotada cantidad de puntos obtenidos y debido a su distribución espacial se ha optado por medir que tan exacto es el modelo, cómo se puede ver en la Figura 17 la tasa de éxito corresponde a 0,96 lo cual estaría en el rango de clasificación de excelente.

Figura 17: Grafico AUC.



Fuente: elaboración propia.

9.5 Relación entre Incendios forestales y Procesos de remoción en masa.

9.5.1 Cobertura de suelos año 2016

En base a la cobertura de suelo del año 2016 obtenidas a partir de Grupo de Estudio Multiamenazas BioBio (Figura 18) podemos apreciar que la mayor parte de la cobertura

de suelo está dedicada a plantaciones forestales con una superficie de 42.975,71 hectáreas. Las áreas agrícolas ocupan la segunda posición con una superficie de 12.934,07 hectáreas. Los matorrales ocupan el tercer lugar con una superficie de 12.337,46 hectáreas. Los bosques nativos cubren una superficie de 6.747,79 hectáreas. Las áreas urbanas y los cuerpos de agua ocupan una superficie de 239,78 hectáreas y 29,61 hectáreas, respectivamente. Los suelos descubiertos tienen la menor superficie con 54,94 hectáreas (Gráfico 2).

Figura 18: Cobertura de Suelos año 2016.

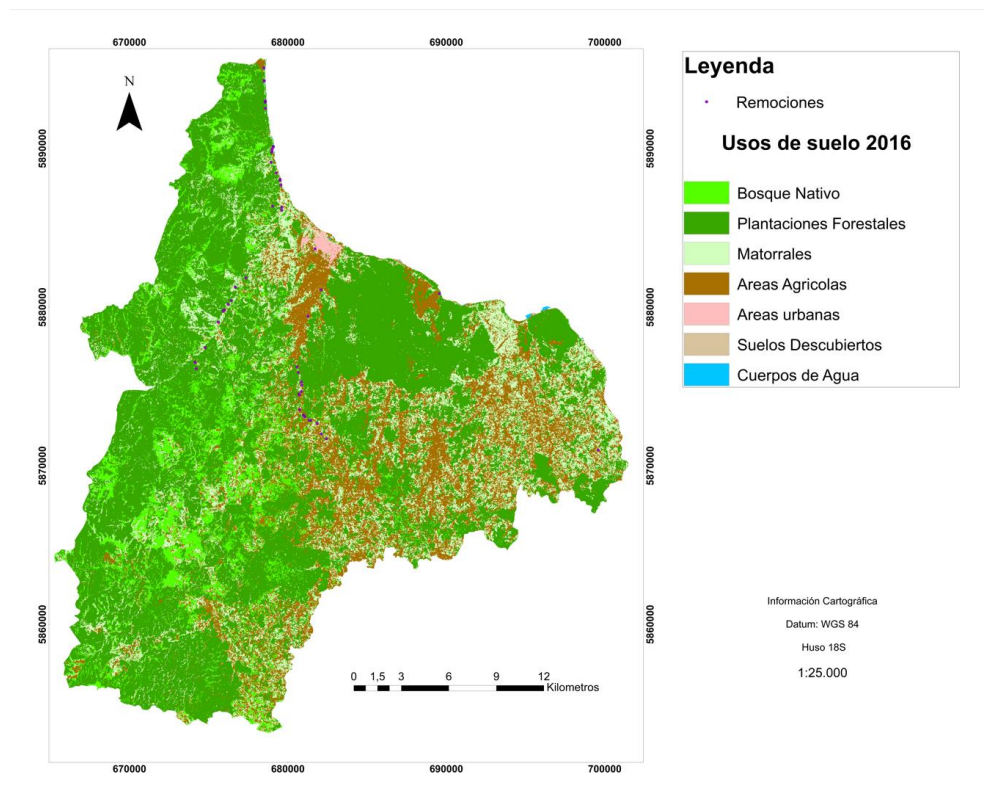
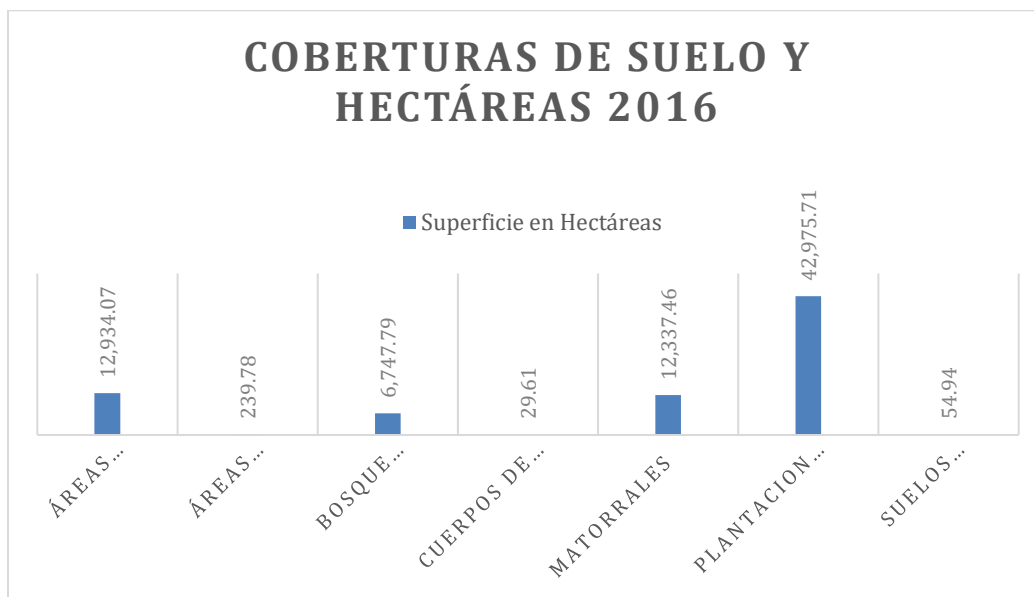


Gráfico 2: Superficie de cobertura de usos de suelo.



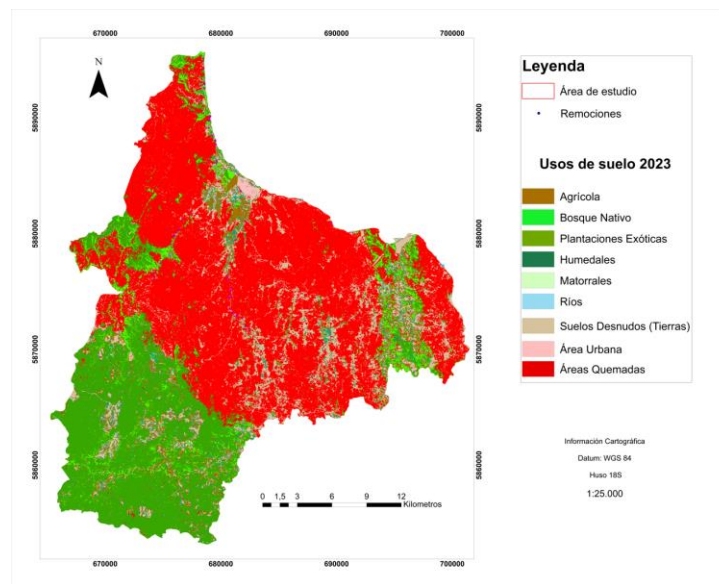
Fuente: Elaboración propia a partir de Grupo de Estudio Multiamenazas Biobío (2016).

