

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



**MÉTODO ESTADÍSTICO BIVARIADO (FREQUENCY RATIO) PARA  
MODELAR LA SUSCEPTIBILIDAD A REMOCIONES EN MASA E  
IDENTIFICAR UNIDADES GEOMORFOLÓGICAS SUSCEPTIBLES**

**Una herramienta para la gestión del riesgo en las comunas de  
Concepción, Hualpén, Chiguayante y Talcahuano**

MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE GEÓGRAFO O GEÓGRAFA

Luis Alberto Gajardo Pino  
Dra. Edilia Del Carmen Jaque Castillo

Ciudad Universitaria, Concepción, diciembre 2022

## ÍNDICE DE CONTENIDO

1	INTRODUCCIÓN.....	1
2	PROBLEMÁTICA .....	4
3	PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN .....	9
4	HIPÓTESIS .....	10
5	OBJETIVOS .....	11
5.1	Objetivo general.....	11
5.2	Objetivos específicos .....	11
6	METODOLOGÍA.....	12
6.1	Enfoque metodológico .....	12
6.2	Área de estudio.....	13
6.2.1	Localización y antecedentes generales del área de estudio .....	13
6.2.2	Antecedentes climáticos.....	14
6.2.3	Topografía .....	16
6.2.4	Marco estructural.....	19
6.2.5	Contexto Morfogenético .....	22
6.2.6	Crecimiento de la población y superficie urbana (1990-2020).....	24
6.2.7	Usos del suelo .....	26
6.3	Métodos y técnicas .....	27
6.3.1	Mapa de inventario de remociones en masa .....	27
6.3.2	Zonificación de susceptibilidad .....	30
7	MARCO TEÓRICO CONCEPTUAL .....	48
7.1	Conceptos de riesgo en las remociones en masa .....	48
7.1.1	Riesgos Geológicos.....	48

7.1.2	Susceptibilidad .....	48
7.1.3	Peligro .....	48
7.1.4	Vulnerabilidad.....	49
7.1.5	Riesgo .....	49
7.2	Remociones en masa e inventarios .....	50
7.2.1	Remociones en masa.....	50
7.2.2	Evolución de las laderas.....	50
7.2.3	Estabilidad de las laderas.....	51
7.2.4	Causas de las remociones en masa.....	52
7.2.5	Tipos de remociones en masa .....	61
7.2.6	Enfoques metodológicos de remociones en masa .....	68
7.3	Geomorfología aplicada al riesgo .....	73
7.3.1	Geomorfología.....	73
7.3.2	Geomorfología aplicada .....	75
7.3.3	El mapa geomorfológico.....	75
8	CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES .....	78
9	RESULTADOS .....	80
9.1	Inventario de remociones en masa en base a prensa (1990-2020). .....	80
9.2	Zonificación de la susceptibilidad de RM .....	88
9.2.1	Resultados del método Frequency Ratio (FR). .....	88
9.3	Validación de la susceptibilidad y relaciones estadísticas con el mapa geomorfológico. ....	92
9.3.1	Precisión Estadística del Modelo.....	92
9.3.2	Área bajo la curva ROC.....	93
9.3.3	Coherencia Geomorfológica del Modelo de Susceptibilidad .....	94

10	CONCLUSIONES.....	118
11	BIBLIOGRAFÍA.....	122
12	ANEXOS.....	137
12.1	Anexo 1: Formularios de Fichas .....	137
12.2	Anexo 2: Inventarios de PRM .....	141
12.3	Anexo 3: Resultado de Fórmulas Aplicadas .....	165
12.4	Anexo 4: Mapas Geomorfológicos .....	174



## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Víctimas Fatales por Remociones en Masa en el Área de Estudio entre 1990-2006.....	5
Tabla 2 Promedio de Temperatura y Precipitaciones 1990-2020. ....	16
Tabla 3 Parámetros Seleccionados para el Método FR.....	33
Tabla 4 Factores Condicionantes y Desencadenantes. ....	53
Tabla 5 Relación entre Vegetación y Estabilidad de las Laderas.....	55
Tabla 6 Procesos de Meteorización Mecánica y Química.....	57
Tabla 7 Tipos de Flujos y Características. ....	66
Tabla 8 Análisis y Técnicas en Relación a Escalas de Mapeo.....	69
Tabla 9 Denominación de Mapas de Acuerdo a la Escala.....	77
Tabla 10 Cronograma de Actividades.....	79
Tabla 11 Resumen de Reportes de por RM 1990-2020.....	80
Tabla 12 Reportes de RM con Víctimas Fatales.....	82
Tabla 13 Datos de Precipitaciones y Cantidad de Reportes de RM.....	84
Tabla 14 Reportes de RM por Comuna y Tipo.....	86
Tabla 15 Sectores con 4 o más Reportes en 30 Años. ....	87
Tabla 16 Peso de las Clases de cada Factor con Frequency Ratio.....	89
Tabla 17 Superficie de Clases de Susceptibilidad en el Área de Estudio. ....	91
Tabla 18 Análisis de Coherencia Geomorfológica en Sector de la Comuna de Concepción. ....	96
Tabla 19 Correspondencia entre Unidades Geomorfológicas y Tipos de PRM en Sector de la Comuna de Concepción.....	100
Tabla 20 Análisis de la Coherencia Geomorfológica en Sector de la Comuna de Talcahuano. ....	102
Tabla 21 Correspondencia entre Unidades Geomorfológicas y Tipos de PRM en Sector Sur Occidental de la Comuna de Talcahuano. ....	106
Tabla 22 Análisis de la Coherencia Geomorfológica en Sector de la Comuna de Chiguayante.....	108

Tabla 23 Correspondencia entre Unidades Geomorfológicas y Tipos de PRM en Sector Occidental de la Comuna de Chiguayante..... 111

Tabla 24 Análisis de la Coherencia Geomorfológica en Sector de la Comuna de Hualpén..... 113

Tabla 25 Correspondencia entre Unidades Geomorfológicas y Tipos de PRM en Sector Occidental de la Comuna de Hualpén. .... 116



## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1	Área de Estudio. ....	14
Figura 2	Climograma del Área de Estudio .....	16
Figura 3	Mapa Topográfico. ....	18
Figura 4	Mapa Geológico. ....	21
Figura 5	Superficie Urbana 1993-2020. ....	25
Figura 6	Usos de Suelo y su Distribución. ....	27
Figura 7	Inventario de Reportes de RM 1990-2020. ....	28
Figura 8	Mapa de Inventario de PRM. ....	29
Figura 9	Mapa de Inventario de PRM para el Método Estadístico Bivariado. ....	30
Figura 10	Mapa de Altitud. ....	34
Figura 11	Mapa de Distancia del Drenaje .....	35
Figura 12	Mapa de Pendiente. ....	36
Figura 13	Mapa de la Forma de la Pendiente .....	37
Figura 14	Mapa de Unidad Litológicas .....	38
Figura 15	Mapa del NDVI. ....	40
Figura 16	Mapa de Orientación Solar. ....	41
Figura 17	Curva de ROC Hipotética. ....	44
Figura 18	Datos Vectoriales de Puntos utilizados para Modelar y Evaluar. ....	45
Figura 19	Tipos de Remociones en Masa. ....	62
Figura 20	Esquema de un Deslizamiento Rotacional. ....	64
Figura 21	Cantidad de Reportes de RM 1990-2020. ....	81
Figura 22	Cantidad de Reportes de RM 1990-2020 por Mes. ....	83
Figura 23	Gráficos de Dispersión entre Precipitaciones y Reportes de RM. ....	85
Figura 24	Mapa de Susceptibilidad de PRM para el Área de Estudio. ....	91
Figura 25	Distribución de RM ocurridas dentro de las 5 Clases de Susceptibilidad. .....	92
Figura 26	Curva de la Tasa de Predicción. ....	93
Figura 27	Curva de la Tasa de Exactitud. ....	94

Figura 28 Correlación entre Susceptibilidad y Densidad de PRM en Sector de la Comuna de Concepción.....	98
Figura 29 Correlación entre Susceptibilidad y Distribución de PRM en Sector de la Comuna de Talcahuano.....	105
Figura 30 Correlación entre Susceptibilidad y Distribución de PRM en Sector de la Comuna de Chiguayante. ....	110
Figura 31 Correlación entre Susceptibilidad y Distribución de PRM en Sector de la Comuna de Hualpén. ....	115
Figura 32 Caídas de Roca en Los Acantilados marinos Inactivos de Lenga. ....	117





## RESUMEN

Las comunas de Concepción, Talcahuano, Hualpén y Chiguayante, comprenden un espacio urbano dinámico que presenta dificultades para la expansión de sus límites, debido a las características físicas del asentamiento. De manera que se han identificado áreas densamente pobladas con un alto riesgo de remociones en masa (RM). Entre 1990 y el 2020 se han reportado numerosas RM desencadenadas por intensas precipitaciones con un saldo total de 18 víctimas fatales. El objetivo de esta investigación es contribuir a la planificación territorial en el ámbito de la gestión del riesgo en estas comunas, proporcionando un método para modelar la susceptibilidad y su validación con ayuda de un inventario multitemporal basado en reportes de prensa local, abarcando 30 años (1990-2020), trabajo de campo y otras fuentes, y mapas geomorfológicos, identificando, además, unidades geomorfológicas susceptibles. Para ello se modeló con un método estadístico bivariado y se validó con el Área Bajo la Curva (AUC) de la Curva de las Características Operativas del Receptor (ROC) y la Coherencia Geomorfológica. En base al modelo se obtuvo que un 12 % de la superficie del área de estudio presenta una susceptibilidad “Alta”, y un 2 %, “Muy alta”. Además, los factores evaluados que demostraron mayor correlación con la ocurrencia de RM son la Altitud, Pendiente y Litología. La validación del modelo dio valores positivos; el AUC de la Tasa de Predicción y Tasa de Exactitud fue de 0,86 y 0,88, respectivamente. A partir del análisis de la Coherencia Geomorfológica del modelo, se obtuvo que las unidades más susceptibles a RM son los Escarpes de Falla y los Acantilados Marinos Activos e Inactivos, reflejando la coherencia de este. Se concluyó que la revisión de prensa es una herramienta válida para la actualización de mapas de susceptibilidad y que un enfoque indirecto permite reconocer nuevas áreas susceptibles a RM donde incluso no existe un levantamiento geomorfológico a diferencia del enfoque directo, utilizado frecuentemente en el área de estudio.

**Palabras claves:** Remociones en masa, geomorfología aplicada, susceptibilidad, método estadístico bivariado, gestión del riesgo.

## ABSTRACT

The communes of Concepción, Talcahuano, Hualpén and Chiguayante, comprise a dynamic urban space that presents difficulties for the expansion of its limits, due to the physical characteristics of the settlement. Thus, densely populated areas with a high risk of landslides (RM) have been identified. Between 1990 and 2020, numerous RM triggered by intense rainfall have been reported with a total balance of 18 fatalities. The objective of this research is to contribute to territorial planning in the field of risk management in these communes, providing a method to model susceptibility and its validation with the help of a multitemporal inventory based on local press reports, covering 30 years (1990-2020), field work and other sources, and geomorphological maps, also identifying susceptible geomorphological units. For this, it was modeled with a bivariate statistical method and validated with the Area Under the Curve (AUC) of the Receiver Operating Characteristics Curve (ROC) and Geomorphological Coherence. Based on the model, it was obtained that 12% of the surface of the study area presents a "High" susceptibility, and 2%, "Very high". In addition, the factors evaluated that showed the highest correlation with the occurrence of RM are Altitude, Slope, and Lithology. The validation of the model gave positive values; the AUC of the Prediction Rate and Accuracy Rate were 0.86 and 0.88, respectively. From the analysis of the Geomorphological Coherence of the model, it was obtained that the units most susceptible to RM are the Fault Escarpments and the Active and Inactive Marine Cliffs, reflecting the coherence of this. It was concluded that the press review is a valid tool for updating susceptibility maps and that an indirect approach allows recognizing new areas susceptible to RM where there is not even a geomorphological survey, unlike the direct approach, frequently used in the study area.

**Keywords:** Mass movements, applied geomorphology, susceptibility, bivariate statistical method, risk management.

# 1 INTRODUCCIÓN

Los Movimientos en Masa se refieren al proceso mediante el cual el material de la superficie terrestre (roca o suelo) se desplaza pendiente abajo por acción de la gravedad. Se caracterizan por: una baja selección del material movilizado; están asociados a relieves de pendientes fuertes, y, frecuentemente, son asistidos por agentes geomorfológicos como el agua, el viento o el hielo (Rodríguez-García et al., 2016). Estos procesos contribuyen cada año a los principales desastres a escala global y se observa una tendencia a aumentar su frecuencia (UNISDR, 2004). Los deslizamientos de tierra causan la muerte y lesiones de miles de personas y pérdidas monetarias de miles de millones anualmente en todo el mundo (United States Geological Survey [USGS], 2004; USGS, 2022; Highland & Bobrowsky, 2008). Uno de los principales factores que contribuyen al aumento de la vulnerabilidad frente a los peligros de remoción en masa a nivel mundial es la actividad humana, asociada a la expansión de la población y la ocupación de nuevos terrenos que implican cambiar patrones de drenaje, desestabilizar laderas y eliminar vegetación, así como políticas de uso de tierra deficientes o inexistentes (Highland & Bobrowsky, 2008). A nivel mundial, alrededor del 55 % de la población vive en ciudades y, a pesar de que se observa una ralentización del crecimiento, se estima que para el 2030, la población urbana del mundo alcance el 60 %, de los cuales, el 96 % ocurrirá en las regiones menos desarrolladas de Asia y África (UN-Habitat, 2020). De acuerdo a datos del Banco Mundial (2020b) en América Latina y el Caribe la población urbana alcanza un 81 %.

Esta tendencia del crecimiento de la población urbana se acompaña de problemas de segregación y desigualdad que implica una mayor vulnerabilidad a los peligros socio-naturales de la población de los países más pobres. “Alrededor del 90 % de la expansión urbana de los países en desarrollo se registra en áreas próximas a zonas de riesgo y se traduce en asentamientos informales y no planificados” (Banco Mundial, 2020a). La presión del precio del suelo en las ciudades donde se espera un crecimiento importante en términos de superficie y

población da pie al desarrollo de asentamientos informales en lugares inadecuados para la construcción de viviendas (Dollfus, 1971; Lacoste, 1976). Junto con lo anterior, si bien la planificación territorial, por una parte, se identifica como una herramienta capaz de mitigar los daños asociados a los riesgos naturales (Dollfus, 1991), por otra, se reconoce como una herramienta eficiente de segregación urbana (Sabatini & Soler, 1995).

Apoyados en estas normas de zonificación, los mercados inmobiliarios en las áreas más afluentes de las ciudades evitan una serie de externalidades negativas, como la desvalorización de propiedades por la llegada de vecinos y construcciones pobres. Pero esas externalidades reaparecen en los barrios periféricos de bajos ingresos en la forma de disminución de la accesibilidad, carencia de servicios y equipamientos, y problemas sociales. (Sabatini & Soler, 1995, p.70)

Dando cuenta de una relación estrecha entre segregación, pobreza y desastres naturales. Como señala Dollfus (1982) “La ordenación del territorio es la impresión de una política económica con sus consecuencias sociales” (p.124). En este sentido el paisaje urbano de las ciudades latinoamericanas se caracteriza por un dominio de la “... «arquitectura espontánea» [...] visible cuando la topografía urbana ha expulsado hacia las laderas de las colinas las habitaciones ilegales (Caracas, México, Montevideo, Quito, Río, etc.) ...” (Schneider, 2002, p.149). En la misma línea Cicerchia (2002) señala que:

En América latina, los problemas sociales, ecológicos y sanitarios están aún más interconectados entre sí que en los países industrializados. La fragmentación social que existe se refleja en una marginalización urbana mucho más marcada. De esta manera encontramos que la falta de vivienda accesible sigue llevando a muchas personas a hacinarse en viejos edificios centrales, pero sobre todo a establecerse en asentamientos ilegales en los márgenes de la ciudad, por medio de la ocupación espontánea u organizada de terrenos públicos o privados. (p.123)

El suelo es un recurso rentable en las ciudades, aprovechado por la industria inmobiliaria; el interés de la geografía radica en proponer un uso racional de los recursos, mediante la ordenación consciente del territorio (Tricart & Kilian, 1982) con el objeto de evitar efectos adversos, tales como, por ejemplo, la degradación ambiental y, la pérdida de vidas y bienes por desastres socio naturales.

En el 2019 la población urbana de Chile alcanzó un 88,4%, y se estima que para el 2035 ascienda a un 89,1 % (Instituto Nacional de Estadísticas [INE], 2019), por lo que es necesario contar con herramientas que contribuyan a prevenir y mitigar los daños de remociones en masa, debido al aumento del riesgo ligado al crecimiento demográfico y urbano. Entre 1928 y 2017, se contabilizaron un total de 1.010 víctimas fatales provocadas por remociones en masa en el país y entre el periodo de 1979 y 2017 se observó una tasa anual de víctimas fatales superior en un 8 % respecto de los períodos anteriores (Marín, Muñoz, & Naranjo, 2018).



## 2 PROBLEMÁTICA

De acuerdo al Censo del 2017, el borde costero de la Región del Bío-Bío, asiento de las comunas que conforman el Área Metropolitana de Concepción (AMC), concentra una población de 946.952 personas<sup>1</sup>, lo que equivale al 61 % de la población total de la región (1.556.805), mientras que las comunas de Concepción, Talcahuano, Hualpén y Chiguayante, con 553.034 personas, el 32 %.

En el periodo colonial la localización de Concepción tuvo un interés estratégico militar antes que la fundación de una gran ciudad. La posición central de la ciudad en la llanura litoral rodeada de cerros y pantanos se definió por el valor defensivo, militar y comunicación marítima que el aislamiento físico con respecto a la Depresión Central ofrece la cordillera costera y el río Biobío, y la posición protegida con relación al Océano Pacífico, de las bahías entre las penínsulas de Hualpén y Tumbes, y la Isla Quiriquina (Reclus, 1903; Mardones & Brito, 1979; Torrejón, King, & Virano, 2002; Cartes & Montero, 2020). Como señala Dollfus (1978), reflejando un fenómeno geográfico e histórico: “En determinados casos el valor de la posición predomina en un lugar a priori poco favorable para ciertas actividades” (p.23). Las playas en el Renacimiento fueron el trampolín para la colonización y en la segunda mitad del siglo XX, 3/4 partes de las ciudades más importantes del mundo se encuentran en las orillas del mar (Haggett, 1994).

La década de los noventas en el AMC, donde hubo una expansión urbana importante (Rojas, Opazo, & Jaque, 2009), implicando la construcción de viviendas en lugares inapropiados. Como señala Alarcón (1995) la expansión urbana del AMC por el aumento de la población se ha traducido en la necesidad de ocupar “zonas con serias restricciones naturales para el asentamiento humano como antiguos cauces, zonas pantanosas, laderas altamente erosionadas, etc.” (p.12). Mardones & Vidal (2001) señalan que en la ciudad de Concepción “los riesgos se incrementan

---

<sup>1</sup> Equivale a 1/7 parte de la población total del Área Metropolitana de Santiago. En términos de población, el Área Metropolitana de Concepción y Valparaíso son las más importantes del país luego del Área Metropolitana de Santiago.

como consecuencia de una urbanización que ignora la capacidad de acogida del territorio” (p.119).

Entre los años 2005 y 2006, en los temporales de la estación lluviosa, se desencadenaron remociones en masa que dejaron un saldo de 15 personas fallecidas (Naranjo, Arenas, & Ramírez, 2006), lo que evidenció que en el Concepción Metropolitano existen áreas densamente pobladas con alto grado de vulnerabilidad (Naranjo, Ramírez, Clavero, & Hauser, 2006), las que coinciden con las áreas donde se asienta la población de bajos ingresos (Mardones & Vidal, 2001; Rojas et al, 2009). Al mismo tiempo se verifica un aumento de las víctimas fatales por RM en el área de estudio: la década de los noventa equivale a 1/5 de las personas fallecidas entre el 2005 y 2006 (Tabla 1).

**Tabla 1**  
**Víctimas Fatales por Remociones en Masa en el Área de Estudio entre 1990-2006.**

Víctimas fatales	Lugar	Fecha
2	Cerro Zaror, Talcahuano	19 de junio de 1991
1	Cerro La Pólvora, Concepción	30 de julio de 1997
1	Cerro San Miguel, Talcahuano	26 de junio de 2005
3	Cerro la Pólvora, Concepción	26 de junio de 2005
1	Población Papen, Chiguayante	26 de junio de 2005
10	Valle la Piedra, Chiguayante	11 de julio de 2006

Fuente: Elaboración propia en base a EL SUR; Naranjo, Arenas, & Ramírez (2006); Naranjo, Ramírez, Clavero, & Hauser, (2006).

La construcción de viviendas, la extracción de arcillas y los incendios forestales en los cerros, en la proximidad de zonas residenciales, han sido factores decisivos para que en los temporales de la estación de invierno se produzcan remociones en masa. Debido a numerosos problemas de deslizamientos en Palomares y Nonguén, en 1993 la municipalidad de Concepción presentó un recurso de protección contra ladrilleras que extraían material de los cerros (EL SUR, 1993); en junio de 1999, en Chiguayante, luego de intensas precipitaciones, se desencadenó un flujo de detritos y barro que tuvo como antecedente de origen la erosión provocada por los incendios

forestales (EL SUR, 1999b), dejando a una decena de familias damnificadas (EL SUR, 1999a); en el 2001 en Barrio Norte, luego de las remociones en masa ocurridas en el año 2000, el Servicio de Vivienda y Urbanismo (SERVIU), dejó sin efecto el contrato con la constructora a cargo de las viviendas sociales del Barrio Modelo, que no consideró los informes sobre la mala calidad del suelo (EL SUR, 2001), lo que significó para el SERVIU un gasto posterior de 3.200 millones de pesos en obras de contención de taludes (EL SUR, 2002).

La Ordenanza General de Urbanismo y Construcción (OGUC D°47.16 de abril de 1992) del Ministerio de Vivienda y Urbanismo (MINVU), que regula el proceso de planificación urbana (Artículo 1.1.1.) en el Artículo 2.1.17 señala que:

Por “áreas de riesgo”, se entenderán aquellos territorios en los cuales, previo estudio fundado, se limite determinado tipo de construcciones por razones de seguridad contra desastres naturales u otros semejantes, que requieran para su utilización la incorporación de obras de ingeniería o de otra índole suficientes para subsanar o mitigar tales efectos.

Sin establecer distinciones entre susceptibilidad, peligro, exposición, vulnerabilidad y riesgo, de manera que la zonificación en los Planes Reguladores Comunes, se basan comúnmente en la susceptibilidad y no en estudios de riesgo, lo que acusa un retraso conceptual en los instrumentos que regulan la planificación territorial en relación a los enfoques que se desarrollan en los estudios de desastres. De acuerdo con Lario & Bardaji (2016) una evaluación del riesgo:

Implica el desarrollo de una metodología para determinar la naturaleza y el grado de riesgo a través del análisis de posibles amenazas (peligrosidad) y la evaluación de las condiciones existentes de vulnerabilidad que conjuntamente podrían dañar potencialmente a la población, la propiedad, los servicios y los medios de sustento expuestos, al igual que el entorno del cual dependen. (p.15)

En agosto de 2021 el Consejo Regional aprobó la modificación del Plan Regulador del Área Metropolitana de Concepción (Diario Concepción, 2021), el cual



incorpora las áreas de extensión urbana definidas en el PRMC del 2003 que aún no se integran dentro de los límites urbanos, los que ascienden a 22,6 km<sup>2</sup> (Secretaría Regional Ministerial de Vivienda y Urbanismo Región del Biobío, 2017). Por lo que se hace necesario disponer de herramientas que permitan evaluar adecuadamente el riesgo de PRM y sirvan a la zonificación de las áreas que se incluirán dentro de los límites urbanos de los municipios en el futuro.

Actualmente, no obstante, los avances en los Sistemas de Información Geográfica (SIG) e Infraestructura de Datos Espaciales (IDE), no existe un mapa de inventarios de remoción en masa que proporcione la información necesaria para la determinación de la susceptibilidad, a través de un enfoque indirecto. El Catastro de Remociones en Masa publicado por el Servicio Nacional de Geología y Minería (SERNAGEOMIN) contiene información útil como antecedente, sin embargo, la mayoría de los eventos catastrados en el área corresponden a PRM desencadenados por el terremoto del 27 de febrero de 2010 y el evento más antiguo registrado data de 1999 (Servicio Nacional de Geología y Minería, 2022). En el AMC, mediante revisión de prensa se han documentado eventos de remoción en masa en los periodos de 1885-1920 (Essmann, 1997) y 1960-1990 (Alarcón, 1995), por lo que no existe un registro desde 1990 hasta la actualidad.

Los inventarios de PRM permiten localizar un tipo de remoción en masa; identificar la intensidad del evento que lo activa; mostrar la frecuencia con que ocurren; proporcionar información relevante para distinguir zonas susceptibles a fenómenos de remoción en masa (Galli et al., 2008), y optimizar la toma de decisiones para la planificación de los usos de suelo, obras de ingeniería y programas de protección civil que buscan mitigar las pérdidas humanas y materiales (Hervás & Bobrowsky, 2009). Esto es relevante ya que los tipos de remociones en masa presentan distintas magnitudes y daños potenciales, requiriendo diferentes respuestas técnicas para su mitigación (Zêzere, 2002). Por otra parte, los inventarios de PRM son útiles para validar la precisión de modelos de análisis estadísticos en mapas de susceptibilidad y peligrosidad de PRM (Hervás & Bobrowsky, 2009), permitiendo la comparación de diferentes métodos. Existe una

amplia discusión acerca de las ventajas del análisis estadístico bivariado frente al multivariado y al enfoque cualitativo directo, así como sus desventajas y propuestas de estrategias para resolver sus limitaciones (Thiery, Malet, Sterlacchini, Puissant, & Maquaire, 2007; Magliulo, Di Lisio, Russo, & Zelano, 2008; Hervás & Bobrowsky, 2009). Por ejemplo, en el caso de sus ventajas destaca por la facilidad para aplicar y actualizar mapas de susceptibilidad (Magliulo et al., 2008); en sus desventajas, se señala la independencia condicional entre las variables predictivas, lo cual puede sesgar los resultados del mapa sobreestimando o subestimando la probabilidad de remoción en masa (Thiery et al., 2007), para aquello las estrategias que se utilizan son: validar los resultados con el inventario de PRM (Kumar et al., 2019; Duo et al., 2017; Wubalem, 2021), el juicio de expertos (Thiery et al., 2007) y, el contraste con mapas geomorfológicos para evaluar la coherencia de los resultados (Magliulo et al., 2008).

El mapa geomorfológico proporciona información abundante del medio ambiente, definiendo la naturaleza y ubicación de los procesos morfogenéticos (Tricart, 1979). El inventario de RM permitiría profundizar en los procesos morfogenéticos que tienen lugar en el área de estudio y que año tras año causan inconvenientes, mediante la discriminación de tipologías de remociones en masa, el cálculo de susceptibilidad y su correlación con las unidades geomorfológicas mapeadas.

### 3 PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN

1. ¿Servirán los inventarios multitemporales basados en la prensa local como una herramienta para la actualización de los mapas de susceptibilidad ante Remociones en Masa?

2. ¿Existen tipos de Remoción en Masa que muestren una correspondencia clara con unidades geomorfológicas?

3. ¿Hay correlación entre la densidad de Procesos de Remoción en Masa en las unidades geomorfológicas y el nivel de susceptibilidad?



## 4 HIPÓTESIS

H1. Un inventario de PRM actualizado permitirá un reconocimiento de nuevas zonas susceptibles a PRM.

H2. Las unidades geomorfológicas antropogénicas son las más susceptibles a la ocurrencia de PRM.



## 5 OBJETIVOS

### 5.1 Objetivo general

Determinar la existencia de patrones entre tipos de procesos de remoción en masa (PRM) y unidades geomorfológicas, así como su abundancia y susceptibilidad en éstas. Con el fin de proporcionar un instrumento que fortalezca la planificación territorial en el ámbito de la gestión del riesgo de PRM en el área de estudio.

### 5.2 Objetivos específicos

1. Inventariar procesos de remoción en masa de acuerdo a revisión de prensa local, en los últimos 30 años (1990-2020).
2. Actualizar la cartografía geomorfológica del área de estudio a escala urbana 1:10.000.
3. Evaluar la susceptibilidad de remociones en masa a partir de un enfoque estadístico bivariado.
4. Comparar y validar el modelo de susceptibilidad con el inventario y la geomorfología, determinando el AUC de la Curva ROC de la Tasa de Predicción y la Tasa de Exactitud, y estableciendo relaciones estadísticas entre la geomorfología, la susceptibilidad y los tipos de remoción en masa.

## 6 METODOLOGÍA

### 6.1 Enfoque metodológico

Se trabajó a partir de un enfoque geomorfológico aplicado al riesgo y un enfoque estadístico bivariado (enfoque indirecto o cuantitativo) (Hervás & Bobrowsky, 2009) mediante el uso de SIG (Sistemas de Información Geográfica) para la zonificación de la susceptibilidad.

El enfoque indirecto se basa en la correlación cuantitativa entre factores geoambientales que pueden influir en la estabilidad de una ladera y la distribución de remociones en masa (RM) pasadas y actuales de acuerdo al Mapa de Inventario (Hervás & Bobrowsky, 2009), evaluando la densidad de RM ocurridas en una unidad de terreno correspondiente a una porción de la ladera (Thiery et al., 2007). Su objetivo consiste en la predicción de la distribución de RM, bajo el supuesto de que los factores que determinan la ocurrencia de futuras RM son iguales a los observados en el pasado (Thiery et al., 2007). Si bien, los métodos estadísticos bivariados, se consideran flexibles y robustos, su uso implica asumir que las variables predictivas (factores condicionantes) utilizadas son estadísticamente independientes (Thiery et al., 2007), es decir, el peso asociado a cada factor temático se calcula de forma independiente y se combina en una ecuación única para determinar el grado de susceptibilidad (Thiery et al., 2007), de manera que la probabilidad de ocurrencia de una RM puede estar sesgada, subvalorada o sobrevalorada. En cambio, en el enfoque directo, el peso de cada factor es ponderado por un experto, sin embargo, es considerado altamente subjetivo, ya que depende de la experiencia de este último y por tanto los resultados obtenidos son difícilmente comparables (Hervás & Bobrowsky, 2009).

Esta independencia condicional entre variables predictivas (factores condicionantes) (Thiery et al., 2007) es opuesta a la noción geomorfológica, donde un “sistema morfogenético está constituido por un conjunto de procesos interdependientes que construyen el modelado” (Tricart & Kilian, 1982, p.52), siendo

unos dominantes y otros subordinados en función de la litología, la vegetación, el clima, la acción antrópica y de los demás seres vivos (Aguilera Arilla et al., 1997), como señalan Aguilera Arilla et al. (1997) “El desgaste de los continentes se hace bajo la acción combinada de varios agentes, no por la acción aislada de uno sólo. (...) un sistema morfogenético no es sólo la suma de varios procesos elementales (...)” (p.693). De ahí el interés por incluir un enfoque geomorfológico, ya que permite comparar los resultados del método bivariado con el grado de estabilidad morfodinámica que se puede inferir del mapa geomorfológico y evaluar su coherencia (Magliulo et al., 2008).

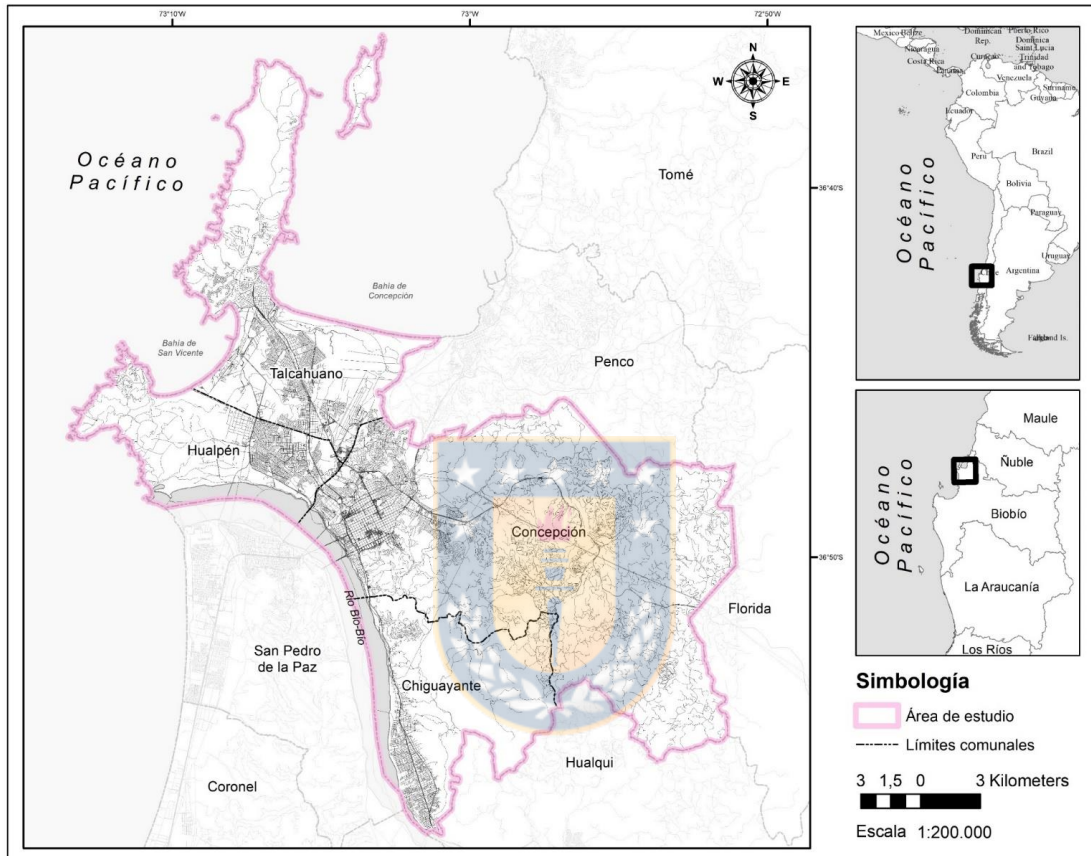
## **6.2 Área de estudio**

### **6.2.1 Localización y antecedentes generales del área de estudio**

El área de estudio se localiza entre los 36° 60' y los 36° 96' de Latitud Sur y entre los 72° 84' y los 73° 22' de Longitud Oeste, extremo oriental del Anillo de Fuego del Pacífico y zona climática de latitudes medias (subtropical) (Figura 1). Se trata de un área costera cuyo relieve presenta estructuras falladas paralelas a la costa, asociadas a la subducción de la corteza oceánica (Placa de Nazca) por debajo de la corteza continental (Placa Sudamericana). Se compone principalmente por un valle tectónico tapizado por depósitos fluvio-marinos dentro del cual resaltan cerros de materiales sedimentarios de origen marino y continental, encuadrado al este por los cordones graníticos que conforman la cordillera de la costa del cual surge el río Andalién; al oeste por los horst de roca metamórfica y roca intrusiva que conforman las penínsulas de Tumbes y Hualpén, respectivamente, separados por la Bahía de San Vicente; al norte el marisma de Rocuant – Andalién, la Bahía de Concepción y la Isla Quiriquina, y, al sur, el ancho caudal de la desembocadura del Río Bío-Bío donde forma un delta estuarial (ARAYA-VERGARA, 1981; Venegas, Soto, & ARAYA-VERGARA, 2015). Este sitio es además el asiento de los municipios de Concepción, Talcahuano, Hualpén y Chiguayante, donde habita, de acuerdo al

censo del 2017, el 58 % de la población total del Área Metropolitana de Concepción, una de las áreas urbanas más importantes de Chile.

**Figura 1**  
**Área de Estudio.**



Fuente: Elaboración propia en base a la División Político Administrativa de la Subsecretaría de Desarrollo Regional y Administrativo [SUBDERE], 2020.

## 6.2.2 Antecedentes climáticos

El área de estudio se localiza en la zona central del país en el dominio del clima templado que se extiende desde los 32°30'S hasta los 39°32'S (Sorricolea, Meseguer-Ruiz, & Herrera-Ossandon, 2017). En el Mapa de climas de Chile, basado en la clasificación climática de Köppen-Geiger (Sorricolea et al., 2017), es denominado Clima mediterráneo de lluvia invernal e influencia costera (Csb (i)). Los



patrones regionales de circulación de masas de aire son controlados por la posición y desplazamiento del Anticiclón del Pacífico Sur, caracterizado por ciclos estacionales, interanuales e interdecadales (Oscilación decadal del Pacífico) (Ancapichún, 2012); la posición del centro de bajas presiones del Pacífico Sur, y el sistema de vientos del oeste, los que en conjunto influyen en la régimen pluviométrico (Luebert & Pliscoff, 2004), así, la intensidad de las precipitaciones presentan una fuerte variación interanual (Mardones, Echeverría, & Jara, 2004), características pluviométricas identificadas como “el principal detonante de inundaciones, anegamientos y procesos de remoción en masa” (Mardones et al., 2004, p.5). Con base en los datos de la estación meteorológica Carriel Sur ubicada en Talcahuano (Tabla 2) (Dirección Meteorológica de Chile, 2022), el área de estudio en ese sector presenta una temperatura media anual de 12,9 °C y un promedio de precipitaciones de 979,5 mm por año, correspondiendo a un clima húmedo de acuerdo al índice de Lang (Aguilera Arilla et al., 1997), concentrando el 70 % de la precipitación anual entre los meses de mayo y agosto. De acuerdo a otros estudios, la precipitación anual, en el área de estudio, varía de 850 mm en Hualpén a 1.300 mm en Concepción (Devyneck, 1970, como se citó en Mardones et al., 2004), incrementado de oeste a este, de manera que en la cuenca del río Andalién se ha observado precipitaciones de 1.200 mm en la llanura aluvial y 1.400 mm en los cordones graníticos de la Cordillera costera (Jaque, 2008), debido a la influencia de la topografía.

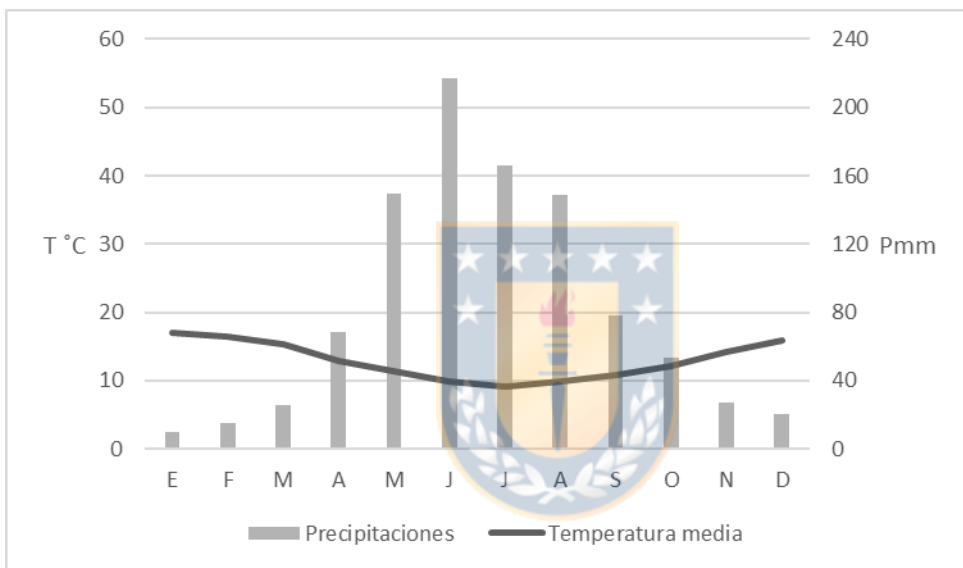
Por último, en base a la relación de Gausson (Aguilera Arilla et al., 1997) (Figura 2) y los datos de la estación meteorológica antes citada, el área de estudio presenta un periodo seco de 5 meses que comienza en noviembre y termina en marzo, por tanto, la estación húmeda abarca de abril a octubre.

**Tabla 2**  
**Promedio de Temperatura y Precipitaciones 1990-2020.**

	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
<b>T. °C</b>	16,97	16,45	15,31	12,94	11,32	9,9	9,16	9,83	10,79	12,2	14,11	15,81
<b>Pmm</b>	9,75	15,11	25,61	68,18	149,84	217,44	165,87	148,41	78,48	53,12	27,15	20,54

Fuente: Elaboración propia en base a datos de la Estación Carriel Sur.

**Figura 2**  
**Climograma del Área de Estudio**



Fuente: Elaboración propia en base a datos entre 1990-2020 de la Estación Carriel Sur. La relación entre los ejes de las ordenadas corresponde a la relación de Gausson adaptada por "necesidades de representación" como se señala en Aguilera Arilla et al. (1997, p.290) ( $Pm=4t$ ).

### 6.2.3 Topografía

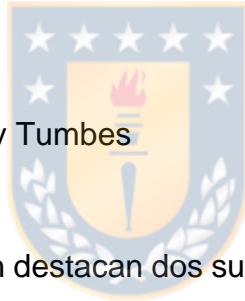
La topografía del área de estudio se caracteriza por la existencia de dos unidades morfológicamente altas separadas por una llanura fluvio-marina en la que resaltan una serie de cerros islas que no superan los 80 msnm con suaves desniveles entre sí que apenas superan los 20 metros. Al sur este, la cordillera costera, cuyos cerros presentan niveles entre 100 y 500 msnm, los que descienden en dirección noroeste.

Los Horst que conforman el límite noroeste del área de estudio, las penínsulas de Hualpén y Tumbes, con niveles entre 50 y 250 metros. Al norte de estas unidades, separada por el mar, la Isla Quiriquina presenta terrazas marinas con niveles por debajo de los 150 metros (Figura 3).