9.5.2 Cobertura de suelos año 2023

En base a la cobertura de suelo del año 2023 obtenidas a partir de Grupo de Estudio Multiamenaza BioBio (Figura 19) podemos apreciar que las áreas quemadas ocupan la mayor superficie con 39.324,55 hectáreas. Las plantaciones exóticas ocupan el segundo lugar con una superficie de 19.283,15 hectáreas. Los Suelos Desnudos ocupan la tercera posición con 6.718,63 hectáreas, las áreas agrícolas ocupan una superficie de 3.371,22 hectáreas. Los suelos desnudos (tierras) cubren una superficie de 6.668,82 hectáreas. Las áreas urbanas ocupan una superficie de 1.259,79 hectáreas. Los bosques nativos

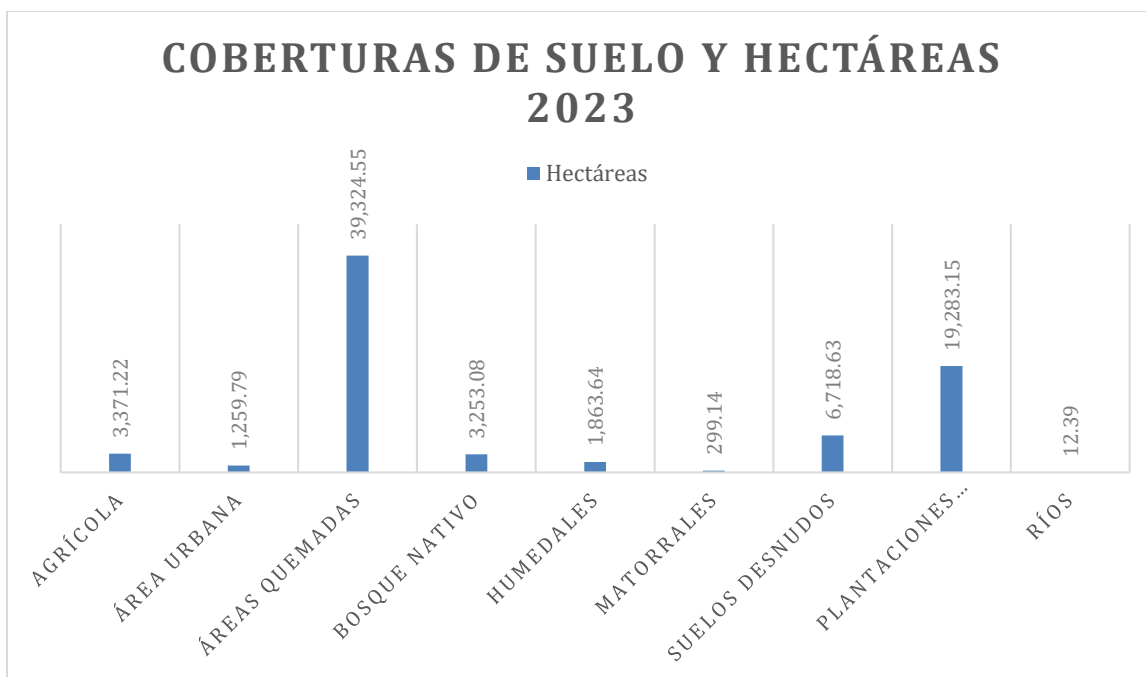
cubren una superficie de 3.253,08 hectáreas. Los humedales ocupan una superficie de 1.863,64 hectáreas. Los matorrales cubren una superficie de 299,14 hectáreas. Los ríos ocupan una superficie de 12,39 hectáreas (Gráfico 3).

Figura 19: Cobertura de Suelos año 2023.



Fuente: Elaboración propia a partir de Grupo de Estudio Multiamenazas Biobío, 2023.

Gráfico 3. Cobertura de usos de suelo y Hectáreas 2023



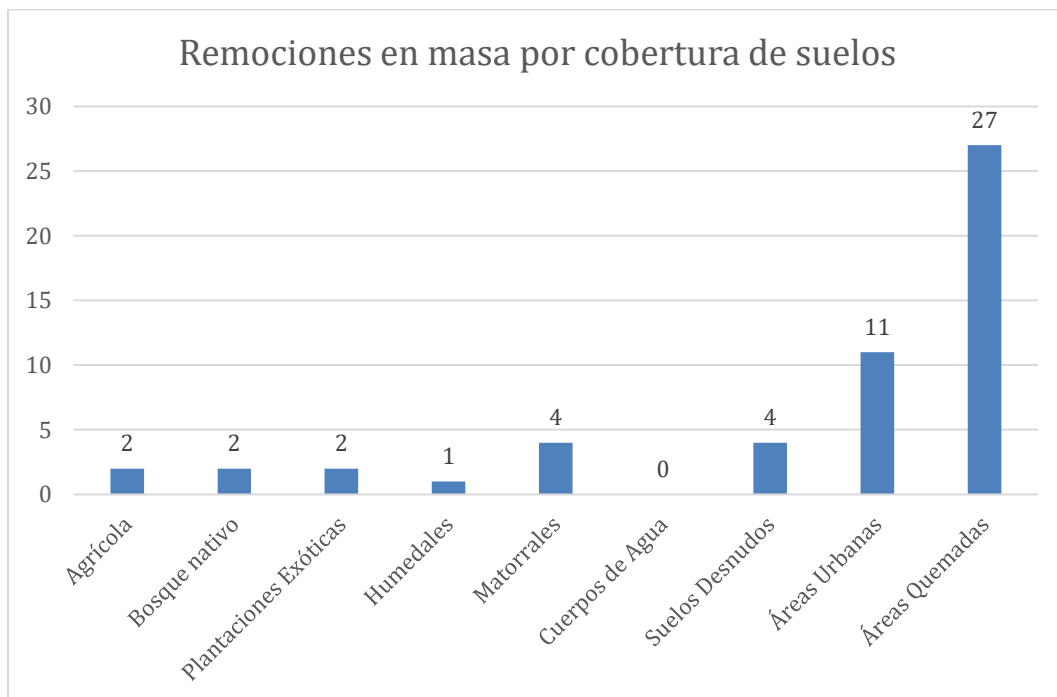
Fuente: Elaboración propia a partir de Grupo de Estudio Multiamenazas Biobío, 2023

9.5.3 Diferencia de coberturas de suelo y deslizamientos

De acuerdo a los datos obtenidos en ambos periodos 2016 y 2023, es posible señalar que la diferencia entre los datos es significativa. Para comenzar el año 2023 se les ha agregado las áreas quemadas las cuales ocupan la mayor superficie, mientras que, en 2016, las plantaciones forestales ocupaban la mayor superficie. Las plantaciones exóticas también han aumentado significativamente en 2023. La disminución en la superficie de bosques nativos es preocupante, ya que los bosques nativos son importantes para la biodiversidad y la conservación del suelo.