- La Cordillera Costera

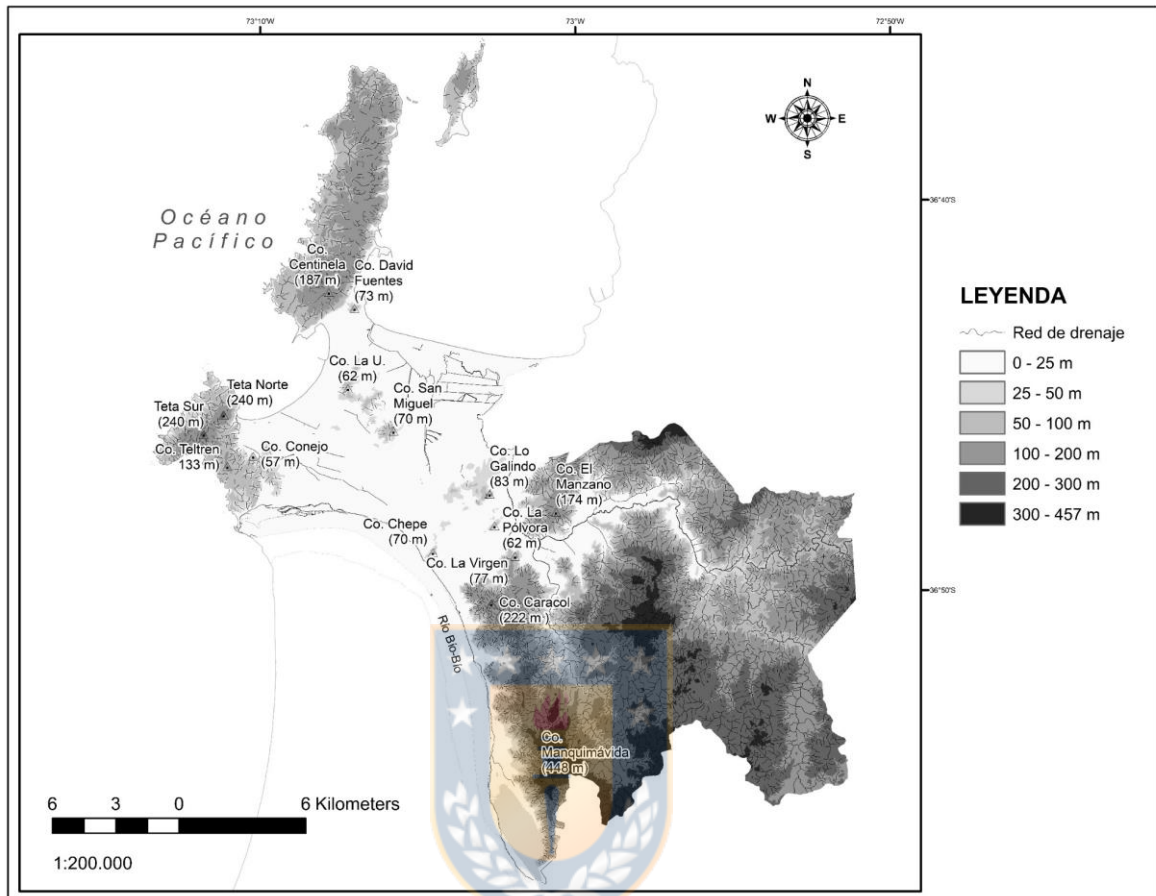
Presenta un relieve montañoso disectado por una densa red de drenaje de tipo dendrítico con diversos grados de pendiente. Al sur, en la comuna de Chiguayante, el cerro Manquimávida, tiene una altura superior a los 440 msnm con laderas convexas que superan los 30° (Peña, 1995); en dirección al norte, en la comuna de Concepción, destacan el Cerro Caracol con una altura de 220 msnm.

- Los Horst de Hualpén y Tumbes



En la península de Hualpén destacan dos superficies de forma cónica, los cerros Teta Sur y Teta Norte con altitudes de 240 msnm. La red de drenaje presenta un aspecto irregular y las pendientes son más abruptas en las vertientes orientadas hacia el este y el sur. El Horst de Tumbes, presenta una forma casi rectangular con 12 km de largo y 4 de ancho, “un relieve disimétrico y amesetado” (Mardones & Brito, 1979, p.8), su largo se dispone en sentido SW y NE sin grandes desniveles; las superficies de nivel superior que no superan los 200 msnm se ubican al este “casi al borde del escarpe” (Mardones & Brito, 1979, p.8). Al oeste, la meseta escasamente pasa los 100 m. En general, presenta pendientes cóncavo-convexas, “con valores entre 11° y 39° en las laderas de valle y entre 31° y más de 40° en los acantilados” (Mardones, Rodríguez, & Soto, 1994, p.563). La red de drenaje tiene un patrón rectangular.

**Figura 3**  
**Mapa Topográfico.**



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

- Cerros Islas

En los cerros islas se diferencian dos conjuntos, unos ubicados en la comuna de Concepción y los otros en la comuna de Talcahuano. Los primeros, próximos a la cordillera costera, encuadran el centro de la ciudad de Concepción (Mardones & Brito, 1979), destacando entre los 50 y 80 msnm los Cerros Chepe, La Pólvora y Lo Galindo. En la comuna de Talcahuano dispuesto de manera diagonal, en sentido SE-NW, destacan los cerros San Miguel y La U., al igual que los cerros de Concepción, con niveles entre 50 y 70 msnm.

## 6.2.4 Marco estructural

### 6.2.4.1 Litología

Las rocas predominantes en el área de estudio corresponden al Complejo Intrusivo Concepción que pertenece al Batolito Costero del Sur (Hervé et al., 1987) y al Complejo Metamórfico (Figura 4), abarcando un 52 % y 11 % de la superficie, respectivamente. Ambos basamentos de edades paleozoicas son explicados por procesos asociados a la subducción de la placa oceánica bajo placa continental (Hervé, 1988).

En efecto, el área de estudio presenta un relieve estructural fallado que se manifiesta en accidentes tectónicos importantes que conforman rasgos singulares del paisaje:

- Los horst, cerros islas (Cerro la Pólvora y lo Galindo, por ejemplo) y cordillera costera se disponen en la dirección de las fallas normales SE-NW.

- Periodos de subsidencia, transgresión, solevantamientos y erosión, de la fosa tectónica en sincronía con el solevantamiento andino (Mardones & Brito, 1979) permitieron la sedimentación de los materiales de origen marino y continental que conforman los cerros islas que sobresalen en la llanura, como los de la Formación Quiriquina (Cretácico superior).

- Cordillera Costera

Se constituye de manera predominante de rocas intrusivas de Edad Paleozoica de granito y tonalita, las que conforman el Complejo intrusivo Concepción. Al sur del cerro Manquimávida, aflora la Serie Oriental del complejo metamórfico, cuyos materiales corresponden a filitas y pizarras con porfidoblastos de andalucita (Quinzio et al., 2010).

- Los Horst de Tumbes y Hualpén

El Horst de Tumbes está conformado por la Serie Occidental del complejo metamórfico, que se constituye de Metabasitas, micaesquistos y filitas, mientras que el Horst de Hualpén, principalmente, de roca intrusiva Edad Mesozoica; monzogranito de biotita y turmalina (Monzogranito de Hualpén) (Quinzio et al., 2010). Al sur este del cerro Teta sur, nuevamente aflora la roca metamórfica de la Serie Occidental, material base de los cerros Teltren y Conejo (130 y 57 msnm, respectivamente) al cual se adosan materiales sedimentarios del Cretácico Superior y el Paleógeno, correspondiente a la Formación Quiriquina; areniscas de grano fino y medio y conglomerados con abundantes fósiles (Quinzio et al., 2010), para conformar la Meseta de Hualpén.

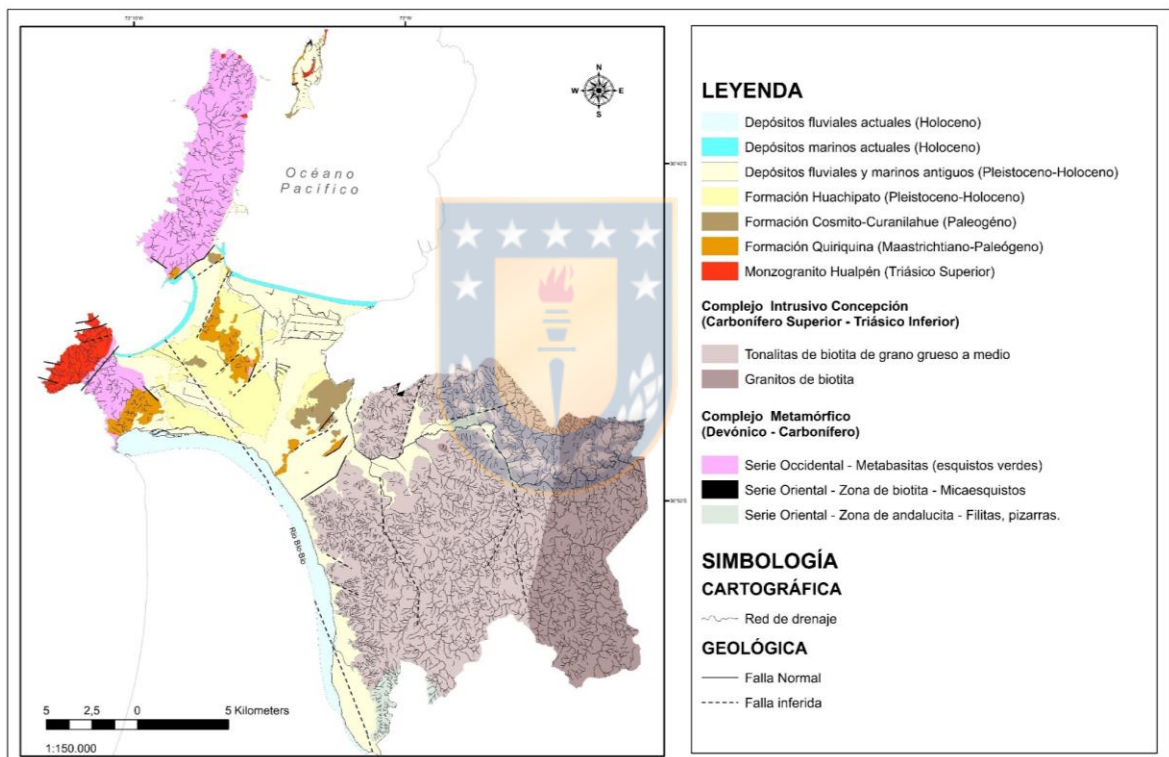
- Cerros Islas

Los materiales del cerro Chepe, La Pólvara, Lo Galindo, San Miguel y La U corresponden principalmente a la Formación Quiriquina. Tanto en el Cerro la Pólvara como Lo Galindo aflora en su vertiente oriental roca granítica del Complejo intrusivo Concepción, sobre la cual la roca sedimentaria sobreyace en discordancia (Mardones & Brito, 1979). El cerro Lo Galindo se adosa a una unidad mayor que como otros cerros islas presentan materiales sedimentarios de la Formación Cosmito-Curanilahue (Edad Cenozoica) que corresponden a arenisca, lutitas con mantos de carbón y fósiles vegetales (Quinzio et al., 2010), como por ejemplo en Talcahuano el Cerro David Fuentes (70 msnm) que en su vertiente NE presenta materiales de la Formación Quiriquina.

- Isla de Quiriquina

En el centro de la isla, en la cara de un acantilado marino inactivo de 100 msnm, en cuyos pies se ubica el lago “Los Patos”, aflora el Monzogranito de Hualpén, mientras que en los acantilados marinos activos presenta materiales sedimentarios correspondientes a la Formación Quiriquina y Cosmito-Curanilahue.

**Figura 4**  
**Mapa Geológico.**



Fuente: Elaboración propia, modificado de Quinzio, Bonilla, Gonzáles, & Gonzáles (2010).

## **6.2.5 Contexto Morfogenético**

### **6.2.5.1 Rasgos Zonales**

El área presenta rasgos del dominio morfoclimático tibio asociado al clima mediterráneo, de verano seco. De manera que algunos cursos de agua presentan régimen torrencial, como en las vertientes de Chiguayante (Peña F., 1995). Igualmente, la vegetación que se desarrolla de forma espontánea en el área, los pisos vegetacionales, el bosque caducifolio mediterráneo costero en los cordones graníticos y el bosque esclerófilo mediterráneo costero en los niveles inferiores (Luebert & Pliscoff, 2017), reflejan esta condición. Como señalan Aguilera Arilla et al. (1997) en este dominio la cubierta vegetal, adaptada a una estación seca, es menor que en el dominio marítimo, por lo que los procesos erosivos son más importantes.

En los climas húmedo y templados predomina la acción físico-química y bioquímicas (Aguilera Arilla., 1997, p.735-736), en ese sentido la hidrólisis actúa de manera efectiva en los materiales que afloran en el área, sobre todo en la descomposición del granito, produciendo potentes mantos de alteración de varios metros de profundidad (Mardones & Brito, 1979; Peña, 1995; Jaque, 2008) que corresponde arcillas arenosas. La hidratación de estas aumenta su volumen y peso, desestabilizando laderas en equilibrio y contribuyendo al transporte de los materiales por la acción de la gravedad (Mardones & Brito, 1979).

### **6.2.5.2 Rasgos Azonales**

El escarpe de falla de Concepción, desnivel entre los cordones graníticos de la cordillera de la costa y la fosa tectónica, es disectado principalmente por tres valles; el valle del Río Andalién, el valle del estero Nonguén (curso tributario a río Andalién), y el Valle del Biobío. La densa red hidrográfica del Andalién modela cordones y



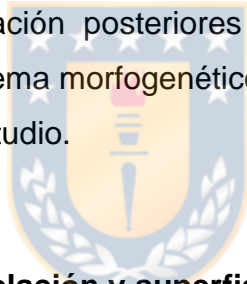
plataformas en la cordillera del batolito costero (Jaque, 2008), mientras que, en Chiguayante, en el valle del Río Biobío, las vertientes son modeladas principalmente por una red hidrográfica irregular y cursos estacionales del periodo invernal (Peña, 1995). En la costa, la erosión marina ataca la base de los acantilados de las penínsulas, y los hace retroceder, sembrando roqueríos (Mardones & Brito, 1979).

Por último, este medio litoral, se puede clasificar como una costa de acumulación (Aguilera Arilla et al., 1997, p.726), debido al predominio de sedimentos de origen fluviomarino; el marisma en la bahía de Concepción y San Vicente; los cordones litorales y campos de dunas que los separan del océano; los humedales palustres que salpican la llanura litoral; el tómbolo de la desembocadura del río Biobío, y los depósitos de arenas negras volcánicas (pleistoceno-holoceno) que rellenan el graben en Concepción (Mardones & Rojas, 2012) y conforman terrazas fluviales que develan el proceso de avulsión del Río Biobío.

#### **6.2.5.2.1 La Acción Antrópica**

Las zonas costeras tienen un amplio valor económico y estratégico, en el desarrollan puertos, industrias y ciudades (Aguilera Arilla et al., 1997). La ocupación de un medio implica su ordenamiento y este como señalan Tricart & Kilian (1982) “consiste en sustituir por otra una dinámica existente” (p.38). Desde la ocupación española en el S. XVI se han sucedido dinámicas que han ido progresivamente alterando la estabilidad entre el clima y la vegetación (reexistasia), específicamente, la tala y el roce de fuego indiscriminado del bosque para combustible, la construcción, la agricultura, la ganadería (Cabañas, Benavides, & Pizarro , 2013); en el S.XIX, luego de la independencia y la consolidación del Estado moderno y con ello la incorporación de Chile al comercio internacional, la explotación de los bosques se intensificó, la apertura de nuevos mercado como el trigo y luego en el S. XX el cultivo de cereales propició el despeje de extensas zonas de bosque nativo y un mal manejo del suelo que implicó su degradación y pérdida (Cabañas et al., 2013). Cerca del final de la primera mitad del S. XX, con la Ley de Bosques de 1931,

se promovió, además de la protección de suelos, un interés económico en las plantaciones forestales (Cabañas et al., 2013). A fines del S.XX 1974 con el DFL N°701, los incentivos a la actividad forestal, significaron un mayor desarrollo de la industria y el reemplazo de bosque nativo por especies exóticas (Aguayo, Pauchard, Azócar, & Parra, 2009). Posteriormente, se ha demostrado que las plantaciones forestales no han detenido el proceso erosivo que las prácticas agrícolas anteriores originaron (Iroume, Gayoso, & Hernandez, 1994) y ha dado lugar a nuevas cárcavas a partir de “taludes de corte inestables y sistemas deficientes de drenajes en caminos forestales” (Iroume et al., 1994, p.65). Así, las actividades productivas y las limitaciones que impone el medio bioclimático que se reflejan, por ejemplo, en el desarrollo de cárcavas en los cordones graníticos, como se ha estudiado en la cuenca del Andalién (Jaque, 2008), así como la desestabilización de taludes por la construcción de viviendas en cerros que han provocado numerosas remociones en masa o las obras de mitigación posteriores que han logrado subsanar estos problemas, son parte del sistema morfogenético que modela el relieve y determina su evolución en el área de estudio.



### **6.2.6 Crecimiento de la población y superficie urbana (1990-2020)**

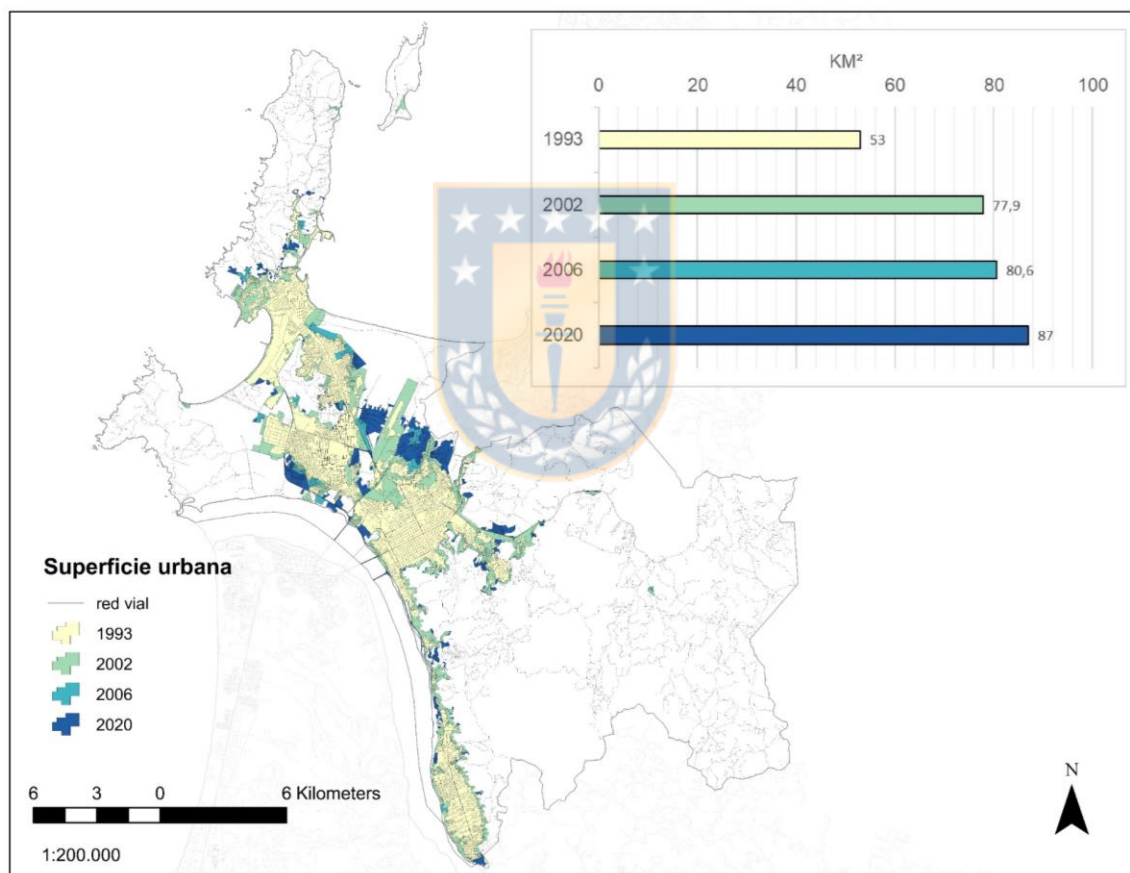
De acuerdo con la información proporcionada por el Instituto Nacional de Estadísticas (INE, 2022), la población total en 1992 era de 511.753 personas, en el 2002, esta alcanzó las 547.711 personas, aumentando en 10 años en 35.958 personas; una tasa de crecimiento de la población total anual de 0,68 %. En el 2017 la población total aumentó a 553.034 personas, es decir 5.323 personas en 15 años; una tasa de crecimiento anual de 0,06 %. Un claro descenso en el crecimiento de la población.

En 1993 la superficie urbana era de 53 km<sup>2</sup>; esta aumentó en el 2002 a 79,7 km<sup>2</sup>, lo que equivale a un incremento de 29,4 km<sup>2</sup> en 9 años. En el 2006 la superficie urbana aumentó a 80,6 km<sup>2</sup>, incorporándose 2,7 km<sup>2</sup> adicionales en 4 años. Y, por último, en el 2020 la superficie aumentó a 87 km<sup>2</sup>; 6,4 km<sup>2</sup> más en 14 años. Si se

compara el periodo 1993-2002 y 2002-2020, resulta que los 18 años equivalen a las 3/10 partes del crecimiento de la superficie urbana que el área de estudio experimentó en el periodo 1993-2002 de 9 años (Figura 5).

De los análisis anteriores se observa un paralelismo: Tanto la tasa de crecimiento de la población como la superficie de suelo urbanizado ha disminuido a partir del año 2002.

**Figura 5**  
**Superficie Urbana 1993-2020.**



Fuente: Elaboración propia en base a datos del MINVU (2022).

### 6.2.7 Usos del suelo

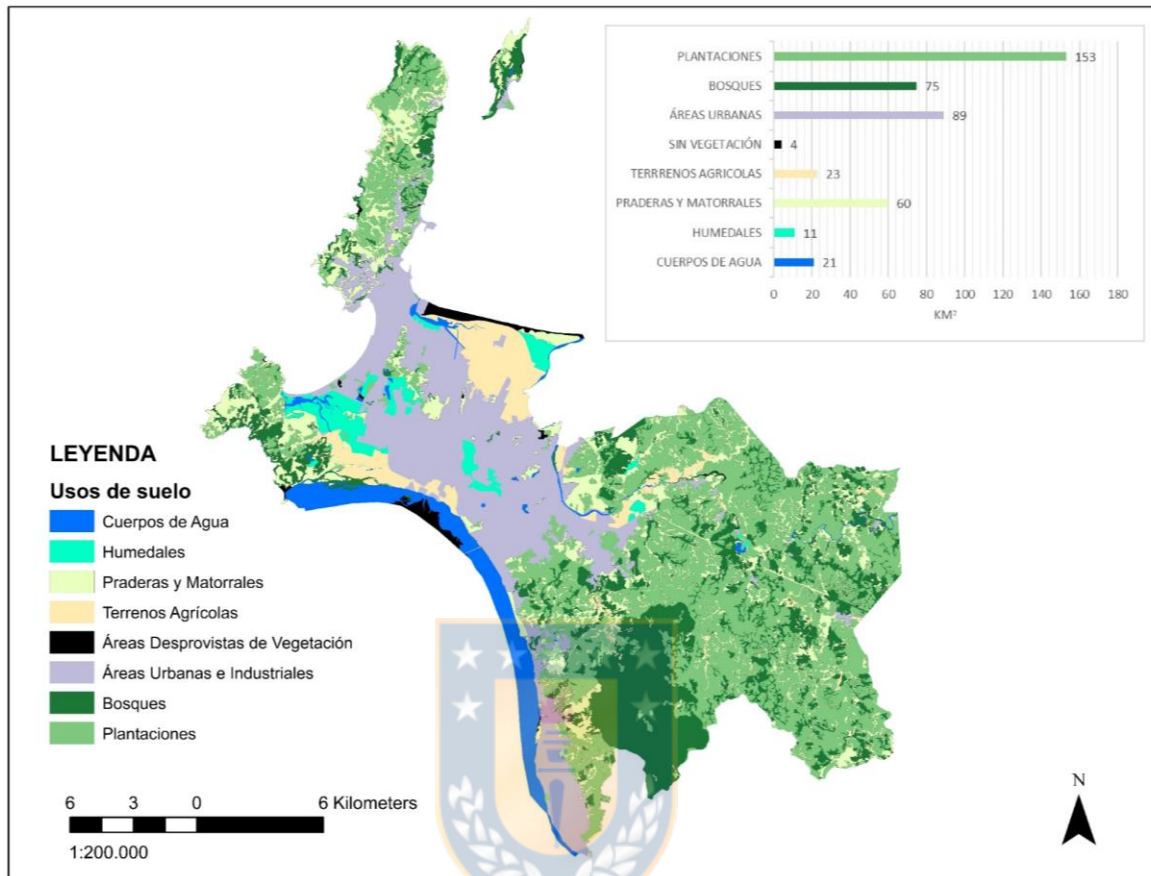
La distribución de usos de suelos en orden descendente de acuerdo a los datos de la Corporación Nacional Forestal (CONAF, 2015) es la siguiente:

35 % plantaciones forestales (153 km<sup>2</sup>); 20 % áreas urbanas e industriales (89 km<sup>2</sup>); 17 % bosques (75 km<sup>2</sup>); 14 % praderas y matorrales (60 km<sup>2</sup>); 5 % terrenos agrícolas (23 km<sup>2</sup>); 5 % cuerpos de agua (21 km<sup>2</sup>); 3 % humedales (11 km<sup>2</sup>), y 1 % zonas sin vegetación (4 km<sup>2</sup>). (Figura 6).

El área donde se desarrolla el bosque nativo corresponde principalmente a la Reserva Nacional Nonguén, la que abarca 30 km<sup>2</sup> (CONAF, 2022), en la cordillera de la costa entre el Valle Nonguén y el Cerro Manquimávida aproximadamente al nivel de los 150-250 metros, piso vegetacional de la formación del bosque caducifolio donde las especies *Nothofagus obliqua* y *Gomortega keule* son características (Luebert & Pliscoff, 2017).



**Figura 6**  
**Usos de Suelo y su Distribución.**



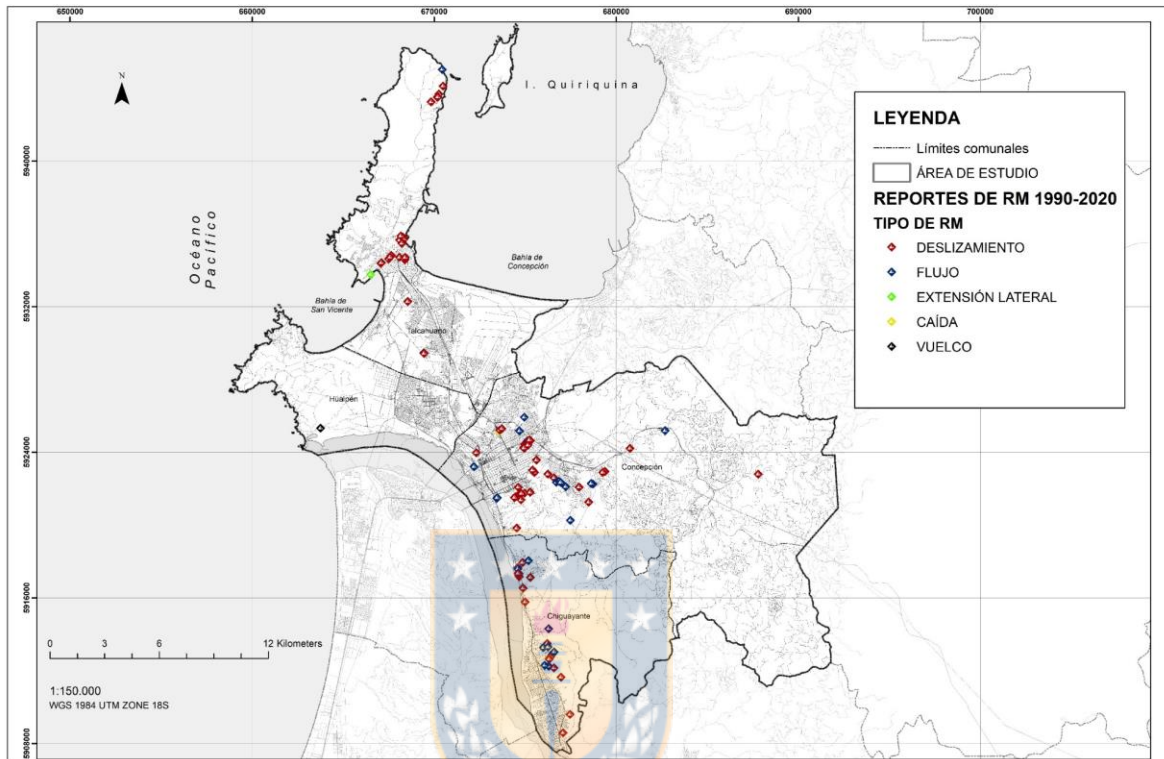
Fuente: Elaboración propia en base a datos del CONAF (2015).

## 6.3 Métodos y técnicas

### 6.3.1 Mapa de inventario de remociones en masa

Para determinar la ocurrencia de remociones en masa en el área de estudio entre los años de 1990 y 2020 se revisó el Diario El Sur desde el 1 de enero de 1990 hasta el 31 de diciembre de 2019 (30 años), se anotaron los reportes de RM ocurridas en una ficha (Anexo 1 A) y se construyó un mapa de Inventario de RM, exclusivamente basado en prensa (Anexo 2 A), registrando solo los reportes de RM cuya ubicación relativa se pudo representar en el mapa (Figura 7).

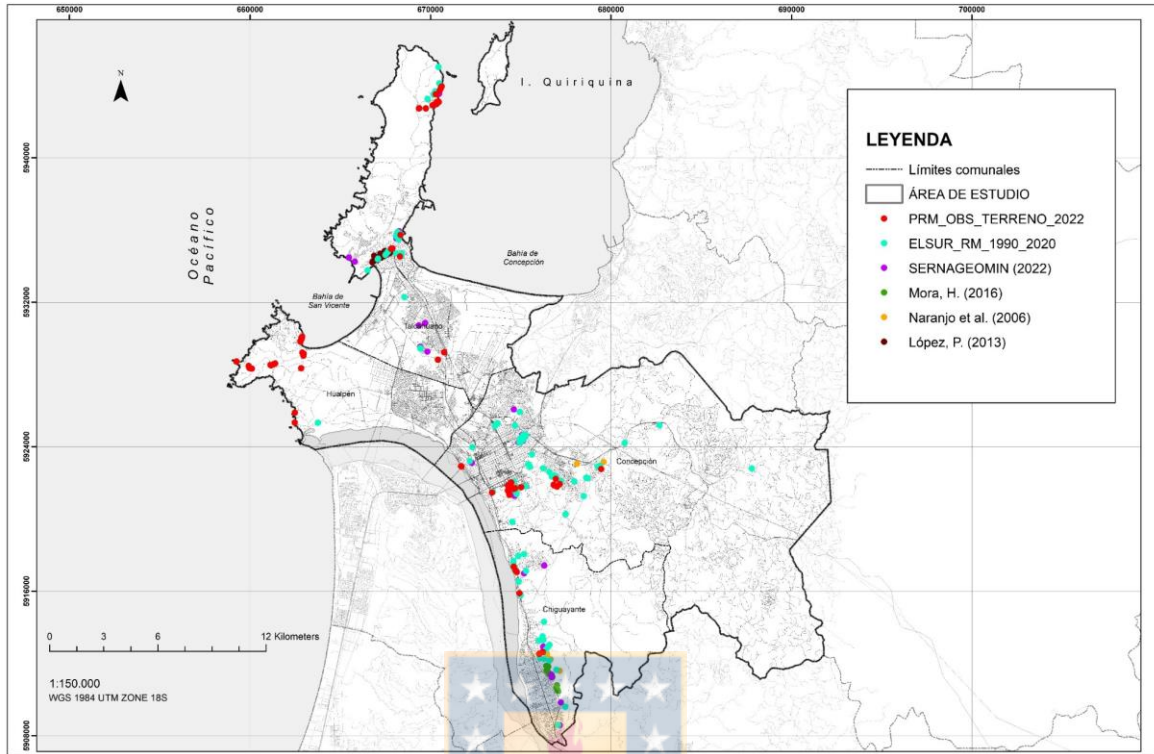
**Figura 7**  
**Inventario de Reportes de RM 1990-2020.**



Fuente: Elaboración Propia en base al Diario el Sur.

Posteriormente, se complementó la información con trabajo de campo y revisión de otras fuentes para 1. rellenar una ficha de inventario de remociones en masa con PRM observadas en terreno (Anexo 1 B) y 2. construir un mapa de Inventario de RM en SIG con toda la información que se recabó, generando un total de 285 puntos de los cuales 26 corresponden al catastro del Servicio Nacional de Geología y Minería (SERNAGEOMIN, 2022); 10 se obtuvieron en Naranjo, Arenas, & Ramírez (2006); 31 en López (2013); 17 en Mora (2016), 93 se obtuvieron en terreno (Anexo 2 B), y 108 del diario El Sur (Figura 8).

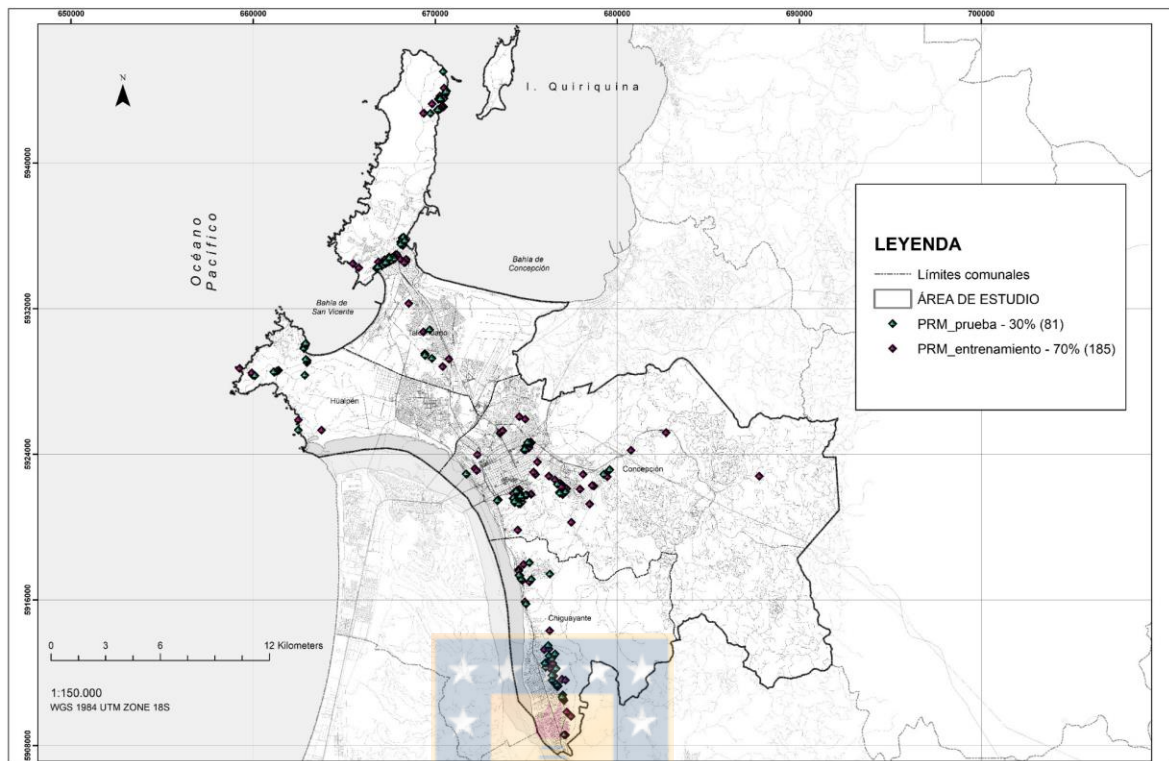
**Figura 8**  
**Mapa de Inventario de PRM.**



Fuente: Elaboración propia.

De los 285 PRM que constituyen el inventario se utilizaron 266 datos para la aplicación del método estadístico, excluyendo 19 puntos: los PRM cuya localización coincidió con depósitos fluviales, es imprecisa y no fue posible validar; la extensión lateral en el Puerto de San Vicente, el 23 de enero de 1993, por ser un PRM atípico en el área de estudio; también fueron excluidos reportes con la misma localización, considerando uno solo de ellos, por ejemplo, en Pedro de Valdivia, flujos el 20 de junio y el 5 de julio de 1997, y el 7 de agosto de 2022, y en el cerro La Pólvara, los deslizamientos traslacionales de 2005 y 2006, reactivados en el terremoto de 2010 (SERNAGEOMIN, 2010). Los 266 datos se dividieron aleatoriamente en 185 puntos para entrenamiento (70%) y 81 puntos para prueba (30%) (Figura 9). La proporción 70-30% se utiliza ampliamente y se considera suficiente para validar el modelo (Wang et al., 2016; Chen et al., 2017; Silalahi et al., 2019; Acharya & Lee, 2018; Thongley & Vansarochana, 2021; Sheng et al., 2022).

**Figura 9**  
**Mapa de Inventario de PRM para el Método Estadístico Bivariado.**



Fuente: Elaboración propia.

### 6.3.2 Zonificación de susceptibilidad

Para realizar el Mapa de susceptibilidad se aplicó el modelo estadístico bivariado Frequency Ratio (FR) en SIG. El FR se define como la razón del área donde ocurrieron remociones en masa en la totalidad del área de estudio (Acharya & Lee, 2018). El FR puede reflejar la relación de respuesta entre remociones en masa y factores ambientales básicos, y caracterizar el grado relativo de influencia de cada atributo de los factores ambientales en la ocurrencia de RM (Sheng et al., 2022). 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; Wubalem, 2021).

De acuerdo a Acharya & Lee (2018) su fórmula es la siguiente:

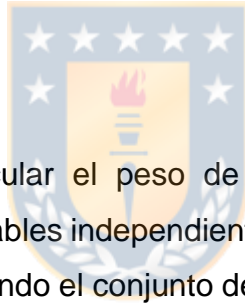


$$FR = \frac{\frac{N_{pix}(LX_i)}{\sum_{i=1}^m N_{pix}(LX_i)}}{\frac{N_{pix}(X_j)}{\sum_{j=1}^n N_{pix}(X_j)}}$$

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, para calcular el peso de cada parámetro, considerando la interrelación mutua entre variables independientes, se calcula la Tasa de Predicción (PR) que se estima considerando el conjunto de los valores normalizados (Acharya & Lee, 2018) con la siguiente ecuación.

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

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

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

El método FR en el área de estudio se aplicó con una resolución de 30 metros, debido a que el levantamiento geológico está en una escala de 1:50.000, escala

máxima cartografiable recomendada para ese tamaño de píxel (Marquina, 2018). El uso de los métodos estadísticos tiene la limitación de depender de la escala de los datos temáticos que por lo general están disponibles a escala media, de manera que su aplicación a escala de detalle es limitada (Thiery, Malet, Sterlacchini, Puissant, & Maquaire, 2007).

Para generar el mapa de susceptibilidad se aplicó las fórmulas RF, PR, LSI a los resultados del FR (Anexo 3 A). El LSI o Índice de susceptibilidad de RM se clasificó en 5 clases: Muy Bajo, Bajo, Moderado, Alto y Muy Alto, mediante el método de Jenks Natural Breaks como en Chen et al. (2017); Acharya & Lee (2018), Berhane et al. (2020) y Sheng et al. (2022). El último método se utiliza para agrupar mejor los valores semejantes, mientras que maximiza las diferencias entre cada clase (Berhane et al., 2020).

#### **6.3.2.1 Parámetros para determinar el índice de susceptibilidad de RM**

Habitualmente la selección de parámetros para evaluar la susceptibilidad se basa en las características ambientales del área de estudio y la disponibilidad de datos, pero, además, en los estudios basados en SIG estos deben ser operativos (debe existir cierto grado de afinidad entre el factor y la ocurrencia de remociones), completos (abarcar toda el área de estudio), no uniformes, mensurables y no redundantes (Magliulo et al., 2008). En este trabajo, además de lo anterior, la selección de los factores para la evaluación de la susceptibilidad de PRM se basó en una revisión bibliográfica de autores y autoras que utilizaron el método Frequency Ratio o métodos similares (Thiery, Malet, Sterlacchini, Puissant, & Maquaire, 2007; Magliulo, Di Lisio, Russo, & Zelano, 2008 ; Duo, Zhang, Iqbal, & Yao, 2017; Pradhan & Kim, 2017; Acharya & Lee, 2018; Khan, Shafique, Khan, Bacha, & Shah, 2019; Silalahi, Pamela, Arifanti, & Hidayat, 2019; Berhane et al., 2020; Wubalem, 2021; López, Qüense, Henríquez, & Martínez, 2021; Luo et al., 2022; Sheng et al., 2022).

En total se generaron 7 mapas ráster con una resolución de 30 metros. Los parámetros escogidos para la elaboración del mapa de susceptibilidad son 1. Altitud, 2. La distancia del drenaje, 3. El valor de la pendiente, 4. La forma de la pendiente, 5. La litología, 6. El índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI), y 7. La orientación solar de la pendiente (Tabla 3).

**Tabla 3**  
**Parámetros Seleccionados para el Método FR.**

CAPA TEMÁTICA	FUENTE DE INFORMACIÓN
ALTITUD	MDT MINVU 2013 - Spatial Analyst Tools – Reclassify
DISTANCIA DEL DRENAJE	Red Hídrica MINVU 2013 – Spatial Analyst Tools – Euclidean Distance – Reclassify
VALOR DE LA PENDIENTE	MDT MINVU 2013 - Spatial Analyst Tools – Slope – Reclassify
FORMA DE LA PENDIENTE	MDT MINVU 2013 – Spatial Analyst Tools – Curvature – Reclassify
LITOLOGÍA	Mapa geológico 1:50.000 (PDF) (Quinzio et al., 2010) - Digitalización – Feature to Raster
NDVI	Sentinel -2 L2A (24 de marzo, 2022) (10m) – Calculadora ráster
ORIENTACIÓN SOLAR	MDT MINVU 2013 - Spatial Analyst Tools – Aspect - Reclassify

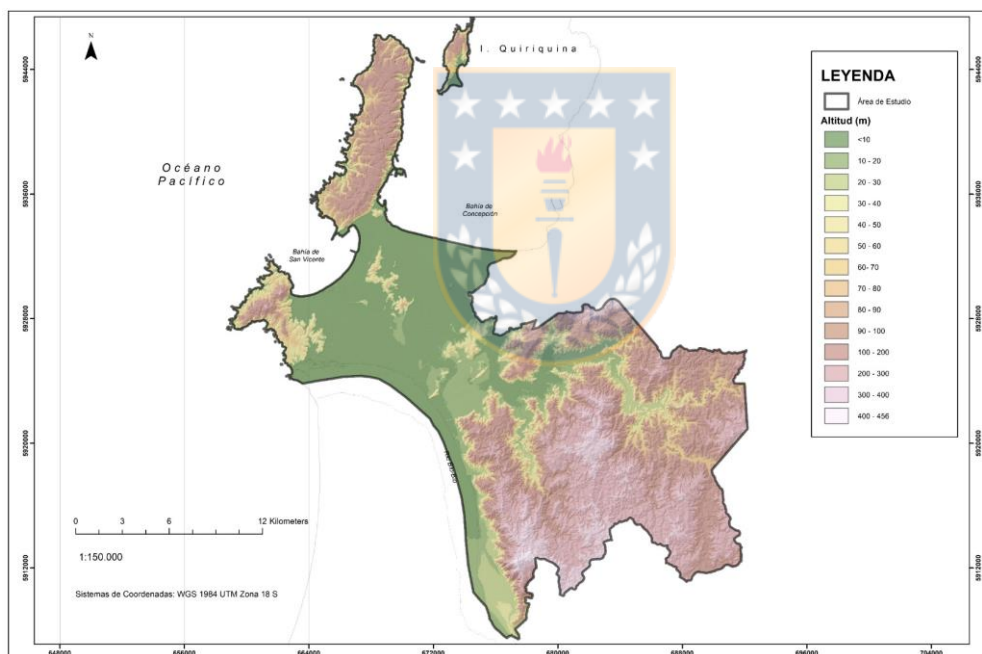
Fuente: Elaboración propia. Todos los mapas se trabajaron en Arcgis 10.5.