De la totalidad de puntos de remociones en masa obtenidos un total de 27 están dentro de Áreas Quemadas (Gráfico 4). Las áreas quemadas pueden aumentar la susceptibilidad de remociones en masa debido a la pérdida de la cubierta vegetal y la exposición del suelo a la erosión. La pérdida de la cubierta vegetal puede aumentar la susceptibilidad a deslizamientos de tierra.

Gráfico 4: Remociones en masa por cobertura de suelos.



Fuente: elaboración propia.

10 Conclusiones y Limitaciones

10.1 Conclusiones

La prensa es una herramienta de suma importancia para la actualización del inventario multitemporal, gracias a la revisión de 30 años (1990-2020) en base a Diario el Sur, se han calculado un total de 27 remociones que afectan directamente a la comuna de Santa Juana, de las cuales se han utilizado 7 para la obtención del índice de susceptibilidad, ya que, no todas están dentro del límite del área de estudio, del mismo modo los reportes de eventos de remociones en masa se han encontrado en la ruta CH – 156, afectando a la comuna, es por eso que se han registrado de igual forma en el inventario, ya que podrían ser de utilidad para futuras investigaciones que contemplen la conectividad vial de la ruta CH – 156.

La metodología empleada presenta un gran potencial para ser utilizada en el área de estudio, permitió calcular el índice de susceptibilidad ante procesos de remoción en masa para el área del estudio, del cual se ha obtenido que 32,02% muestra una muy baja susceptibilidad ante estos procesos, mientras que el 49,17% presenta un índice bajo. Por otro lado, el 6,06% muestra un índice medio, 9,73% representa un alto índice de susceptibilidad y solo el 2,48% de la superficie del área de estudio presenta una alta susceptibilidad ante procesos de remoción en masa.

Basándose en esta investigación, la comuna de Santa Juana puede considerarse como susceptible ante procesos de remoción en masa. Durante ciertos periodos del año, la comuna experimenta eventos de precipitaciones los cuales afectan la conectividad de

las rutas, sumado a que gran parte de la información sobre procesos de remoción en masa se ubican dentro de La Ruta de La Madera, la cual conecta Concepción con Santa Juana.

Para el área de estudio se ha concluido que el factor detonante principal de los procesos de remoción en masa corresponde a la intensidad de las precipitaciones. Esta conclusión se basa en los reportes encontrados durante la revisión de prensa (1990 – 2020), que indicaron que tras intensas lluvias se han generado estos eventos.

Además, se han identificado los factores condicionantes que influyen mayoritariamente en su ocurrencia o tienen una mayor correlación ante estos eventos. Estos factores incluyen a pendientes superiores a 15°, tanto cóncavas como convexas, así como la distancia de las carreteras siendo los tangos 10-20 metros, del mismo modo las coberturas de suelo, destacando principalmente las áreas quemadas dejadas por los incendios forestales ocurridos en 2023, lo cual contribuye significativamente en la ocurrencia de estos procesos.

Dentro de los puntos con los cuales se han trabajado (53) hay una cantidad 27 eventos de remociones en masa que se localizan en áreas que se han visto afectadas por incendios forestales de 2023, por lo cual podríamos concluir que estas zonas podrían aumentar su susceptibilidad ante procesos de remoción en masa, esto debido a que la pérdida de vegetación en áreas quemadas puede incrementar la probabilidad de ocurrencia de estos eventos, ya que como se ha mencionado en esta investigación el suelo queda expuesto.

10.2. Limitaciones y aportes del estudio.

Finalmente existen varias limitaciones importantes que afectan el estudio de los procesos de remoción en masa en la comuna de Santa Juana. Por un lado, al realizar fotointerpretación en caminos forestales puede no ser lo adecuado, ya que, al identificar eventos por estos caminos podemos encontrarnos sin acceso para verificar los eventos observados. Además, la falta de actualización de la información geoespacial disponible constituye otra limitación significativa, ya que la precisión de los datos espaciales puede significar una dificultad a la hora de estudiar los procesos de remoción en masa e identificar las zonas susceptibles.

Por último, mencionar la falta de un inventario de remociones en masa, actualizado y completo de la comuna; ya que como se observa la información del SERNAGEOMIN y el inventario levantado en esta investigación aun no logran dar una muestra completa de la realidad del territorio comunal. La Comuna de Santa Juana ilustra el difícil acceso a la información, ya que esta es limitada o simplemente no se han realizado estudios de estas características. Es crucial contar con datos actualizados que se ajusten a las necesidades de los habitantes para obtener resultados precisos.

La falta de un inventario que cuenta con más registros de eventos de remoción en masa afecta directamente en la aplicación de este modelo, como se ha mencionado en la presente investigación se ha limitado a reducir el área comunal para así no sobre estimar los resultados debido a que los puntos se concentran principalmente en la parte superior de la comuna de santa Juana.

Desde la geografía se puede aportar concientizando o educando a la población sobre los procesos de remoción en casa, cuáles son sus factores condicionantes y desencadenantes, que épocas del año se concentran mayormente y como poder mitigar, es por esto que esta investigación aspira a ser una valiosa contribución para la planificación territorial, ofreciendo una herramienta práctica que pueda ser aprovechada por los organismos responsables de la planificación territorial, enfocado en el bienestar de los habitantes de la comuna.

Conclusión con los instrumentos como puede servir para la toma de decisiones del municipio en torno a la gestión del riesgo de desastres en relación a remociones en masa

11 Bibliografía

- Yalcin, S. Reis, A. Aydinoglu, T. Yomralioglu A gis-based comparative study of frequency ratio, analytical hierarchy process, bivariate statistics and logistics regression methods for landslide susceptibility mapping in Trabzon, NE Turkey *Catena*, 85 (3) (2011), pp. 274-287
- Akgun, A., Dag, S. & Bulut, F. Landslide susceptibility mapping for a landslide-prone area (Findikli, NE of Turkey) by likelihood-frequency ratio and weighted linear combination models. *Environ Geol* **54**, 1127–1143 (2008). <https://doi.org/10.1007/s00254-007-0882-8>
- Alcántara Ayala, I. (2000). Landslides: ¿deslizamientos o movimientos del terreno? Definición, clasificaciones y terminología. *Investigaciones geográficas*, 7-25

- Barrenechea, F. (2010). Gestión del riesgo de desastres en Chile: Avances y Debilidades.
- Becerra, C., & De Rurange, J. (2018). *Modelo de susceptibilidad a procesos de remociones en masa en rutas cordilleranas de Chile Central: Ruta 115 CH, Paso Pehuenche, Región del Maule.*
- Bin L, Nianqin W and Jing C 2021 GIS-based landslide susceptibility mapping using Information, Frequency Ratio and Artificial Neural Network methods in Qinghai Province, Northwestern China Advances in Civil Engineering pp 1-14
- Boukhres, N., et al Mastere, M., Thiery, Y. *et al.* A comparative modeling of landslides susceptibility at a meso-scale using frequency ratio and analytic hierarchy process models in geographic information system: the case of African Alpine Mountains (Rif, Morocco). *Model. Earth Syst. Environ.* **9**, 1949–1975 (2023).
- Cantarino, I., Carrión, M. Á., Goerlich, F., & Martínez Ibáñez, V. (2019). A ROC analysis-based classification method for landslide susceptibility maps. *Landslides*, *16*(2), 265-282. <https://doi.org/10.1007/s10346-018-1063-4>
- Carrasco, R.M., de Pedraza, J., Matín-Duque, J. F., Mattera, M., Bodoque, J., Sanz, M. A y Diez- Herrero, A. (2002). Cartografía de zonas de susceptibilidad o propensión a los movimientos en masa en el Valle del Jerte (Sistema Central español). En: F. J. Ayala-Carcedo y J. Corominas, (eds.) *Mapas de susceptibilidad a los movimientos de ladera con técnicas SIG. Fundamentos y aplicaciones en España.* Instituto Geológico y minero de España, 133-154
- Castillo, M., Pedernera, P., & Pena, E. (2003). Incendios forestales y medio ambiente: una síntesis global. *Revista Ambiente y Desarrollo*, *9*(3), 44-53.
- Castillo, M., Saavedra, J., & Brull, B. B. (2019). Severidad del fuego en los mega incendios forestales ocurridos en Chile, en 2017. Acciones para mejorar el sistema de protección. *Territorium*, (26 (I)), 5-18.
- Chen, W., Chai, H., Sun, X. *et al* (2016). Un estudio comparativo basado en SIG de la razón de frecuencias, el índice estadístico y los modelos de ponderación de la evidencia

en el mapeo de susceptibilidad a deslizamientos de tierra. *Arab J Geosci* **9**, 204
<https://doi.org/10.1007/s12517-015-2150-7>

- CIREN. (2021). Recursos Naturales Comuna de Santa Juana. Centro de Información de Recursos Naturales
- CONAF Corporación Nacional Forestal (2017). Estadísticas históricas de incendio forestales en Chile: Ocurrencia y daño por comuna 1985-2016 (comunas críticas)
- CONAF Corporación Nacional Forestal (Chile). 2010. Los grandes Incendios forestales en Chile 1985-2009. CONAF. <https://bibliotecadigital.ciren.cl/handle/20.500.13082/148107>
- Cruden D. M. y D. J. Varnes (1996), "Landslides types and processes", in Turner, A. K. y R. L. Schuster (eds.), *Landslides: Investigation and Mitigation*, Transportation Research Board, Special Report 247, National Academy Press, Washington, D.C., pp. 36-75
- CRUDEN, D.M. A simple definition of a landslide. *Bulletin International Association. Engineering Geology*, 1991, N° 43, p. 27-29.
- Di Napoli, M., Miele, P., Guerriero, L. *et al.* Multitemporal relative landslide exposure and risk analysis for the sustainable development of rapidly growing cities. *Landslides* **20**, 1781–1795 (2023). <https://doi.org/10.1007/s10346-023-02065-z>
- Eitvandi, N., Sarikhani, R. & Derikvand, S. (2022). Landslide susceptibility mapping by integrating analytical hierarchy process, frequency ratio, and fuzzy gamma operator models, case study: North of Lorestan Province, Iran. *Environ Monit Assess* **194**, 600 (2022). <https://doi.org/10.1007/s10661-022-10206-5>
- EPOCH (European Community Programme, 1993). Temporal occurrence and forecasting of landslides In the European Communiyy, Flageollet, J. C. (ed.), 3 volumes, Contract no 90 0025
- Estrategia Internacional para la Reducción de Desastres. (2009). Terminologías
- EULA–Chile. (2018). Atlas de Riesgos Naturales y Antrópicos Comuna de San Pedro de la Paz. Ciudad de San Pedro de la Paz, Región del Biobío, Chile.

- F. Yan, Q. Zhang, S. Ye, B. Ren. A novel hybrid approach for landslide susceptibility mapping integrating analytical hierarchy process and normalized frequency ratio methods with the cloud model Geomorphology, 327 (2019), pp. 170-187...
- F. Yan, Q. Zhang, S. Ye, B. Ren. A novel hybrid approach for landslide susceptibility mapping integrating analytical hierarchy process and normalized frequency ratio methods with the cloud model Geomorphology, 327 (2019), pp. 170-187
- Fell, R., Corominas, J., Bonnard, C., Cascini, L., Leroi, E., & Savage, W. Z. (2008). Guidelines for landslide susceptibility, hazard and risk zoning for land use planning. *Engineering geology*, 102(3-4), 85-98.
- Fuenzalida Mansilla, F. A. (2015). Susceptibilidad de remociones en masa en cuenca Las Zorras, afectada por catástrofe incendiaria, comuna de Valparaíso, abril 2014.
- Gholami, M., Ghachkanlu, E.N., Khosravi, K. *et al.* Landslide prediction capability by comparison of frequency ratio, fuzzy gamma and landslide index method. *J Earth Syst Sci* **128**, 42 (2019). <https://doi.org/10.1007/s12040-018-1047-8>
- González de Vallejo, L., Ferrer, M., Ortuño, L., & Oteo, C. (2002). INGENIERÍA GEOLÓGICA. Madrid: PEARSON.
- González, M.E., Sapiains, R., Gómez-González, S., Garreaud, R., Miranda, A., Galleguillos, M., Jacques, M., Pauchard, A., Hoyos, J., Cordero, L., Vásquez, F., Lara, A., Aldunce, P., Delgado, V., Arriagada, Ugarte, A.M., Sepúlveda, A., Farías, L., García, R., Rondanelli, R., J., Ponce, R., Vargas, F., Rojas, M., Boisier, J.P., C., Carrasco, Little, C., Osses, M., Zamorano, C., Díaz-Hormazábal, I., Ceballos, A., Guerra, E., Moncada, M., Castillo, I. (2020). *Incendios forestales en Chile: causas, impactos y resiliencia*. Centro de Ciencia del Clima y la Resiliencia (CR)2, (ANID/FONDAP/15110009), 84 pp. Disponible en <https://www.cr2.cl/incendios/>