- Altitud

La altura se asocia a la lluvia, el tipo de suelo y el tipo de vegetación, incidiendo en la ocurrencia de RM (Duo et al., 2017). En una zona del mismo clima el desnivel acentuado de las superficies influye en la densidad del drenaje entre un macizo y otro (Dollfus, 1978). Como se mencionó en los antecedentes climáticos del área de estudio, la topografía influye en una precipitación mayor en los cordones graníticos de la cordillera costera en comparación con los cerros de Tumbes y Hualpén, así como en una asociación de pisos vegetacionales diferentes, bosque caducifolio y bosque esclerófilo respectivamente. El mapa de altitud de 30 m se preparó en ARCGIS a partir del Modelo Digital de Terreno (MDT) del proyecto “Imágenes y Cartografía Base para el área Metropolitana de Concepción, Región del Bío Bío” (MINVU, 2013) escala 1:10.000, al igual que el mapa de pendiente, forma de la pendiente y orientación solar. La altitud se clasificó en 14 clases: < 10 msnm; 10 -

20 msnm; 20 - 30 msnm; 30 - 40 msnm; 40 - 50 msnm; 50 - 60 msnm; 60 - 70 msnm; 70 - 80 msnm; 80 - 90 msnm; 90 - 100 msnm; 100 - 200 msnm; 200 - 300 msnm; 300 - 400 msnm, y 400 - 457 msnm (Figura 10). Esta clasificación se justifica por las características del espacio geográfico que abarca el área de estudio, donde el 95 % de la superficie tiene una altitud inferior a los 300 msnm y un poco más del 90 % del área urbana e industrial se emplaza bajo los 50 msnm, por lo que se propone una clasificación del nivel del terreno, a partir de la cual se puede analizar la distribución de remociones en masa dentro del área urbana con más precisión sin correr el riesgo de sobrevalorar o subvalorar un nivel de la superficie.

**Figura 10**  
**Mapa de Altitud.**



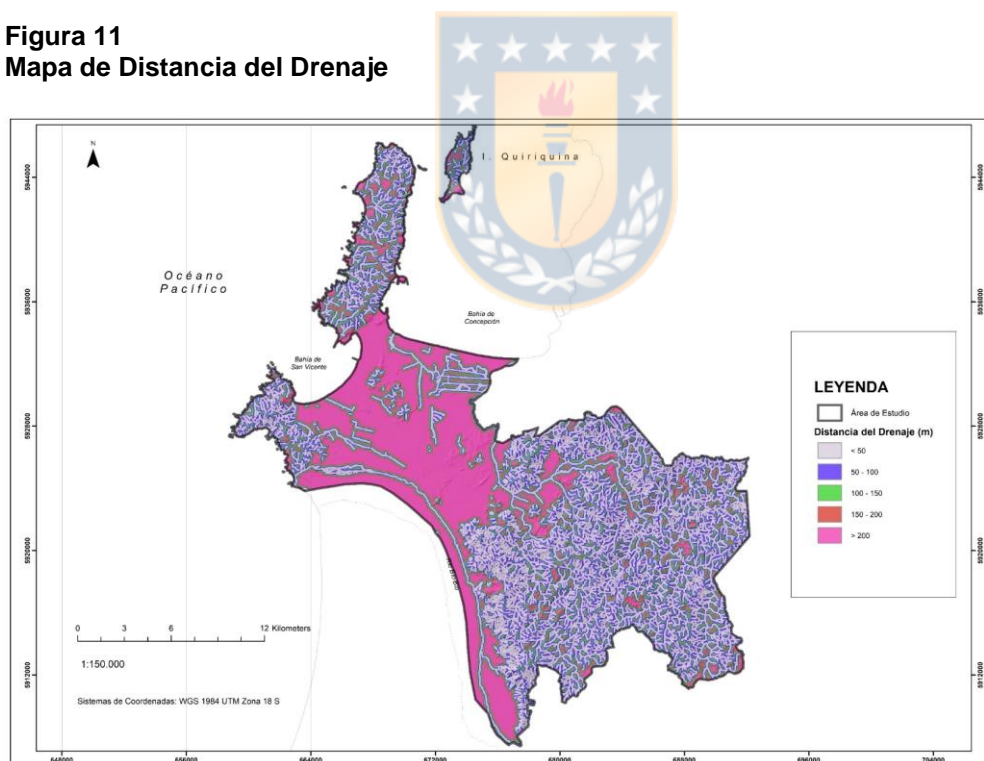
Fuente: Elaboración propia en base a MDT (MINVU, 2013).

- Distancia del drenaje

La distancia al drenaje es considerada un factor de control de deslizamientos de tierra (Duo et al., 2017; Berhane et al., 2020); influye en la fluctuación del nivel freático, los que, elevados en coberteras potentes de material meteorizado,

abundantes en el área de estudio, reducen la resistencia al corte por la generación de presiones intersticiales y aumentan los esfuerzos de corte por el incremento del peso del terreno (González de Vallejo et al., 2002). Además, la erosión lateral de un cauce en el pie de una ladera puede provocar deslizamientos o desprendimiento por modificación del estado tensional de la ladera (González de Vallejo et al., 2002). Para la realización del mapa se utilizó la red de drenaje del levantamiento cartográfico del área Metropolitana de Concepción realizado por el MINVU (2013), a partir del cual, con la Herramienta de Análisis Espacial (Spatial Analyst Tools) en ArcMap 10.5 se utilizó la función Euclidean Distance como en Acharya & Lee (2018). Para los rangos de distancia del drenaje se consideró un intervalo de 50 metros como en Zhang et al. (2016) y en Wubalem (2021): < 50 m; 50 - 100 m; 100 - 150 m; 150 - 200 m, y > 200 m (Figura 11).

**Figura 11**  
**Mapa de Distancia del Drenaje**

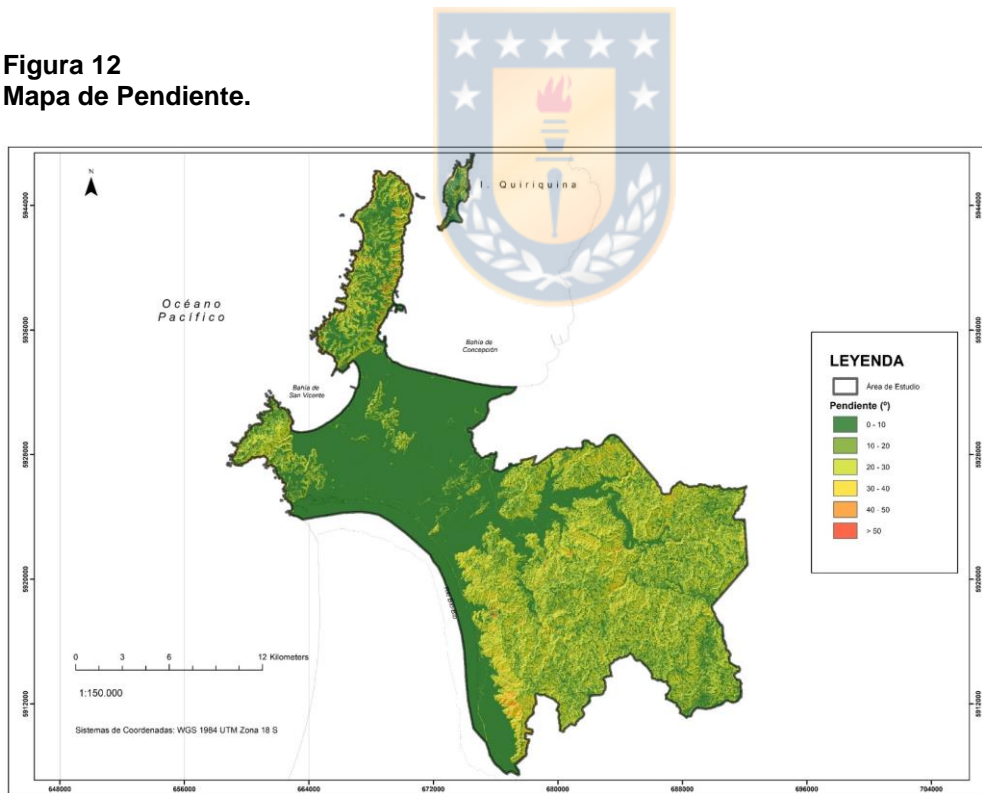


Fuente: Elaboración propia en base a capa vectorial de Red Hídrica (MINVU, 2013).

- Pendiente

Está directamente relacionada con las RM (Magliulo et al., 2008), ya que para que se produzcan movimientos gravitacionales es necesaria cierta pendiente (González de Vallejo, Ferrer, Ortuño, & Oteo, 2002). Además de su efecto en la distribución del peso en el terreno (González de Vallejo et al., 2002), influye en la dirección del flujo superficial y subterráneo de la escorrentía, por lo que tiene un rol importante en la presencia o no de humedad en el suelo (Berhane et al., 2020) y en la profundidad de la capa de meteorización (Duo et al., 2017). El mapa ráster se obtuvo con la Herramienta de Análisis Espacial (Spatial Analyst Tools), Slope, posteriormente, se clasificó con la función Reclassify en 6 clases: 0 - 10°; 10 - 20°; 20 - 30°; 30 - 40°; 40 - 50° y > 50° (Figura 18) como en Zhang et al. (2016).

**Figura 12**  
**Mapa de Pendiente.**

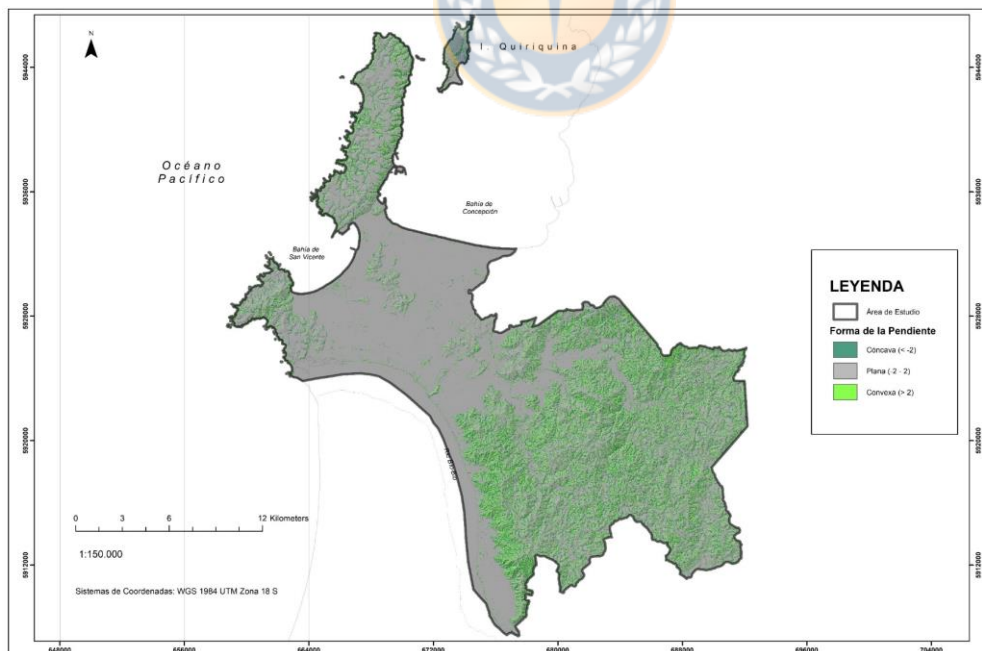


Fuente: Elaboración propia en base a MDT (MINVU, 2013).

- La Forma de la Pendiente

La forma de la pendiente afecta en la aceleración y desaceleración de la escorrentía superficial lo que influye en la erosión y predisposición de la ladera a RM (Kumar et al., 2019). En las laderas convexas la escorrentía superficial tiende a dispersarse, por lo que la erosión es menos efectiva que en las laderas cóncavas donde el flujo de agua tiende a concentrarse pendiente abajo (Summerfield, 2013). Este parámetro es usado ampliamente en los estudios de susceptibilidad de RM (Acharya & Lee, 2018; Kumar et al., 2019; Thongley & Vansarochana, 2021; Meena, Puliero, Buyhan, Floris, & Catani, 2022). La forma de la pendiente se obtuvo a partir de ArcGis con la herramienta de análisis espacial, Curvature. El valor de la forma de la pendiente se dividió en 3 clases como en Wubalem (2021): 1. Cóncava ( $< -2$ ); 2. Plana ( $-2 - 2$ ), y 3. Convexa ( $>2$ ) (Figura 13).

**Figura 13**  
**Mapa de la Forma de la Pendiente**

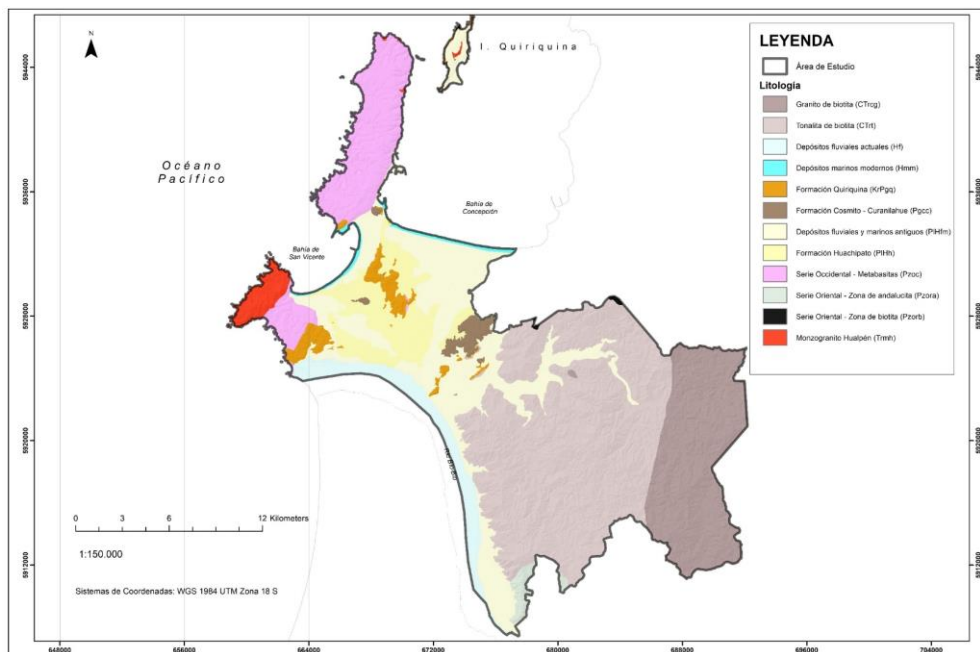


Fuente: Elaboración propia en base a MDT (MINVU, 2013).

- Litología

La litología se considera como uno de los principales factores que influyen en el tipo y la intensidad de los procesos morfodinámicos (Magliulo et al., 2008). La variación en los tipos de rocas conduce a diferentes grados de meteorización, por lo cual resulta significativo en la evaluación de la susceptibilidad a RM (Berhane et al., 2020). La litología en el área de estudio se obtuvo a partir de la digitalización del Mapa geológico en formato de PDF escala 1:50.000, realizado por los cursos de Geología de Campo II de la Carrera de Geología de la Universidad de Concepción (Quinzio et al., 2010). Posteriormente, la capa vectorial se convirtió a ráster en ArcGis, Conversion Tools, Feature to Raster. Las unidades litológicas son 12: 1. Granito de biotita; 2. Tonalitas de biotita; 3. Depósitos fluviales; 4. Depósitos marinos actuales; 5. Formación Quiriquina; 6. Formación Cosmito-Curanilahue; 7. Depósitos fluviales y marinos antiguos; 8. Formación Huachipato; 9. Formación Occidental - Metabasitas; 10. Serie Oriental - Zona de andalucita; 11. Serie Oriental - Zona de biotita, y 12. Monzogranito Hualpén (Figura 14).

**Figura 14**  
**Mapa de Unidad Litológicas**



Fuente: Elaboración propia, modificado de Quinzio et al. (2010).

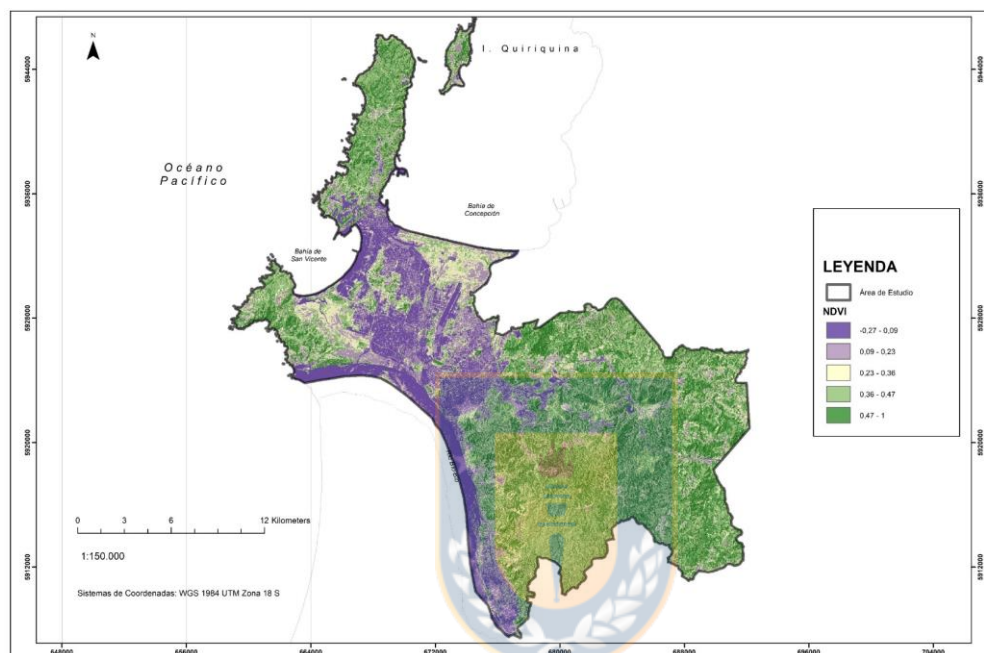


- NDVI

NDVI es usado comúnmente en la evaluación de la susceptibilidad de remociones en masa (Abdo, 2022), sus valores oscilan entre 1 y -1 (Thongley & Vansarochana, 2021). El NDVI sirve para evaluar la cantidad de cobertura de vegetación (Meena et al., 2022), un valor alto de NDVI implica una mayor área cubierta por vegetación (Wang et al., 2016). Las áreas sin vegetación son más propensas a deslizamientos que en bosque o pastizales con mayor NDVI (Acharya & Lee, 2018). La carencia de cobertura vegetal en las laderas trae consigo la inexistencia del poder cohesivo de las raíces en el regolito y con ello la pérdida de resistencia al cizallamiento (Gutiérrez, 2008). Conviene señalar, igualmente, respecto al rol que la vegetación ejerce en la estabilidad de la ladera, Greenway (1987 como se citó en Gutiérrez, 2008) distingue mecanismos hidrológicos y mecánicos, en ambos casos la vegetación puede favorecer o no la estabilidad de la ladera. En la forma negativa del primero las raíces pueden secar el suelo y favorecer el agrietamiento y una mayor capacidad de infiltración (Gutiérrez, 2008); en el segundo, también en su aspecto negativo, en un suelo poco profundo es posible que la raíces no atravesasen el sustrato rocoso y “la interfase suelo-roca puede actuar como plano de deslizamiento” (Gutiérrez, 2008, p.259). En este trabajo el NDVI se obtuvo a partir de una imagen satelital del sensor sentinel-2 adquirida el 24 de marzo del 2022. El NDVI se calculó con las bandas de infrarojo cercano (NIR) y roja (R), bandas 8 y 4 en sentinel-2, respectivamente, con la fórmula:  $NDVI = (NIR - R) / (NIR + R)$  (Wang et al., 2016; Vakhshoori & Zare, 2018). El NDVI se clasificó en 5 clases (Figura 15): - 0,27 - 0,09; 0,09 - 0,23; 0,23 - 0,36; 0,36 - 0,47; 0,47 - 1. Varios de los trabajos ya citados utilizan 5 clases y diferentes intervalos de valores (Acharya & Lee, 2018; Thongley & Vansarochana, 2021; Meena et al., 2022), por lo que se optó por clasificar con el método de Jenks natural breaks en ArcGIS, utilizado para minimizar la varianza en la clasificación (De Smith, Goodchild, & Longley, 2018), generando intervalos que agrupan mejor los valores similares y maximizan las diferencias entre clases (ESRI, 2022). Los valores entre - 1 y 0,1 corresponden a superficie desprovista de vegetación, afloramientos de roca, arenas, nieve; las

áreas con vegetación escasa como arbustos, praderas y cultivos pueden presentar valores aproximados entre 0,2 y 0,5, y los valores superiores a 0,6 corresponden a vegetación densa (USGS, 2018).