- Guzzetti F, Reichenbach P, Ardizzone F et al (2006) Estimating the quality of landslide susceptibility models. *Geomorphology* 81:166–184. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2006.04.007>
- Harden, Carol P. 2006. "Human impacts on headwater fluvial systems in the northern and central Andes". *Geomorphology* 79:249-263.
- Hauser, A. (2000). Remociones en masa en Chile (versión actualizada). SERNAGEOMIN. Santiago, Chile.
- Hepdeniz, K. (2020). Uso del proceso de jerarquía analítica y los métodos de relación de frecuencia para el mapeo de susceptibilidad a deslizamientos de tierra en la carretera Isparta-Antalya (D-685), Turquía. *Arab J Geosci* **13**, 795 <https://doi.org/10.1007/s12517-020-05764-2>
- Highland, L., & Bobrowsky, P. T. (2008). *The landslide handbook: a guide to understanding landslides* (p. 129). Reston, VA, USA: US Geological Survey.
- Huarcaya Fernadez Baca, P. O., & Villalba Velasque, J. (2016). Determinación de los aspectos hidrológicos e hidrológicos e hidrogeológicos de la cuenca del río Ccochapunqo de la provincia de Anta.
- Hutchinson. J. N. (1988). "General report? morphological and geotechnical parameters of landslides in relation to Geology and Hydrogeology", in Bonnard, C. (ed.). *Proceedings of the 11th International Symposium on Landslides*, A. A., Balkema, Rotterdam, Netherlands, vol. I, pp. 3-35.
- INE. (2023). Instituto Nacional de Estadísticas de Chile. Obtenido de INE: <https://www.ine.cl/>
- Ipinza Carmona, R., Barros Asenjo, S., de la Maza Asquet, C., Torres Cuadros, J., & Jofré Filgueira, P. (2023). Manejo forestal sustentable y biodiversidad. *Ciencia & Investigación Forestal*, 29(1), 55–75. <https://doi.org/10.52904/0718-4646.2023.586>
- Jaque Castillo, E., Castillo, C., Ojeda Leal, C., & Díaz, P. (2019). Vulnerabilidad educativa ante incendios forestales en el Área Metropolitana de Concepción. Caso de estudio:

Penco, Chile: Array. *Estudios Socioterritoriales. Revista De Geografía*, (25), e022.
<https://doi.org/10.37838/unicen/est.25-022>

- Jaque Castillo. E. (2021). Estudios territoriales multiamenazas y cambio climático. *Geográfica del Sur*, 10(2), 6-7.
- Kean JW, Smith JB, Rengers FK, McGuire LA, Staley DM (2019b) Post-wildfire debris-flow monitoring data, Las Lomas, 2016 Fish Fire, Los Angeles County, California, November 2016 to February 2017. U.S. Geological Survey data release. <https://doi.org/10.5066/P9F3YTBP>
- Landsberg, J. (1997) El fuego y los bosques: el fuego puede ser un buen criado o un mal amo. In Proc. XI Congreso Forestal Mundial, Antalya, Turquía.
- LARA, M. (2007). Metodología para la evaluación y zonificación de peligro de remociones en masa con aplicación en la Quebrada San Ramón, Santiago Oriente, Región Metropolitana. Tesis para optar al Grado de Magíster en Ciencias Mención Geología y Memoria para optar al título de Geólogo. Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas. Departamento de Geología. P. 27–110.
- Li, L., Lan, H., Guo, C. *et al.* Un método modificado de relación de frecuencia para la evaluación de la susceptibilidad a deslizamientos de tierra. *Deslizamientos de tierra* 14, 727–741 (2017). <https://doi.org/10.1007/s10346-016-0771-x>
- Liu, LL., Zhang, YL., Xiao, T. *et al.* (2022). A frequency ratio–based sampling strategy for landslide susceptibility assessment. *Bull Eng Geol Environ* 81, 360. <https://doi.org/10.1007/s10064-022-02836-3>
- Mardones, M., & Rojas, J. (2012). Procesos de remoción en masa inducidos por el terremoto del 27F de 2010 en la franja costera de la Región del Biobío, Chile. *Revista de geografía Norte Grande*, 57-74.
- Mardones, M.; Echeverría, F. & Jara, C. (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*, Vol. 38, p. 1-25.

- Mardones, María, & Vidal, Claudia. (2001). La zonificación y evaluación de los riesgos naturales de tipo geomorfológico: un instrumento para planificación urbana en la ciudad de Concepción. *EURE (Santiago)*, 27(81), 97-122.
- Marín, M. V., Muñoz, A., & Naranjo, J. A. (2018) Marín, M. V., Muñoz, A., & Naranjo, J. A. (2018). Víctimas fatales causadas por remociones en masa en Chile (1928-2017). In XV Congreso Geológico Chileno "Geociencias hacia la comunidad". PRIN-SG: Sesión General Peligros y Riesgos Naturales (pp. 216-2019).
- Martínez, C. (2013) Vulnerabilidades y desastres socio-naturales: Aportes desde la Geografía al proceso de Reconstrucción en la Región del Biobío. *Rev. GEO. SUR* 4 (6)
- McGuire LA, Rengers FK, Kean JW, Staley DM, Tang H, Youberg AM (2019) Looking through the window of disturbance at post-wildfire debris flow hazards, in: Association of Environmental and Engineering Geologists; Special Publication 28. Colorado School of Mines. Arthur Lakes Library
- McWethy, D., Pauchard, A., García, R., Holz, A., González, M., Veblen, T., Stahl J. & Currey, B. (2018). Landscape drivers of recent fire activity (2001-2017) in south-central Chile. *PLOS ONE*, 2018, N° 13, e0201195.
- Melese, T., Belay, T. & Andemo, A. (2022). Application of analytical hierarchal process, frequency ratio, and Shannon entropy approaches for landslide susceptibility mapping using geospatial technology: The case of Dejen district, Ethiopia. *Arab J Geosci* **15**, 424 . <https://doi.org/10.1007/s12517-022-09672-5>
- Mergili, M., Marchant Santiago, C. I., & Moreiras, S. M. (2015). Causas, características e impacto de los procesos de remoción en masa, en áreas contrastantes de la región Andina. *Cuadernos de Geografía: Revista Colombiana de Geografía*, 24(2), 113-131.

- Ministerio del Medio Ambiente. (2020). Informe del estado del medio ambiente, Ministerio del Medio Ambiente Gobierno de Chile 741- 791, cap 17 Eventos extremos y desastres N°40: 31 –42
- Naranjo, J., Ramírez, P., Clavero, J., & Hauser, A. (2006). REMOCIONES EN MASA CAUSADAS POR LLUVIAS TORRENCIALES, JUNIO 26 – 27, 2005 CONCEPCIÓN, VIII REGIÓN. XI Congreso Geológico Chileno (págs. 109-112). Antofagasta: Universidad Católica del Norte.
- Noticias UdeC. (2023, marzo 22). *Incendios forestales: estudio UdeC concluye que zonas con plantaciones forestales fueron las más afectadas*. Noticias UdeC. <https://noticias.udec.cl/incendios-forestales-estudio-udec-concluye-que-zonas-con-plantaciones-forestales-fueron-las-mas-afectadas/>
- OEA (1993) Manual sobre el manejo de peligros naturales en la planificación para el desarrollo regional integrado. Washington, D.C., Depto. de Desarrollo Regional y Medio Ambiente, secretaria ejecutiva para Asuntos Economicos y Sociales.
- ONEMI Ministerio del Interior y Seguridad Pública. Gobierno de Chile. (2020). Política Nacional para la Reducción del Riesgo de Desastres y Plan Estratégico Nacional para la Reducción del Riesgo de Desastres 2020-2030. Departamento de Gestión del Sistema Nacional de Protección Civil ONEMI.
- Pires, A: L., L. Fuini, R. F. Mancini, D. P. Neto. -Governança territorial. Conceito, fatos e modalidades, UNESP- IGCE, Rio Claro (SP), 2011, 192 pgs.
- Prakash Biswakarma, Varun Joshi, HazemGhassan Abdo, Hussein Almohamad, Ahmed Abdullah Al Dughairi & Motrih Al-Mutiry (2023) An integrated quantitative and qualitative approach for landslide susceptibility mapping in West Sikkim district, Indian Himalaya, Geomatics, Natural Hazards and Risk, 14:1, DOI: [10.1080/19475705.2023.2273781](https://doi.org/10.1080/19475705.2023.2273781)