**Figura 15**  
**Mapa del NDVI.**



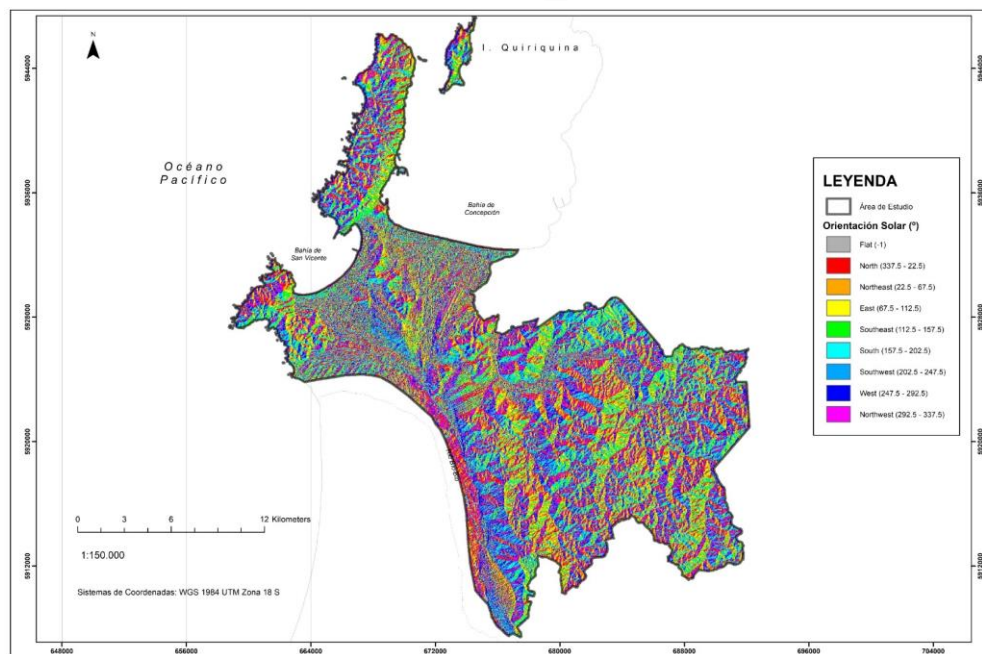
Fuente: Elaboración propia.

En el área de estudio los valores NDVI entre - 0,27 - 0,09 abarcan cuerpos de agua, superficie urbana y suelo descubierto; mientras que las áreas de cultivos, matorral bajo y praderas muestran valores NDVI entre 0,09 y 0,36, por último, la vegetación densa correspondiente a bosques y plantaciones forestales presentan valores NDVI superiores a 0,36.

- Orientación solar

La intensidad de radiación solar y el viento que recibe la superficie de una ladera depende de su orientación y exposición (Duo et al., 2017; Berhane et al., 2020). Su influencia se refleja principalmente en el microclima (Duo et al., 2017), incidiendo en la evapotranspiración, la humedad del suelo, la presencia de vegetación y la penetración de la raíz (Berhane et al., 2020), esta última puede aumentar la resistencia al corte reforzando el suelo (Gutiérrez, 2008). La vegetación a su vez controla la erosión y contribuye a estabilizar la ladera (Gutiérrez, 2008). Por lo que se considera un factor importante en la ocurrencia de RM (Kumar et al., 2019). Para la preparación del mapa se utilizó el MDT del MINVU (2013) y la herramienta de análisis espacial, Aspect y luego Reclassify. La orientación solar se clasificó en 9 clases como en Mancini, Ceppi, & Ritrovato (2010); Zhang et al. (2016); Duo, Zhang, Iqbal, & Yao (2017); Khan, Shafique, Khan, Bacha, & Shah (2019); Kumar et al. (2019); Berhane et al. (2020); Thongley & Vansarochana (2021) y Ma, Qiu, Hu, Yang, & Liu (2021): 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 16).

**Figura 16**  
**Mapa de Orientación Solar.**



Fuente: Elaboración propia en base a MDT (MINVU, 2013).

### 6.3.2.2 Validación de modelo de susceptibilidad

Para evaluar el modelo FR se utilizaron 3 métodos: 1. Enfoque de Precisión Estadística, 2. El Área Bajo la Curva ROC (Característica Operativa del Receptor) y 3. La Coherencia Geomorfológica.

1. Enfoque de precisión estadística: Se basa en un análisis de distribución estadística de las RM inventariadas en los diferentes niveles de susceptibilidad, obtenidos a partir del modelo, por lo que depende de umbrales definidos (Berhane et al., 2020) donde debe existir una alta correspondencia entre las zonas con una alta susceptibilidad y las RM ocurridas en el pasado. Junto a la Curva de ROC es un método ampliamente utilizado para evaluar la precisión de los métodos estadísticos (Berhane et al., 2020; Khan et al., 2019; Kumar et al., 2019; Magliulo et al., 2008; Silalahi et al., 2019; Zêzere, 2002; Duo, Zhang, Iqbal, & Yao, 2017).

2. El Área Bajo la Curva de la Característica Operativa del Receptor (ROC): La curva ROC es una herramienta estadística que "...permite establecer la capacidad de discriminación de una prueba de clasificación dicotómica (que admite solo dos respuestas posibles): presencia o ausencia de la variable de interés" (Del Valle, 2017 como se citó en Campos, 2021, p.32). "La curva ROC se representa en el primer cuadrante del plano cartesiano: los valores horizontales y verticales se ubican entre cero y uno, porque consisten en probabilidades" (Campos, 2021, p.33) (Figura 17).

La Curva de ROC se utiliza ampliamente en la evaluación de precisión de Mapas de Susceptibilidad (Sheng et al., 2022), describiendo la capacidad de predecir de manera fiable la ocurrencia o no de remociones en masa (Berhane et al., 2020). A diferencia del enfoque de precisión estadística, su principal ventaja es la independencia del número de umbrales y espaciados considerados para el cálculo (Vakhshoori & Zare, 2018; Sheng et al., 2022). Suponiendo  $n$  clases de índices de susceptibilidad a remociones en masa se pueden definir  $n+1$  umbrales, donde el

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 (Vakhshoori & Zare, 2018; Sheng et al., 2022). 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; Sheng et al., 2022). 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) (Sheng et al., 2022):

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

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



TPR y FPR se trazan en el eje Y y el eje X de la curva ROC, respectivamente (Sheng et al., 2022). Ellos forman el punto (1,1) en la curva para el primer umbral ( $i=1$ ), y el punto (0,0) para el último umbral ( $i=n+1$ ) (Vakhshoori & Zare, 2018). Por último, el área bajo la curva (AUC) se calcula como:

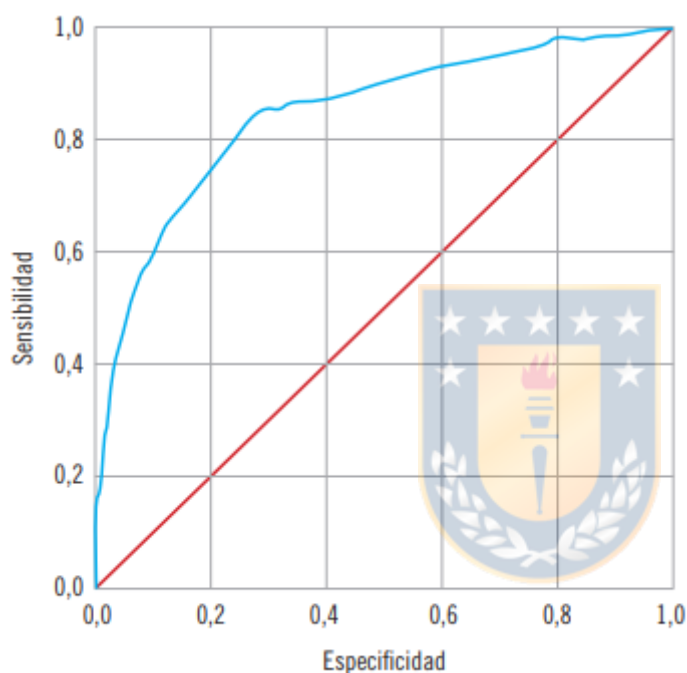
$$AUC = \sum_{i=2}^{n+1} \frac{1}{2} \sqrt{(x_i - x_{i+1})^2} \cdot (y_i + y_{i+1})$$

El valor AUC puede mostrar la tasa de exactitud del modelo al involucrar el conjunto de datos de entrenamiento y su tasa de predicción con el conjunto de datos de prueba (Vakhshoori & Zare, 2018).

Valores cercanos a 1 (100 %) demuestran una alta capacidad predictiva, mientras que un valor igual o bajo 0,5 ( $= o < 50 \%$ ) implican que la predicción del modelo no tiene importancia y no es aceptable, ya que representan una relación aleatoria

(Berhane et al., 2020; Kumar et al., 2019; Wubalem, 2021). Los valores del AUC se interpretan de la siguiente manera: pobre (0,5 - 0,6); moderado (0,6 - 0,7); bueno (0,7 - 0,8); muy bueno (0,8 - 0,9), y excelente (0,9 - 1) (Thongley & Vansarochana, 2021).

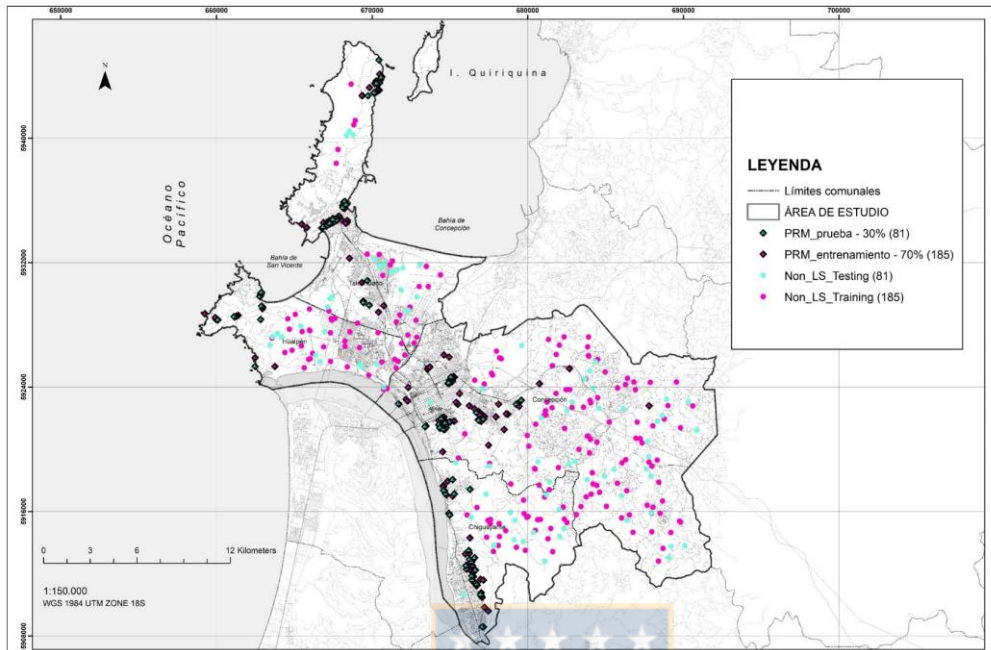
**Figura 17**  
**Curva de ROC Hipotética**



Fuente: Campos, 2021. La diagonal indica una clasificación aleatoria.

Para determinar el AUC se identificó aleatoriamente la misma cantidad de datos sin remociones en masa (non-landslide) para datos de entrenamiento y prueba a una distancia de 1 km con la herramienta SVM-LSM en ArcGIS como en Huang et al. (2022) (Figura 18).

**Figura 18**  
**Datos Vectoriales de Puntos utilizados para Modelar y Evaluar.**



Fuente: Elaboración propia. Non\_LS son datos sin remociones en masa observadas.

En base a todo lo anterior se determinó, para el modelo de susceptibilidad, la Tasa de Predicción y la Tasa de Exactitud. Para obtener el AUC de la primera se hizo una superposición entre: 1. Datos de prueba de PRM (81), 2. Datos de prueba sin PRM (non-landslide) (81) y 3. el índice de Susceptibilidad dividido en 10 clases con el método de intervalos iguales (Anexo 3 B), luego, con ello, se desarrollaron matrices de confusión para calcular TPR y FPR (Anexo 3 C), y, por último, se aplicó la fórmula del AUC (Anexo 3 D). La Tasa de exactitud utiliza el mismo el procedimiento, pero la superposición se hizo con el 70 % de los datos utilizados para entrenar (185); el mismo número de datos sin PRM (non-landslide) (185) y el índice de susceptibilidad dividido en 10 clases con el método de intervalos iguales (Anexo 3 E, Anexo 3 F y Anexo 3 G).

3. Coherencia Geomorfológica: Esta consiste en una comparación entre el mapa geomorfológico y el mapa de susceptibilidad resultante del modelo estadístico bivariado, para determinar su coherencia con el grado de estabilidad morfodinámica expresada por las características geomorfológicas representadas gráficamente en el mapa geomorfológico (Magliulo et al., 2008).

Para esto se utilizaron mapas geomorfológicos básicos del CENTRO EULA CHILE (1994) escala 1:10.000. Este procedimiento implicó trabajo de gabinete y trabajo de campo.

En el primero, se actualizaron mapas, analizó información faltante y se creó nueva cartografía. El formato original de la información de los mapas (DWG) fue modificado por archivos vectoriales para su procesamiento en ArcMap, luego se identificó la información faltante, la que se completó con las unidades geomorfológicas identificadas en la leyenda de los mapas originales, mediante la interpretación de ortofotos, modelos de elevación digital, red hidrográfica y curvas de nivel con una escala de precisión de 1:10.000, correspondientes al proyecto “Imágenes Digitales y Cartografía Base para el área Metropolitana de Concepción, Región del Bío Bío” (MINVU, 2013).

A partir del proceso anterior se optó por el desarrollo 4 mapas geomorfológicos a una escala 1:10.000, cubriendo el 33 % (146 km<sup>2</sup>) de la totalidad del área de estudio (438 km<sup>2</sup>), debido a necesidades de representación cartográfica, ya que, en primer lugar, la escala 1:10.000 permite identificar unidades geomorfológicas que en una escala pequeña no es posible, como por ejemplo los escarpes en general y, en segundo lugar, lógicamente, la simbología de la leyenda está condicionada por la escala de los mapas.

Los sectores para la evaluación de la Coherencia Geomorfológica fueron: 1. El sector occidental de la Comuna de Concepción (Anexo 4 A), 2. El sector Sur Occidental de la Comuna de Talcahuano (Anexo 4 C), 3. El sector Occidental de la Comuna de Chiguayante (Anexo 4 E) y 4. El sector occidental de la comuna de Hualpén (Anexo 4 G). Los criterios para escoger estos sectores tienen que ver con 1. la existencia de un levantamiento geomorfológico para los sectores 1, 2 y 3,



mencionados anteriormente, y 2. La mayoría de los PRM en masa inventariados se concentran en las áreas escogidas, lo cual permite un análisis estadístico de correlaciones entre distribución de PRM en Unidades Geomorfológicas; tipos de PRM, y el nivel de susceptibilidad. El mapa geomorfológico del sector 4, se interpretó con los materiales mencionados, tomando como referencia las unidades geomorfológicas identificadas en los mapas mencionados anteriormente y posteriormente se verificaron algunas unidades en terreno.

La representación de las unidades geomorfológicas en los 3 primeros mapas tomó como referencia la leyenda para mapas geomorfológicos escala 1:25.000 y 1:50.000 propuestas por el Departamento de Geografía y Ordenación del Territorio de la Universidad de Zaragoza (Peña, Pellicer, Chueca, & Julián, 1997). En el caso del mapa geomorfológico del sector 4, La Península de Hualpén, por comodidad y evitar confusiones, se estimó como necesario representar las unidades geomorfológicas en blanco, negro y tonos grises, debido a la presencia exclusiva de la unidad litológica Monzogranito Hualpén en este sector, lo que implicó la identificación de unidades geomorfológicas diferentes a los sectores anteriores.

Para caracterizar las unidades geomorfológicas de acuerdo a su nivel de susceptibilidad; establecer correlaciones con la densidad de remociones en masa identificadas en una unidad geomorfológica y al mismo tiempo evaluar la coherencia geomorfológica del modelo de susceptibilidad, se propone el cálculo de un promedio ponderado de susceptibilidad que consiste en:

1. La superposición del mapa geomorfológico sobre el mapa de susceptibilidad.
2. El cálculo de la distribución de cada unidad geomorfológica en los 5 niveles de susceptibilidad.
3. El cálculo del promedio ponderado de cada unidad a partir de su distribución en los 5 niveles de susceptibilidad, siendo 1 muy bajo; 2 bajo; 3 moderado, 4 alto y 5 muy alto.

Esto permite responder a la tercera pregunta de investigación y a la segunda hipótesis planteadas en los apartados correspondientes.

## 7 MARCO TEÓRICO CONCEPTUAL

### 7.1 Conceptos de riesgo en las remociones en masa

#### 7.1.1 Riesgos Geológicos

“Un riesgo geológico será cualquier circunstancia, proceso efecto o geológico que resulte dañino para las personas o bienes” (Lario & Bardaji, 2016, p.14). Las remociones en masa se clasifican como procesos geodinámicos externos para diferenciarlos de los internos (terremotos y vulcanismo, por ejemplo) (González de Vallejo et al., 2002).

En este trabajo los conceptos de susceptibilidad, peligro, vulnerabilidad y riesgo se comprenden de acuerdo con las definiciones siguientes.



#### 7.1.2 Susceptibilidad

La susceptibilidad expresa la probabilidad de que ocurra un fenómeno en un área sobre la base de las condiciones locales del terreno (Soeters & Van Westen, 1996). De manera que un mapa de susceptibilidad expresa la probabilidad de ocurrencia de una remoción en masa de tipo particular en un lugar determinado (Hervás & Bobrowsky, 2009).

#### 7.1.3 Peligro

Peligro se refiere a la probabilidad de que ocurra un fenómeno potencialmente dañino dentro de un período de tiempo específico y dentro de un área determinada (Soeters & Van Westen, 1996; Gutiérrez, 2008). De acuerdo con Gutiérrez (2008,

p.264) el peligro (hazard) “es la probabilidad de que un fenómeno natural o inducido por el hombre se manifieste en un territorio y en un intervalo de tiempo”. Un mapa de peligro representa la probabilidad de ocurrencia de un tipo de remoción en masa y magnitud particulares en un lugar determinado dentro de un período de tiempo (Hervás & Bobrowsky, 2009).

#### **7.1.4 Vulnerabilidad**

Vulnerabilidad es el grado de pérdida de un elemento dado (o conjunto de elementos) en riesgo como resultado de la ocurrencia de un fenómeno natural de una magnitud dada (Soeters & Van Westen, 1996; González de Vallejo et al., 2002). Los mapas de vulnerabilidad “representan sobre los elementos del mapa de exposición, el grado de fragilidad de cada elemento ante el proceso.” (Lario & Bardaji, 2016, p. 17).



#### **7.1.5 Riesgo**

La United Nations International Strategy for Disaster Reduction (UNISDR, 2009) define el riesgo (risk) como la combinación de la probabilidad de un acontecimiento y sus consecuencias negativas. El riesgo de remoción en masa se refiere a la estimación de las pérdidas o daños causados por una remoción en masa; vidas perdidas, daños a la propiedad y la infraestructura, e interrupción de servicios y actividades económicas (Hervás & Bobrowsky, 2009). El riesgo considera el producto del peligro (R) por la vulnerabilidad (V) y por la exposición (E) (Gutiérrez, 2008; Lario & Bardaji, 2016; Caleca et al., 2022), éste último entendido como “los bienes expuestos susceptibles de ser afectados por un riesgo, tales como personas, edificios, vehículos, etc.” (Lario & Bardaji, 2016, p. 15). De manera que los mapas de riesgo se obtienen de la combinación de estas variables (Lario & Bardaji, 2016).

## **7.2 Remociones en masa e inventarios**

### **7.2.1 Remociones en masa**

Las remociones en masa se definen como el movimiento de una masa de roca, escombros o tierra por una pendiente (Cruden & Varnes, 1996), es decir, son procesos de movilización de material terrestre por la acción de la gravedad (Gutiérrez, 2008; Rodríguez-García et al., 2016). En una definición más completa de remociones en masa, Mardones & Rojas (2012) señalan que son “fenómenos gravitacionales de movilización lenta o rápida de un determinado volumen de suelo, roca o ambos, en diversas proporciones, con velocidades variables, a lo largo de un talud” (p.58).

### **7.2.2 Evolución de las laderas**

De acuerdo con González de Vallejo et al. (2002) la morfología de las laderas son producto de la adaptación a las condiciones geológicas y climáticas que afectan a la superficie terrestre, por lo cual, “los movimientos de ladera pueden entenderse como los reajustes del terreno para conseguir el equilibrio ante un cambio de condiciones” (p.622), aludiendo a la evolución de la ladera.

Esta última viene dada por el balance entre 1. procesos de meteorización y edafogénesis, y 2. el desplazamiento de los materiales por la gravedad (Gutiérrez, 2008). Cuando el primer componente es mayor, el regolito se profundiza, en el caso contrario, “el regolito se denuda rápidamente y se estabiliza al aflorar la roca coherente” (Gutiérrez, 2008, p.230). De acuerdo a Tricart (1957, como se citó en Gutiérrez, 2008, p.230) este balance morfogenético, “depende del valor de la pendiente, de la naturaleza de las rocas y del clima”.

Con base en el balance morfogenético se pueden identificar; pendientes de transporte, cuando la roca no se altera y lo que recibe es igual a lo que pierde; pendientes de ablación, si la roca se altera y lo que sale es igual a lo que llega, más lo que se altera, y pendientes de acumulación, si la roca se altera, y lo que sale es menos que lo que recibe más lo que se altera, de modo que el manto de derrubios crece (Aguilera Arilla et al., 1997). Además la laderas se pueden clasificar en vertientes cubiertas, estabilizadas con vegetación con pequeños deslizamientos y desprendimientos; vertientes rocosas denudadas, en cuyo pie del talud los derrubios pueden estar fijados por vegetación o no, dependiendo de si se trata de una forma heredada o activa, y vertientes deleznable, asociada a rocas mal consolidadas con erosión activa que suelen presentar formas abarrancadas resultado de la arroyada y movimientos en masa (Aguilera Arilla et al., 1997).