- Raman R, Punia M (2012) The application of GIS-based bivariate statistical methods for landslide hazards assessment in the upper Tons river valley Western Himalaya, India. *Georisk: Assessment and Management of Risk for Engineered Systems and Geohazards*, 6(3), 145–161. <https://doi.org/10.1080/17499518.2011.637504>
- Raman y Punia (2012). Melese, T., Belay, T. & Andemo, A. (2022). Application of analytical hierarchical process, frequency ratio, and Shannon entropy approaches for landslide susceptibility mapping using geospatial technology: The case of Dejen district, Ethiopia. *Arab J Geosci* **15**, 424 . <https://doi.org/10.1007/s12517-022-09672-5>
- Regmi, A.D., Devkota, K.C., Yoshida, K. *et al.* (2014) Application of frequency ratio, statistical index, and weights-of-evidence models and their comparison in landslide susceptibility mapping in Central Nepal Himalaya. *Arab J Geosci* **7**, 725–742 (2014). <https://doi.org/10.1007/s12517-012-0807-z>
- Regmi, A.D., Devkota, K.C., Yoshida, K. *et al.* (2014). Application of frequency ratio, statistical index, and weights-of-evidence models and their comparison in landslide susceptibility mapping in Central Nepal Himalaya. *Arab J Geosci* **7**, 725–742 .<https://doi.org/10.1007/s12517-012-0807-z>
- Reichenbach P, Rossi M, Malamud BD *et al* (2018) A review of statistically-based landslide susceptibility models. *Earth Sci Rev* 180:60–91. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2018.03.001>
- Rengers, F.K., McGuire, L.A., Oakley, N.S. *et al.* Landslides after wildfire: initiation, magnitude, and mobility. *Landslides* **17**, 2631–2641 (2020). <https://doi.org/10.1007/s10346-020-01506-3>
- Rodríguez, J. M. M. (2014). Geografía y planificación territorial. *Entorno geográfico*, (10).
- Rojas Quezada, C. A., Muñoz Olivera, I., & García-López, M. Á. (2009). Estructura urbana y policentrismo en el Área Metropolitana de Concepción. *Eure (Santiago)*, 35(105), 47-70
- Salas, F. (1993). Manual de formación para la lucha contra incendios. 1a Edición. GETISA, Sevilla. 144 pp

- Sánchez, R., Briones, M.J., Gamboa, A., Monsalve, R., Berroeta, D., Valenzuela, L. 2023. Delimitation of burned areas in Chile based on dNBR thresholds adjusted according to region and land cover. *Revista de Teledetección*, 61, 43-58. <https://doi.org/10.4995/raet.2023.18155>
- Saranaathan, S.E., Mani, S., Ramesh, V. *et al* (2021). Landslide Susceptibility Zonation Mapping Using Bivariate Statistical Frequency Ratio method and GIS: A Case Study in Part of SH 37 Ghat Road, Nadugani, Panthalur Taluk, The Nilgiris. *J Indian Soc Remote Sens* **49**, 275–291 (2021). <https://doi.org/10.1007/s12524-020-01207-3>
- Sepúlveda, S. (1998). Metodología para Evaluar el Peligro de Flujos de Detritos ne Ambientes Montañosos: Aplicación en la Quebrada Lo Cañas, Región Metropolitana. Memoria para optar al Título de Geólogo, Departamento de Geología, Universidad de Chile.
- SERNAGEOMIN (2022) (GUÍA DE CONTENIDOS EXIGIDOS EN ESTUDIOS DE PELIGRO DE REMOCIONES EN MASA EVALUADOS POR SERNAGEOMIN, EN EL CONTEXTO DE PERMISOS MUNICIPALES)
- Shu, H., Guo, Z., Qi, S., Song, D., Pourghasemi, H., & Ma, J. (2021). Integrating Landslide Typology with Weighted Frequency Ratio Model for Landslide Susceptibility Mapping: A Case Study from Lanzhou City of Northwestern China. *Remote Sensing*, 13(18), 3623. MDPI AG. Retrieved from <http://dx.doi.org/10.3390/rs13183623>
- Terzaghi, K. (1950). "Mechanisms of landslides", *Geol. Soc. Am.. Berkeley Volume*, pp. 83-123.
- Thiery, Y., Malet, J.-P., Sterlacchini, S., Puissant, A., & Maquaire, O. (2007). Landslide susceptibility assessment by bivariate methods at large scales: Application to a complex mountainous environment. (ELSEVIER, Ed.) *Geomorphology*, 38-59.
- Thongley, & Vansarochana, C. (2021). Landslide susceptibility assessment using frequency ratio model at Ossey watershed area in Bhutan. *Engineering and Applied Science Research*, 56-64.

- Tien Bui, D., Ho, T. C., Revhaug, I., Pradhan, B., and Nguyen, D. (2014a). Landslide susceptibility mapping along the national road 32 of vietnam using GIS-based J48 decision tree classifier and its ensembles, Springer Berlin Heidelberg, DOI: 10.1007/978-3-642-32618-9_22.
- Úbeda, X., & Francos, M. (2018). Incendios forestales, un fenómeno global. *Biblio 3w: revista bibliográfica de geografía y ciencias sociales*.
- UNISDR. (2004). ¿Qué es el Riesgo? Oficina de las Naciones Unidas para Reducción de Riesgo de Desastres
- Valenzuela, N. V. U., & Cáceres, F. (2011). Incendios forestales: principales consecuencias económicas y ambientales en Chile. *RIAT: Revista Interamericana de Medioambiente y Turismo*, 7(1), 18-24
- Valenzuela, N. V. U., & Cáceres, F. (2011). Incendios forestales: principales consecuencias económicas y ambientales en Chile. *RIAT: Revista Interamericana de Medioambiente y Turismo*, 7(1), 18-24.
- van Westen CJ, Rengers N, Soeters R (2003) Use of geomorphological information in indirect landslide susceptibility assessment. *Nat Hazards* 30:399–419. <https://doi.org/10.1023/B:NHAZ.0000007097.42735.9e>
- Varnes, D. J. (1978), "Slope movements, types and processes", Landslides: Analysis and control, transportation research board, Spec. Rep. 176, e 11-33, National Academy of Science, Washington.
- Zhang, G., Cai, Y., Zheng, Z., Zhen, J., Liu, Y., & Huang, K. (2016). Integration of the Statistical Index Method and the Analytic Hierarchy Process technique for the assessment of landslide susceptibility in Huizhou, China. *Catena*, 233-244.
- Zhang, YL., Xiao, T. et al. (2022). A frequency ratio–based sampling strategy for landslide susceptibility assessment. *Bull Eng Geol Environ* 81, 360 <https://doi.org/10.1007/s10064-022-02836-3>

12. ANEXOS

12.1 Tabla Frequency Ratio.

Factor	Clase	Pixeles Clase	Pix Clase (%)	Area RM	Pixeles RM	Pix RM (%)	FR	RF	RF (%)	Min RF	Max RF	Max-Min RF	(Max-Min RF)min	P R
Pendiente	< 5	6639176	33,38%	0	0	0,00%	0,000000	0,000	0	0,000	0,957	0,957	0,275	3,48
	5 - 15°	7184000	36,12%	50	2	3,77%	0,000003	0,007	1					
	15 -25°	4910841	24,69%	175	7	13,21%	0,000014	0,036	4					
	25°	1153701	5,80%	1100	44	83,02%	0,0000381	0,957	96					
	Total	19887718	100,00%	1325	53	100,00%	0,0000398	1,000	100					
Elevación	22,371 - 30 m	45984	0%	0	0	0%	0,000000	0,000	0	0,000	0,450	0,450	0,275	1,63
	30 - 40	180075	1%	100	4	8%	0,000022	0,450	45					
	40 - 50	813115	4%	350	14	26%	0,0000172	0,349	35					
	50 - 100	2065734	10%	225	9	17%	0,000044	0,88	9					
	100 - 150	3835431	19%	300	12	23%	0,000031	0,63	6					
	150 - 200	4549256	22%	200	8	15%	0,000018	0,36	4					

Susceptibilidad de remoción en masa, en comuna de Santa Juana.

	200 > m	912865 9	44%	150	6	11%	0,000 0007	0,0 13	1				
	Total	206182 54	100%	1325	53	100%	0,000 0493	1,0 00	100				
Dist. Drenajes	0 - 50	205758 5	9,98%	425	17	32,08 %	0,000 0083	0,2 89	29	0,0 03	0,46 5	0,463	1, 6 8
	50 - 100	173211 9	8,40%	575	23	43,40 %	0,000 0133	0,4 65	47				
	100 - 150	175429 6	8,51%	250	10	18,87 %	0,000 0057	0,2 00	20				
	150 - 200	163303 0	7,92%	50	2	3,77%	0,000 0012	0,0 43	4				
	200 >	134412 24	65,19%	25	1	1,89%	0,000 0001	0,0 03	0				
	Total	206182 54	100,00 %	1325	53	100,0 0%	0,000 0285	1,0 01	100				
Dist. Carreteras	0 - 10	236172	1,15%	200	8	15,11 %	0,000 0339	0,1 61	16	0,0 02	0,61 2	0,610	2, 2 1
	10 - 20	202202	0,98%	650	26	49,09 %	0,000 1286	0,6 12	61				
	20 - 30	212343	1,03%	225	9	16,99 %	0,000 0424	0,2 02	20				
	30 - 40	199728	0,97%	24	0,96	1,81%	0,000 0048	0,0 23	2				
	40 >	197678 09	95,88%	225	9	16,99 %	0,000 0005	0,0 02	0				
	Total	206182 54	100,00 %	1324	52,96	100,0 0%	0,000 2101	1,0 00	100				
Forma de la pendiente	Concava	960443 2	46,58%	425	17	32,08 %	0,000 0018	0,3 51	35	0,0 00	0,64 9	0,649	2, 3 6
	Plana	32056	0,16%	0	0	0,00%	0,000 0000	0,0 00	0				
	Convexa	109817 66	53,26%	900	36	67,92 %	0,000 0033	0,6 49	65				
	Total	206182 54	100,00 %	1325	53	100,0 0%	0,000 0050	1,0 01	100				
Litología	Fm. Huachipato	122921 6	6%	50	2	4%	0,000 0016	0,1 49	15	0	0,44 9	0,449	1, 6 3
	F.m Santa Juana	407577 1	20%	500	20	38%	0,000 0049	0,4 49	45				
	Dep. Fluviales recientes	15505	0%	0	0	0%	0,000 0000	0,0 00	0				
	Comp. Int. Concepción cuerpos de agua	113890 84	55%	525	21	40%	0,000 0018	0,1 69	17				
	serie oriental	390756 3	19%	250	10	19%	0,000 0026	0,2 34	23				
	Total	206182 54	100%	1325	53	100%	0,000 0109	1,0 01	100				
Orientación de laderas	Flat	989	0%	0	0	0%	0,000 0000	0,0 00	0	0	0,27 5	0,275	1, 0 0
	North	249589 9	12%	75	3	6%	0,000 0012	0,0 63	6				

Susceptibilidad de remoción en masa, en comuna de Santa Juana.

	Northeast	288360 7	14%	275	11	21%	0,000 0038	0,1 99	20				
	East	316562 1	15%	375	15	28%	0,000 0047	0,2 47	25				
	Southeast	264818 2	13%	350	14	26%	0,000 0053	0,2 75	28				
	South	221591 2	11%	25	1	2%	0,000 0005	0,0 24	2				
	Southwest	226400 4	11%	50	2	4%	0,000 0009	0,0 46	5				
	West	250078 1	12%	125	5	9%	0,000 0020	0,1 04	10				
	Northwest	244325 9	12%	50	2	4%	0,000 0008	0,0 43	4				
	Total	206182 54	100%	1325	53	100%	0,000 0192	1	100				
Coberturas	Agrícola	824919	4%	50	2	4%	0,000 0024	0,0 24	2	0	0,55 9	0,559	2, 0 3
	Bosque Nativo	818305	4%	50	2	4%	0,000 0024	0,0 24	2				
	Plantaciones Exóticas	119615 6	6%	50	2	4%	0,000 0017	0,0 17	2				
	Humedales	425006	2%	25	1	2%	0,000 0024	0,0 23	2				
	Matorrales	71171	0%	100	4	8%	0,000 0562	0,5 59	56				
	Cuerpos de Agua	3598	0%	0	0	0%	0,000 0000	0,0 00	0				
	Suelos Desnudos	218354 0	11%	0	0	0%	0,000 0000	0,0 00	0				
	Área Urbana	388491	2%	325	13	25%	0,000 0335	0,3 33	33				
	Área Quemada	147070 68	71%	725	29	55%	0,000 0020	0,0 20	2				
	Total	206182 54	100%	1325	53	100%	0,000 1005	1,0 000	100				

Fuente: elaboración propia.

12.2 FOTOGRAFÍAS DE SALIDA A TERRENO.

12.2.1 Figura. Salida a terreno Ruta de la madera Santa Juana, Chile.



Susceptibilidad de remoción en masa, en comuna de Santa Juana.