### 7.2.3 Estabilidad de las laderas

“Las inestabilidades en las laderas (...) se deben al desequilibrio entre las fuerzas internas y externas que actúan sobre el terreno, de tal forma que las fuerzas desestabilizadoras superan a las fuerzas estabilizadoras o resistentes.” (González de Vallejo et al., 2002, p. 623). La estabilidad de las laderas se define a partir del Factor de seguridad (González de Vallejo et al., 2002) que es:

$$F = \frac{FE}{FD}$$

Donde F es el factor de seguridad; FE, las fuerzas estabilizadoras, y FD se refiere a las fuerzas desestabilizadoras.

A su vez:

$$FE = R_c + R_\phi$$

Donde  $R_c$  representa la fuerza cohesiva que es igual a la multiplicación entre cohesión del plano,  $c$ , y el área del plano de rotura,  $A$ , y  $R_\phi$  representa las fuerzas friccionales que es igual a  $W \cos \alpha \operatorname{tg} \phi$  (componente del peso actuando de forma

normal a la superficie de rotura), siendo  $W$  el peso del material y  $\phi$  la fricción del plano (González de Vallejo et al., 2002).

Mientras que:

$$FD = W \text{ sen } \alpha$$

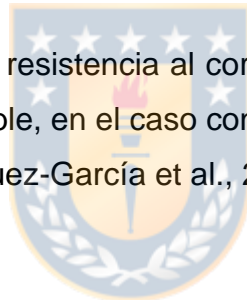
Donde  $W \text{ sen } \alpha$ , representa “el componente del peso actuando en la dirección del plano de rotura” (González de Vallejo., 2002, p.447)

De acuerdo con González de Vallejo et al. (2002) cuando existe presión de agua sobre la superficie de rotura se debe considerar que:

$$R_{\phi} = (W \text{ cos } \alpha - U) \text{ tg } \phi$$

Donde  $U$  es igual a la fuerza total de la presión del agua sobre la superficie del área de rotura ( $A$ ).

Cuando  $F$  es mayor a 1 la resistencia al corte es mayor que la fuerza de corte, por lo que el material es estable, en el caso contrario, cuando  $F$  es menor que 1, el material es inestable (Rodríguez-García et al., 2016).



#### **7.2.4 Causas de las remociones en masa**

Los factores que controlan las remociones en masa modifican las fuerzas internas y externas que actúan sobre el terreno (González de Vallejo et al., 2002; Rodríguez-García et al., 2016), es decir, la estabilidad de la ladera está en función de factores, cuya forma más extendida de agrupar son dos, factores condicionantes y factores desencadenantes (Rodríguez-García et al., 2016). De acuerdo con González de Vallejo et al. (2002), los primeros, pasivos e intrínsecos, dependen de la propia naturaleza, estructura y forma del terreno; los segundos, activos y externos, provocan las inestabilidades y por lo general, son los responsables de la magnitud y velocidad de los movimientos (Tabla 4).

**Tabla 4**  
**Factores Condicionantes y Desencadenantes.**

<b>FACTORES</b>	
<b>Condicionantes Pasivos e intrínsecos</b>	Relieve
	La estructura geológica, estratigráfica y litológica
	Características hidrogeológicas
	Vegetación
	Meteorización
	Geomorfología
<b>Desencadenantes Activos y externos</b>	Precipitaciones
	Actividad sísmica
	Vulcanismo
	Procesos erosivos
	Acciones antrópicas

Fuente: Elaboración propia en base a Gonzáles de Vallejo et al. (2002), y Rodríguez-García et al. (2016).

#### **7.2.4.1 Factores condicionantes**

- Relieve

“La geometría del relieve juega un papel fundamental en la distribución de los esfuerzos en el terreno. La resistencia al corte de los materiales que conforman las laderas está estrechamente relacionada con la pendiente” (Rodríguez-García et al., 2016, p.149). Para que se produzcan remociones en masa es necesaria cierta pendiente (González de Vallejo et al., 2002). “Cuando las laderas son muy abruptas los deslizamientos generados son muy numerosos, sobre todo en relación con fuertes lluvias” (Gutiérrez, 2008, p.256). La orientación, exposición, forma y altura de la ladera también influyen en la estabilidad de la ladera (Rodríguez-García, et al., 2016)

- Estructura geológica, estratigráfica y litológica

El suelo o la masa rocosa pueden debilitarse por discontinuidades tales como fallas, superficies de estratificación, foliaciones, hendiduras, diaclasas, fisuras, cizalladuras y zonas de cizalla (Cruden & Varnes, 1996). Como señalan González de Vallejo et al. (2002) “la estructura geológica, estratigráfica y litológica determinan

la potencialidad de movimientos en los diferentes tipos de materiales rocosos y suelos, y la existencia de planos de discontinuidad que pueden actuar como superficies de rotura” (p.630). “Cuando las discontinuidades presentan ángulos semejantes a los de las laderas, se facilita el desencadenamiento de deslizamientos traslacionales, como por ejemplo en el flysch” (Gutiérrez, 2008, p.254).

En cuanto a las características litológicas y sedimentológicas Rodríguez-García et al. (2016) indican que “tanto los materiales del sustrato como de las formaciones superficiales, controlan numerosas propiedades físicas de los materiales, tales como densidad, cohesión, permeabilidad o ángulos de rozamiento interno que, a su vez, influyen en la resistencia del terreno” (p.152).

- Características hidrogeológicas

Se refiere a las características hidrogeológicas de los materiales y del terreno; porosidad, permeabilidad o grado de saturación, en el caso del primero, y la morfología de la red de drenaje, la cuenca y la geometría del acuífero, en el segundo (Rodríguez-García et al., 2016). El agua juega un rol importante en la resistencia de los materiales, ya que reduce la resistencia al corte por la generación de presiones intersticiales y por la reducción de los parámetros resistentes en determinados tipos de suelo (González de Vallejo et al., 2002).

- Vegetación

El papel que desempeña la vegetación en las laderas es complejo (Gutiérrez, 2008), ya que puede favorecer a su estabilidad o inestabilidad (Gutiérrez, 2008; Rodríguez-García et al., 2016). En ese sentido, Rodríguez-García et al. (2016) señalan que la vegetación en forma general protege el terreno de lluvias, reteniendo agua en las hojas, ramas, troncos y raíces. Una vegetación densa evita la liberación de energía cinética directa sobre la superficie del suelo (Tricart & Kilian, 1982), dificultando la erosión pluvial, además reduce la infiltración por interceptación, eliminando agua a través de procesos de evapotranspiración, incrementando la



cohesión del terreno (Rodríguez-García et al., 2016). A nivel local, en cambio, la vegetación puede aumentar la carga en el terreno; transmitir la acción del viento al terreno; ensanchar fracturas y promover la infiltración a través del efecto cuña que provoca el crecimiento de las raíces (Rodríguez-García et al., 2016). En Gutiérrez (2008) se identifican mecanismo hidrológicos y mecánicos cada uno con efectos opuestos en la estabilidad de la ladera que se resumen en la tabla a continuación (Tabla 5).

**Tabla 5**  
**Relación entre Vegetación y Estabilidad de las Laderas.**

<b>Mecanismos</b>		
	<b>Mayor Estabilidad</b>	<b>Menor Estabilidad</b>
<b>Hidrológicos</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Reducción de la infiltración</li> <li>• Reducción de la presión intersticial por absorción de agua por las raíces</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mayor infiltración por efecto de cuña por las raíces</li> <li>• Pérdida de humedad de suelo por absorción de agua de las raíces que conducen a un mayor agrietamiento e infiltración</li> </ul>
<b>Mecánicos</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Reforzamiento del suelo por las raíces</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Dependiendo de la profundidad de penetración de las raíces, grado de extensión y resistencia pueden favorecer o no la resistencia al corte</li> </ul>

Fuente: Gutiérrez (2008).

- Meteorización

Meteorización de acuerdo a Strahler A.N. & Strahler A.H.(2005), “es el término general aplicado a la acción combinada de todos los procesos que causan la desintegración física de la roca y su descomposición química debido a la exposición en o cerca de la superficie de la tierra” (p.212), cuyo efecto en una ladera genera zonas de debilidad (González de Vallejo et al., 2002). De la definición de meteorización Aguilera Arilla et al. (1997) destacan 2 hechos: 1. La roca expuesta a la intemperie sufre la acción de los agentes atmosféricos, que tienden a descomponerla y desintegrarla, y 2. Por este proceso los materiales rocosos quedan dispuestos para ser movilizados por los agentes de la erosión.

La meteorización se lleva a cabo de forma física y química (Tabla 6). La primera “produce rupturas en la roca, sin que se vea afectada de forma apreciable la naturaleza mineralógica de aquella” (Aguilera Arilla et al., 1997, p.584). La segunda, en cambio, donde el agua juega un papel principal, “da lugar a transformaciones en las propiedades químicas de la roca” (Aguilera Arilla et al, 1997, p.591). Ambas ocurren de forma simultánea. Aguilera Arilla et al. (1997) se refieren a la reciprocidad de intensidades entre procesos, señalando que:

...cuanto mayor sea la fragmentación mecánica, mayor será la superficie expuesta al ataque y mayor la eficacia de la acción química, y viceversa, cuanto mayor es el ataque químico a los minerales componentes de una roca, más vulnerable resulta ésta a la acción mecánica. (p.591)

Entre los factores que condicionan la meteorización se encuentran las características de la roca (el color, la porosidad, la fisuración, la composición mineral) y el clima, de acuerdo al cuál, unos procesos serán más importantes que otros (Aguilera Arilla et al., 1997). Por ejemplo, Strahler A.N. & Strahler A.H. (2005), señalan que “el grado de descomposición de la roca será directamente proporcional a la cantidad de agua disponibles en la roca y en el suelo, y que los desiertos secos serán medios donde la descomposición de las rocas es muy limitada” (p. 214). Así mismo, de acuerdo a los mismo autores, en climas cálidos y húmedos la meteorización química es predominante, las rocas ígneas se descomponen por hidrólisis y oxidación, produciendo un material blando y profundo, denominado regolito donde la erosión actúa con facilidad cuando no existe cobertura vegetal, su debilidad la hace sensible a los movimientos de ladera, este representa un problema para la ingenieros civiles ya que no soportan cargas pesadas y su contenido en minerales de arcilla le otorgan propiedades plásticas, hinchándose mediante la absorción de agua (Strahler A.N. & Strahler A.H., 2005). “La presencia de cantidades significativas de arcillas hinchables (...) disminuye la resistencia al cizallamiento del material de la ladera” (Gutiérrez, 2008, p.255). Este regolito en el área de estudio, específicamente, en los cordones graníticos de la cordillera de la costa, recibe el nombre de “maicillo” (Hauser, 2000, p.21). En respuesta a las

precipitaciones intensas de la estación lluviosa, en laderas empinadas (40°) pierden cohesión, desencadenando flujos de barro (Hauser, 2000).

**Tabla 6**  
**Procesos de Meteorización Mecánica y Química.**

	<b>Proceso</b>	<b>Procesos de Meteorización Efectos y productos</b>
<b>Mecánica</b>	Termoclastia	Dilatación y contracción de los minerales de la roca por una amplitud térmica importante, produciendo exfoliación y desmenuzamiento.
	Crioclastia	Tensión en poros y fisuras de la roca por repetido crecimiento y fusión de cristales de hielo. Fragmentación de la roca irregular. Mantos de derrubios.
	Haloclastia	Crecimiento de cristales de sal en fracturas y otras cavidades de la roca. Proceso activo en climas áridos. Disgregación granular.
	Descompresión	Expansión de roca por la desaparición de la presión ejercida por otra roca suprayacente. Domos de exfoliación; Diaclasas.
	Acción de organismos vivos	Penetración de plantas en la roca, labor de cuña. Excavación de galerías internas por animales.
<b>Química</b>	Disolución	El agua disuelve rocas evaporíticas, atacando sus componentes solubles.
	Carbonatación	El agua con contenido de CO <sub>2</sub> actúa en rocas carbonatadas (calizas) transformando minerales insolubles en iones de calcio y bicarbonato.
	Oxidación	Combinación química entre átomos de oxígeno con elementos metálicos (Ca, K, Mg, Fe) para formar óxidos. Bauxitas.
	Hidrólisis	Consisten en la adición de iones H <sup>+</sup> y HO <sup>-</sup> del agua a la roca, rompiendo la estructura mineral. Produce un compuesto y un mineral diferente. Ej. Caolín.
	Hidratación	Incorporación de agua a la estructura molecular de la roca, aumentando el volumen de los minerales.

Fuente: Elaboración propia en base a Aguilera Arilla et al. (1997); Strahler A.N. & Strahler A.H. (2005); Banqueri (2007).

- Geomorfología

El estudio del relieve, de acuerdo a Douglas (1977, como se citó en Gutiérrez, 2008, p.230), “su forma, significado y evolución constituye una de las materias básicas de la geomorfología”. El estudio geomorfológico permite establecer grados de estabilidad del terreno, mediante el análisis del conjunto de condiciones morfogenéticas, una perspectiva cronológica de los tipos de relieve (formas vivas,

heredadas) y el balance morfogenético, donde la estabilidad morfogenética está en función de una mayor pedogénesis y desarrollo de la cobertura vegetal (Tricart & Kilian, 1982). Así mismo, como señalan Rodríguez-García, et al. (2016):

La historia geomorfológica de un territorio, en la medida que influye en el relieve, la litología y la estructura de los materiales, condiciona de forma importante la actuación de los procesos gravitacionales. (...) La presencia de antiguos movimientos en masa puede condicionar la acción de procesos gravitacionales; en este sentido, es frecuente la reactivación de antiguos movimientos o la aparición de nuevos movimientos en áreas inestables (cicatrices, escarpes, etc.), aunque algunos factores condicionantes hayan cambiado (hidrología, vegetación) y favorezcan la estabilidad de las laderas. (p. 153)

#### 7.2.4.2 Factores desencadenantes



- Precipitaciones

“El desencadenamiento de los movimientos de ladera por causas meteorológicas y climáticas está relacionado fundamentalmente con el volumen, intensidad y distribución de las precipitaciones y con el régimen climático” (González de Vallejo et al., 2002, p.632). Las precipitaciones influyen en la variación de las presiones intersticiales, el peso del terreno y en la saturación del suelo y la erosión (González de Vallejo et al., 2002). “De todos los parámetros climáticos, (...) la precipitación, (...) es el principal contribuyente a la rotura de la ladera” (Gutiérrez, 2008, p.256). Mientras que las precipitaciones intensas de horas y días, incluso precipitaciones estacionales, están asociadas a movimientos de laderas superficiales, como deslizamiento y flujos de barro, y a la reactivación de antiguos movimientos; las condiciones climáticas de largo plazo como las variaciones plurianuales (ciclos húmedos y de sequía) están asociadas a movimientos profundos o de gran

magnitud modificando de forma importante los niveles freáticos (González de Vallejo et al., 2002; Rodríguez-García., 2016). De acuerdo con Gonzáles de Vallejo et al. (2002) “El mecanismo principal que contribuye a la inestabilidad es la elevación del nivel freático por la infiltración neta de agua, desempeñando el aumento del peso específico del terreno un papel secundario” (p.635).

En general, en el área de estudio Mardones et al. (2004) ha estimado un umbral de precipitaciones desencadenantes de remociones en masa para lluvias superiores a 100 mm en 24 horas y con efectos catastróficos si la intensidad es superior a los 150 mm /24hrs, estas últimas con un periodo de retorno de 20 años y una probabilidad de ocurrencia anual de un 5 %. Localmente, para desencadenar remociones en masa, se ha estimado en Chiguayante un umbral crítico de lluvia antecedente de 60 mm y un umbral crítico de lluvia torrencial de 3,5 mm/h (Naranjo, Arenas, & Ramírez, 2006), y en Talcahuano un acumulado de precipitaciones entre 149 mm y 242,2 mm en 72 horas (Peña, Tavares, & Mardones, 1993) y, más recientemente, un umbral crítico de lluvias de 26 mm entre 2 a 4 horas (López, 2015).

- Actividad sísmica

“Los terremotos son frecuentemente factores desencadenantes de numerosos movimientos de ladera, dependiendo de las características de los materiales, magnitud del terremoto y distancia al epicentro” (Rodríguez-García et al., 2016, p.152). De acuerdo con Mardones & Rojas (2012) las remociones en masa causadas por sismos se deben al “aumento del esfuerzo cortante, la disminución de la resistencia por el aumento de la presión de poros y a la deformación del suelo asociado a la onda sísmica” (p.58). “En limos y arenas sueltas se puede llegar a la licuefacción, que es un proceso en el que el suelo se satura de agua y se comporta como un fluido” (Gutiérrez, 2008, p.260). También, pueden reactivar antiguos deslizamientos (González de Vallejo et al., 2002).

En el área de estudio, el terremoto del 27 de febrero del año 2010, cuya magnitud fue de 8.8  $M_w$ , desencadenó procesos de remoción en masa de baja densidad y reducido tamaño, que se asoció a los bajos niveles freáticos de la estación seca y a las condiciones topográficas del relieve predominantes inferiores a los 300 msnm (Mardones & Rojas, 2012), en aquel estudio se identificaron 22 eventos de los cuales 15 corresponden a desprendimiento de roca y suelo; 3, deslizamientos de roca; 2, procesos de remoción en masa mixto; 1, desprendimientos de arenas y suelo, y 1, extensión lateral.

- Vulcanismo

La actividad volcánica puede desencadenar remociones en masa a través de procesos como “la deformación del terreno, las explosiones, la actividad sísmica, los procesos piroclásticos, así como la actividad freato-magmática y geotérmica” (Rodríguez-García et al., 2016, p.153). Las explosiones y sismos implican esfuerzos transitorios en un talud que pueden aumentar el esfuerzo de corte (Cruden & Varnes, 1996). El deshielo de nieve en zonas altas, provoca debris flow denominados lahares (Cruden & Varnes, 1996; González de Vallejo et al., 2002; Gutiérrez, 2008; Rodríguez-García et al., 2016).

- Procesos erosivos

La base de una ladera puede ser removida por la erosión (socavación) fluvial, litoral, glaciar y movimientos de ladera, dando lugar a la pérdida de apoyo del material suprayacente, generando inestabilidad (cambios en la distribución de los esfuerzos), deslizamientos o desprendimientos (Cruden & Varnes, 1996; González de Vallejo et al., 2002; Rodríguez-García et al., 2016).

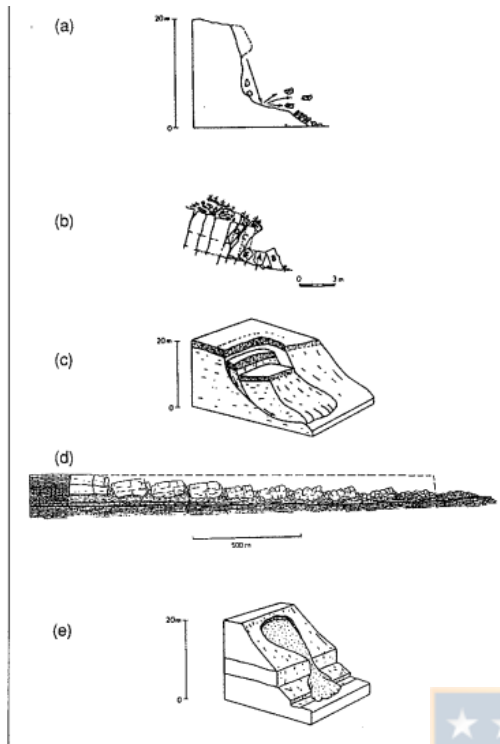
- Acciones antrópicas

Son numerosas las acciones antrópicas que causan movimientos de ladera, alterando el perfil de equilibrio de éstas, induciendo inestabilidades, al modificar la geometría de las laderas, el sistema de drenaje y el comportamiento hidrogeológico (González de Vallejo et al., 2002). La deforestación, los incendios forestales, la modificación de la cobertura vegetal, los cambios de usos de suelo, modifican el balance hídrico y favorecen la erosión; las excavaciones, cortes de taludes, las canteras, pozos y canales, terraplenes, el peso de estructuras como edificios, modifican el estado de esfuerzos y resistencia de los materiales (Cruden & Varnes, 1996; González de Vallejo et al., 2002; Gutiérrez, 2008; Rodríguez-García et al., 2016).

#### **7.2.5 Tipos de remociones en masa**

La clasificación de Varnes (1978), actualizada posteriormente por Cruden & Varnes (1996) utiliza como criterios los mecanismos de propagación (caídas, vuelcos, deslizamiento, extensión lateral y flujos) (Figura 19) y los materiales (roca, tierra y escombros). Estos pueden ser clasificados a continuación por la actividad o estado (activo, reactivado, suspendido, etc.), distribución (avanzando, retrogresivo, etc.) y estilo (complejo, compuesto, múltiple, etc.) y a continuación por la descripción de los movimientos consecutivos señalando la velocidad, el contenido de agua, el material y el tipo. Ejemplo una caída de roca seca seguida de un flujo de escombros (Cruden & Varnes, 1996).

**Figura 19**  
**Tipos de Remociones en Masa.**



Fuente: Cruden & Varnes (1996). (a) Caídas; (b) Vuelcos; (c) Deslizamiento; (d) Extensión lateral; (e) Flujo

- **Caídas**

Una caída implica el movimiento hacia abajo de roca o, más raramente, suelo a través del aire (Summerfield, 2013). El movimiento varía de rápido a extremadamente rápido (Cruden & Varnes, 1996). Los desprendimientos de rocas son más comunes, especialmente en paisajes con acantilados y pendientes rocosas empinadas e imponentes (Huggett, 2017).