Fuente: Fotografía de Bascuñán. F, terreno del 2 de Julio de 2023.

12.2.1 Figura. Salida a terreno Ruta de la madera Santa Juana, Chile



Fuente: Fotografía de Bascuñán. F, terreno del 2 de Julio de 2023.

12.2.1 Figura. Salida a terreno Ruta de la madera Santa Juana, Chile



Susceptibilidad de remoción en masa, en comuna de Santa Juana.

Fuente: Fotografía de Bascuñán. F, terreno del 2 de Julio de 2023.

12.2.1 Figura. Salida a terreno Ruta de la madera Santa Juana, Chile



Fuente: Fotografía de Bascuñán. F, terreno del 2 de Julio de 2023.

12.2.1 Figura. Salida a terreno Ruta de la madera Santa Juana, Chile



Susceptibilidad de remoción en masa, en comuna de Santa Juana.

Fuente: Fotografía de Bascuñán. F, terreno del 2 de Julio de 2023.

12.2.1 Figura. Salida a terreno Ruta de la madera Santa Juana, Chile



Susceptibilidad de remoción en masa, en comuna de Santa Juana.

Fuente: Fotografía de Bascuñán. F, terreno del 2 de Julio de 2023.

12.3 Inventario obtenido en base a revisión de prensa Diario El Sur periodo 1990-2019.

ID	Tipo	Sector	Fecha	Desencadenante	Latitud	Longitud
SJ202301	Deslizamiento de tierra	km 10	09-07-1993	Precipitaciones	36° 55' 46,381" S	73° 2' 59,514" W
SJ202302	Deslizamiento de tierra	km 12	09-07-1993	Precipitaciones	36° 56' 50,942" S	73° 2' 56,968" W
SJ202303	Deslizamiento de tierra	km 20	09-07-1993	Precipitaciones	36° 58' 47,771" S	72° 58' 51,090" W
SJ202304	Deslizamiento de tierra	km 7	20-07-1993	Precipitaciones	36° 54' 14,099" S	73° 3' 23,189" W
SJ202305	Deslizamiento de tierra	km 11	20-07-1993	Precipitaciones	36° 56' 18,844" S	73° 2' 57,267" W
SJ202306	Deslizamiento de tierra	km 18	20-07-1993	Precipitaciones	36° 58' 40,852" S	73° 0' 9,514" W
SJ202307	Deslizamiento de tierra	km 33	20-07-1993	Precipitaciones	37° 3' 53,736" S	72° 59' 22,894" W
SJ202308	Flujo de barro	km 25	28-06-2005	Precipitaciones	37° 0' 3,886" S	72° 58' 42,276" W
SJ202309	Flujo de barro	km 56	07-07-2006	Precipitaciones	37° 17' 9,460" S	72° 44' 55,886" W
SJ202310	Flujo de barro	km 54.6	17-07-2006	Precipitaciones	37° 14' 34,761" S	72° 57' 51,733" W
SJ202311	Deslizamiento de rocas	km 15	29-05-1991	Precipitaciones	36° 58' 10,329" S	73° 1' 56,811" W
SJ202312	Deslizamiento de tierra	km 65	04-09-1999	Precipitaciones	37° 16' 22,850" S	72° 57' 15,614" W
SJ202313	Deslizamiento de tierra	km 16.5	07-07-2008	Precipitaciones	36° 58' 37,988" S	73° 1' 9,508" W
SJ202314	Deslizamiento de tierra	km 31	24-06-2010	Precipitaciones	37° 2' 52,452" S	72° 58' 55,507" W
SJ202315	Deslizamiento de tierra	km 24,3	29-08-2008	Precipitaciones	36° 59' 47,623" S	72° 58' 17,253" W
SJ202316	Deslizamiento de tierra	km 39	24-06-2010	Precipitaciones	37° 7' 4,810" S	72° 59' 2,953" W
SJ202317	Deslizamiento de tierra	km 24,8	29-08-2008	Precipitaciones	36° 59' 57,928" S	72° 58' 32,600" W
SJ202318	Flujo de barro	km 56	17-07-2006	Precipitaciones	37° 15' 4,071" S	72° 57' 38,750" W
SJ202319	Deslizamiento de tierra	sector la cascada	14-06-1996	Precipitaciones	37° 15' 29,074" S	72° 57' 42,714" W
SJ202320	deslizamiento de tierra	km 40	16-06-1997	Precipitaciones	37° 7' 32,477" S	72° 59' 6,614" W
SJ202321	Deslizamiento de tierra	km 12-2	01-08-2001	Precipitaciones	36° 56' 51,106" S	73° 2' 56,786" W
SJ202322	Deslizamiento de tierra	km 20-2	01-08-2001	Precipitaciones	36° 58' 47,281" S	72° 58' 50,718" W
SJ202323	Deslizamiento de tierra	km 23,5	04-07-2001	Precipitaciones	36° 59' 28,853" S	72° 57' 55,641" W

12.4 Inventario obtenido en base a revisión de prensa Digital

ID	Tipo	Sector	Fecha	Desencadenante	Fuente	Link
SJ20 23- PD1	Deslizamiento de tierra	Sector Las Dalia	19-08-2023	Precipitaciones	Instagram	https://www.instagram.com/p/CwJPP_ggJVp/?utm_source=ig_web_copy_link&igshid=MzRIODBiNWFIZA==
SJ20 23- PD2	Deslizamiento de tierra	Kilómetro 36,	25-06-2023	Precipitaciones	Twitter	https://twitter.com/MOPBiobio/status/1672963254157467648?s=20
SJ20 23- PD3	Deslizamiento de tierra	km 33	11-07-2020	Precipitaciones	Diario Concepción Online	https://www.diarioconcepcion.cl/ciudad/2020/07/11/preocupacion-por-nuevos-derrumbes-en-ruta-de-la-madera.html
SJ20 23- PD4	Desprendimie nto de roca	km 32	16-05-2023	Desconocido	Instagram	https://www.instagram.com/p/CsTfq-PNNAU/?igsh=ZTZ2YjlzeTN2Y2Zh
SJ20 23- PD5	Deslizamiento de tierra	km 31-2	04-07-2017	Precipitaciones	Twitter	https://x.com/cebiobio/status/882103833232629761?s=48&t=AjmF3EoKLL1IFGBqPwq_wg
SJ20 23- PD6	Deslizamiento de tierra	km 30	10-07-2020	Precipitaciones	Diario Concepción Online	https://www.diarioconcepcion.cl/ciudad/2020/07/11/preocupacion-por-nuevos-derrumbes-en-ruta-de-la-madera.html
SJ20 23- PD7	Deslizamiento de tierra	km 31-3	04-07-2017	Precipitaciones	Instagram	https://www.instagram.com/p/CtPHoHGgldi/?igsh=cmR2d24xaDAwYnF3

Fuente: Elaboración propia en base a Tesis Doctoral Francisco Castro.