- **Vuelcos**

Involucran la rotación hacia adelante fuera de la pendiente de una masa de suelo o roca alrededor de un punto o eje debajo del centro de gravedad de la masa desplazada (Cruden & Varnes, 1996). Ocurre característicamente en macizos



rocosos en forma de losa o columnares fuertemente diaclasados, fracturados o con buzamiento pronunciado, tales como basaltos columnares, pizarras y rocas con diaclasas bien desarrolladas (Huggett, 2017). Varían de extremadamente lentos a extremadamente rápidos, a veces acelerando a lo largo del movimiento (Cruden & Varnes, 1996).

- Deslizamientos

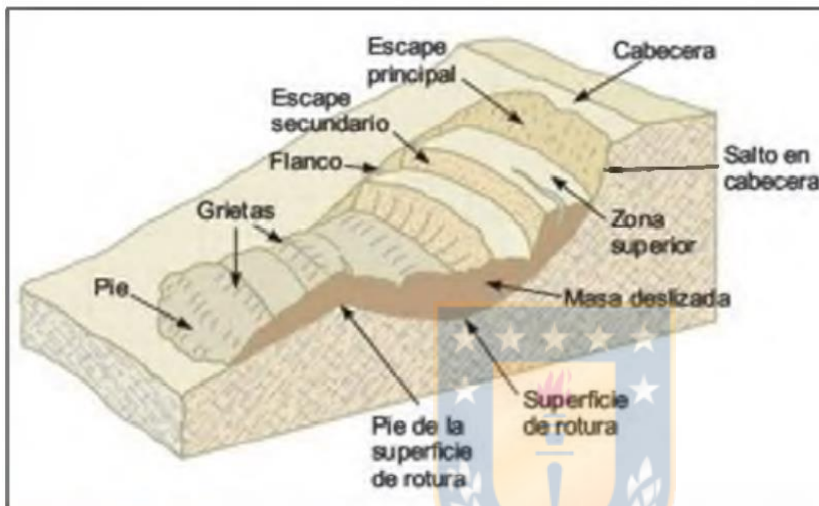
Es un movimiento descendente de una masa de suelo o roca que ocurre a lo largo de un plano de corte (Cruden & Varnes, 1996). Para que se produzca es preciso que exista una superficie de deslizamiento, que facilite la acción de la gravedad. “Ésta procede, a menudo, de la propia estructura del terreno, pudiendo ser el plano inclinado de una falla, un plano de estratificación, etc.” (Aguilera Arilla et al., 1997, p.613); “...la masa generalmente se desplaza en conjunto, comportándose como una unidad en su recorrido; la velocidad puede ser muy variable, pero suelen ser procesos rápidos y alcanzar grandes volúmenes (hasta varios millones de metros cúbicos)” (González de Vallejo et al., 2002, p. 623-625). “Los depósitos de deslizamiento se caracterizan por presentar poca deformación...” (Rodríguez-García et al., 2016, p.161). Los subtipos de deslizamientos son los rotacionales y traslacionales (Huggett, 2017).

- Deslizamientos rotacionales

Ocurren a lo largo de planos de corte cóncavos, normalmente en condiciones de bajo a moderado contenido de agua, y son más comunes en materiales gruesos y uniformes como las arcillas (Huggett, 2017). La cabeza del material desplazado puede moverse casi verticalmente hacia abajo, mientras que la superficie superior de este se inclina hacia atrás, hacia la escarpa (Cruden & Varnes, 1996). “Se pueden reconocer estrías en la superficie de deslizamiento y las grietas expuestas

son concéntricas en planta y cóncavas hacia la dirección de movimiento” (Gutiérrez, 2008, p.239). “La parte inferior de la masa deslizada se acumula al pie de la ladera formando un depósito tipo lóbulo con grietas de tracción transversales. Dependiendo del tipo de suelos y del contenido en agua, se pueden generar flujos” (González de Vallejo et al., 2002, p.625) (Figura 20).

**Figura 20**  
**Esquema de un Deslizamiento Rotacional.**



Fuente: González de Vallejo et al. (2002).

- Deslizamientos traslacionales

Ocurren a lo largo de superficies de corte plano e incluyen deslizamientos de bloques de roca y de suelo (Huggett, 2017). A menudo siguen discontinuidades tales como fallas, diaclasas o el contacto entre la roca y los suelos residuales o transportados (Cruden & Varnes, 1996). Suelen ser menos profundos que los deslizamientos rotacionales, sin embargo, suelen ser extensos y alcanzar grandes distancias (González de Vallejo et al., 2002). Mientras que en los deslizamientos rotacionales se tiende a restablecer el equilibrio de la masa desplazada, en el traslacional el desplazamiento puede continuar sin control si la superficie de separación está lo suficientemente inclinada (Cruden & Varnes, 1996).

- Extensión lateral

Ocurren cuando una roca cohesiva o una masa de suelo se licúa debido a la saturación o saturación parcial (Huggett, 2017). Este movimiento se refiere “al movimiento de bloques rocosos o masa de suelo muy coherente y cementado sobre un material blando y deformable” (González de Vallejo et al., 2002, p.629) y se generan por:

la extrusión de los materiales poco competentes de abajo debido al peso de los materiales suprayacentes. Esta extrusión provoca el desplazamiento de los materiales suprayacentes y, a su vez, su fracturación en grandes bloques entre los cuales puede penetrar los materiales poco competentes. (Rodríguez-García et al., 2016, p.163)

Se dan en pendientes suaves y pueden ser extensos (González de Vallejo et al., 2002). Los materiales cohesivos también pueden hundirse, trasladarse, rotar, desintegrarse o licuarse y fluir (Cruden & Varnes, 1996), por lo que las zonas afectadas toman un aspecto caótico (González de Vallejo et al., 2002) (Figura 19(d)). Uno de los principales desencadenantes son los terremotos (Huggett, 2017).

- Flujos

“Son movimientos de velocidad variable que afectan a materiales con poca cohesión (arcillas, rocas muy meteorizadas, etc.) y que suelen tener un alto contenido en agua, comportándose como un fluido viscoso” (Rodríguez-García et al., 2016, p.163). Los materiales transportados que pueden ser suelo, derrubios o bloques rocosos, sufren una deformación continua, sin presentar superficies de rotura definidas (González de Vallejo et al., 2002). Los flujos pueden ser clasificados de acuerdo a los materiales, la velocidad, contenido de agua y otras características como la pendiente (Hungry, Leroueil, & Picarelli, 2013) (Tabla 7).

**Tabla 7**  
**Tipos de Flujos y Características.**

Flujos			
Materiales	Velocidad	Contenido De Agua	Otras Características
Roca/hielo	extremadamente rápidos	flujo friccional de roca seca.	Masivo. Se denomina sturzstrom. Avalanchas. Ej. En el Huascarán, terremoto de 1970.
Arena, limo, grava, escombros	lento a rápido	flujo seco, húmedo o subacúoso.	En pendientes suaves.
Arena, limo, escombros	muy rápido a muy rápido	materia granular saturada clasificada o sin clasificar	En pendientes suaves. Ocurre por saturación de poros o licuefacción a partir de un deslizamiento
Arcillas sensibles	muy rápido a extremadamente rápido	saturado	Arcillas inestables. Ocurre a partir de un deslizamiento, hay cambio de fase de los materiales de líquido a sólido
escombros (debris flow)	rápido a muy rápido	escombros saturados.	En canal empinado. La fuente puede ser de origen volcánico (lahar)
Lodo	muy rápido a extremadamente rápido	suelo plástico saturado	En canal empinado
Tierra	rápido o lento	consistencia cercana al límite plástico.	suelos arcillosos En pendientes < 12°. Longitudes variables (decenas de metros a km)
Turba/ material orgánico	Rápido	turba licuada	en pendientes > 30°

Fuente: Hungr et al. (2013).

- Deformación de pendientes (Reptación y Soliflucción)

Hungr et al. (2013) proponen clasificar la reptación y soliflucción como deformaciones de pendiente en el sistema de clasificación de tipos de deslizamientos de Varnes. Estas, de acuerdo a los autores, involucran tasas de movimiento lentas y muchas veces inconmensurables.

La reptación es un descenso progresivo del suelo y la regolita por la pendiente (Strahler, A.N. & Strahler, A.H., 2005). “Consiste en un desplazamiento y redistribución de las partículas por la acción de la gravedad” (Aguilera Arilla et al., 1997, p.610). Es un movimiento extremadamente lento difícil de detectar, pero se puede apreciar en la deformación de los troncos de los árboles, la inclinación de

los postes, etc. hacia la vertiente (Strahler, A.N. & Strahler, A.H., 2005). Se trata de un proceso generalizado, pero más eficaz en ciertos medios como por ejemplo donde existen mantos de derrubios de pequeño calibre o donde los fenómenos de gelifracción son importantes (Aguilera Arilla et al., 1997). Las causas asociadas a la reptación son el calentamiento y enfriamiento del suelo, la alternancia de secado y humectación de este, el crecimiento de agujas de hielo, pisadas de animales y las ondas de los sismos (Strahler, A.N. & Strahler, A.H., 2005).

La soliflucción se caracteriza por ser un movimiento muy lento, superficial e intenso (Hungry et al., 2013) que afecta a los taludes con pequeños flujos de lodo o escombros finos, o bien rompiendo el talud en pequeñas terrazas (Viers, 1967). En este proceso el agua es un factor esencial, por lo que es característico en áreas de montaña húmeda y latitudes altas en ambientes donde la vegetación es escasa y los ciclos de hielo y deshielo son importantes (Aguilera Arilla et al., 1997).

#### **7.2.5.1 Estado de actividad de los PRM**

De acuerdo con Varnes (1996) Las remociones en masa se pueden clasificar de acuerdo a su estado de actividad en movimientos activos, suspendidos, inactivos y antiguos. Los primeros, son aquellos que actualmente están en movimiento, estos pueden ser activados por primera vez o reactivados. Los suspendidos se refieren a aquellos que no están en movimiento en la actualidad, pero que lo han hecho dentro de un ciclo anual. Los Inactivos son aquellos que llevan más de un año sin moverse, éstos pueden ser latentes, cuando las causas aparentes del movimiento permanecen; abandonados, cuando las causas aparentes que generan el movimiento no permanecen, y estabilizados, cuando el talud ha sido protegido con obras artificiales. Los procesos de remoción en masa antiguos o fósiles se denominan enterrados cuando están cubiertos por otro depósito y relictos cuando han ocurridos bajo condiciones geomorfológicas diferentes a las actuales.

### 7.2.6 Enfoques metodológicos de remociones en masa

Soeters & Van Westen (1996) señalan que los estudios de riesgo de movimientos de ladera se desarrollan en la ingeniería desde la década de 1960, mediante estudios de sitio y modelos probabilísticos para estructuras y prevención de fallas en taludes. Sin embargo, la heterogeneidad del entorno natural a escala regional y la gran variabilidad en las propiedades geotécnicas contrastan fuertemente con la homogeneidad requerida por los modelos deterministas. Este contraste sumado a las costosas y lentas técnicas de investigación, hacen que el enfoque de ingeniería no resulte adecuado para abordar grandes áreas. De manera que para resolver estas limitaciones en las últimas décadas se han desarrollado varias técnicas de análisis de riesgo de remoción en masa, tales como, inventarios, análisis heurístico y estadístico (Tabla 8).



**Tabla 8**  
**Análisis y Técnicas en Relación a Escalas de Mapeo.**

Tipo de análisis	Técnica	Características	Escalas de uso recomendado		
			Regional (1:100.000)	Media (1:25.000)	Grande (1:10.000)
<b>Inventario</b>	Análisis de distribución de RM (remociones en masa)	Análisis de distribución y clasificación de RM	Sí	Sí	Sí
	Análisis de actividad de RM	Análisis temporal de cambios de patrones de RM	No	Sí	Sí
	Análisis de densidad de RM	Cálculo de densidad de RM en una unidad de terreno o mapa de isopletas	Sí	No	No
<b>Análisis heurístico</b>	Análisis geomorfológico	Uso de opinión de expertos de campo en zonificación	Sí	Sí	Sí
	Combinación de mapas cualitativos	Usa valores de peso basado en expertos de mapas de parámetros	Sí	Sí	No
<b>Análisis estadístico</b>	Análisis estadístico bivariado	Cálculo de la importancia de la combinación de factores condicionantes	No	Sí	No
	Análisis estadístico multivariado	Cálculo de la fórmula de predicción a partir de la matriz de datos	No	Sí	No
<b>Análisis determinístico</b>	Análisis del factor de seguridad	Aplica modelos hidrológicos y de estabilidad de taludes	No	No	Sí

Fuente: Modificado de Soeters & Van Westen (1996).

## **7.2.6.1 Tipos de análisis y técnicas**

### **7.2.6.1.1 Inventario**

Este método implica la fotointerpretación de imágenes aéreas, estudio en terreno y una base de datos de ocurrencia histórica de remociones en masa (Soeters & Van Westen, 1996). El inventario es considerado esencial para evaluar la zonificación de la susceptibilidad y mitigar el riesgo de remociones en masa (Legorreta et al., 2014; Samia et al., 2020; Gao, Zhang, Chen, Fei, & Hong, 2021; Luo et al., 2022). El producto final proporciona la distribución espacial de los movimientos en masa, que pueden representarse en un mapa como áreas afectadas a escala o como símbolos de puntos (Wieczorek 1984, como se citó en Soeters & Van Westen, 1996). Además de permitir un análisis de distribución, permite hacer análisis de actividad y de densidad (Soeters & Van Westen, 1996). Los inventarios permiten análisis básicos de susceptibilidad (Hervás & Bobrowsky, 2009). La susceptibilidad se puede obtener a partir de la división del área ocupada por un deslizamiento dentro de una unidad de mapeo por la superficie de la unidad (Hervás & Bobrowsky, 2009).

### **7.2.6.1.2 Enfoque heurístico**

En los métodos heurísticos, se utiliza la opinión experta del geomorfólogo que realiza el levantamiento para clasificar el peligro (Soeters & Van Westen, 1996) con ayuda de fotografía aérea y/o análisis e interpretación de imágenes satelitales (Hervás & Bobrowsky, 2009). Estos métodos combinan el mapeo de movimientos en masa y su configuración geomorfológica como el principal factor de entrada para la determinación de peligros (Soeters & Van Westen, 1996). Se considera subjetivo



y los resultados son difíciles de comparar con los de otro experto en la misma o en otra área (Barredo et al., 2000, como se citó en Hervás & Bobrowsky, 2009).

Se pueden distinguir dos tipos de análisis heurístico: el análisis geomórfico y la combinación de mapas cualitativos (Soeters & Van Westen, 1996).

#### **7.2.6.1.2.1 Análisis geomorfológico**

El método geomorfológico también se conoce como el método de mapeo directo (Guzzetti, Carrara, Cardinali, & Reichenbach, 1999; Hervás & Bobrowsky, 2009). El peligro es determinado directamente por el geomorfólogo. El proceso se basa en la experiencia individual y el uso del razonamiento por analogía. Por lo tanto, las reglas de decisión son difíciles de formular porque varían de un lugar a otro (Soeters & Van Westen, 1996).



#### **7.2.6.1.2.2 Combinación de mapas cualitativos**

El peso de los factores evaluados se basa en valores de ponderación realizados por otro experto. Las condiciones del terreno en una gran cantidad de ubicaciones se suman de acuerdo con estos pesos, lo que genera valores que se pueden agrupar en clases de peligro (Soeters & Van Westen, 1996).

#### **7.2.6.1.3 Enfoque estadístico**

En este enfoque las combinaciones de factores que han llevado a deslizamientos de tierra en el pasado se determinan estadísticamente y se hacen predicciones cuantitativas para áreas actualmente libres de deslizamientos de tierra, pero donde existen condiciones similares (Soeters & Van Westen, 1996). Permiten correlacionar

cuantitativamente los factores geoambientales que puedan influir o causar inestabilidad de taludes con la distribución de deslizamientos de tierra pasados y actuales, según lo revelado por el inventario de movimientos de ladera (Hervás & Bobrowsky, 2009). Se distinguen dos tipos de análisis estadísticos: bivariado y multivariado (Soeters & Van Westen, 1996; Hervás & Bobrowsky, 2009).

#### **7.2.6.1.3.1 Análisis estadístico bivariado**

En el análisis estadístico bivariado, cada mapa de factores (por ejemplo, pendiente, geología, uso del suelo) se combina con el mapa de distribución de deslizamientos y se calculan los valores de ponderación basados en las densidades de deslizamientos para cada clase de parámetro (por ejemplo, clase de pendiente, unidad litológica, tipo de uso) (Soeters & Van Westen, 1996). En Hervás & Bobrowsky (2009) se identifican 3 métodos Information value; Matrix- Assessment Approach, y Weights of Evidence. Además de los mencionados, para el análisis de susceptibilidad se usa ampliamente Frequency ratio (Silalahi et al., 2019; Khan et al., 2019; Kumar et al., 2019; Berhane et al., 2020).

#### **7.2.6.1.3.2 Análisis estadístico multivariado**

Estos modelos permiten determinar la contribución relativa de cada factor de inestabilidad de la ladera a la susceptibilidad total de una unidad cartográfica (Hervás & Bobrowsky, 2009). Los métodos de análisis multivariado incluyen, entre otros, análisis discriminante y logística, análisis de regresión múltiple y redes neuronales artificiales (Hervás & Bobrowsky, 2009). Se necesitan grandes conjuntos de datos para obtener suficientes casos para producir resultados confiables (Soeters & Van Westen, 1996).

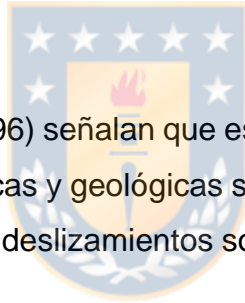
#### **7.2.6.1.4 Enfoque determinístico**

También llamados modelos geotécnicos, se basan en leyes físicas que influyen en la inestabilidad de las pendientes, principalmente en modelos de estabilidad de taludes (Hervás & Bobrowsky, 2009), lo que permite el cálculo de valores cuantitativos de estabilidad (factores de seguridad) (Soeters & Van Westen, 1996).

De acuerdo a González de Vallejo et al. (2002):

Las investigaciones in situ para taludes tienen como objetivo reconocer geológica y geotectónicamente el terreno afectado por la excavación con los fines de obtener los parámetros necesarios para analizar su estabilidad, diseñar los taludes, excavar los materiales, calcular las medidas de estabilización y proyectar obras de drenaje, entre otros. (p. 431-432)

Soeters & Van Westen (1996) señalan que este método es aplicable solo cuando las condiciones geomorfológicas y geológicas son bastante homogéneas en toda el área de estudio y los tipos de deslizamientos son simples.



### **7.3 Geomorfología aplicada al riesgo**

#### **7.3.1 Geomorfología**

“La palabra Geomorfología procede del griego geo (tierra), morphe (forma) y logos (discurso) (Aguilera Arilla et al., 1997, p.415)”. La geomorfología es, por lo tanto, un discurso sobre las formas de la Tierra (Huggett, 2017). Su objeto de estudio es la forma del relieve terrestre y su explicación (Tricart & Kilian, 1982), “incluyendo su historia y los procesos de su origen” (Strahler A.N. & Strahler A.H., 2005, P.249). La forma de la superficie terrestre resulta de la interacción de fuerzas

internas y externas<sup>2</sup> (Muñoz, 1995; Aguilera et al., 1997; Gutiérrez, 2008; Huggett, 2017), las primeras derivan de procesos geológicos, son las "creadoras de grandes elevaciones y depresiones" (Gutiérrez, 2008, p.2) y las segundas se originan cerca o en la superficie de la Tierra y en la atmósfera (Huggett, 2017), y son "...desencadenantes de una continua denudación que tiende a rebajar el relieve..." (Gutiérrez, 2008, p.2).

La palabra Geomorfología se acuñó en las últimas décadas del S.XIX (Huggett, 2017). Antes de ser un campo disciplinar diferenciado, el estudio de las formas de la superficie terrestre fue abordado por fisiógrafos, topógrafos, ingenieros, naturalistas, geógrafos y geólogos (Tricart & Kilian, 1982; Muñoz, 1995; Huggett, 2017). El desarrollo de la geomorfología ocurre paralelamente al desarrollo de los paradigmas dominantes en la Geografía Física: el Mecanicismo con exponentes como James Hutton (1726-1797), Charles Lyell (1830-1875) y Alfred Lothar Wegener (1880-1930); el Darwinismo, a su vez con William Morris Davis - El ciclo de erosión de Davis (1899); el Paradigma Sistémico con Chorley y Kennedy (1971), Strahler (1980) (Oliveira, Neves, & Marques Neto, 2021), y el enfoque corológico con F. von Richthofen, W. Penck y Passarge (fines del S.XIX y principios del S.XX) (Muñoz, 1995; Tricart & Kilian, 1982; Martínez, Jaque, & Fernández, 2008).

Desde las décadas de 1960 y 1970, los geomorfólogos han tendido a dirigir los estudios de procesos hacia la construcción de modelos para predecir cambios a corto plazo en los accidentes geográficos, es decir, los cambios que ocurren en las escalas de tiempo humanas, por ejemplo, en la estabilidad de taludes (Huggett, 2017). "Con el advenimiento de la Geomorfología de procesos en la década de 1950, comienza un nuevo enfoque en el que se establece una unión más íntima con los aspectos prácticos de la Geomorfología" (Gutiérrez, 2008, p.16).

---

<sup>2</sup> Huggett (2017, p.4) incluye procesos extraterrestres como por ejemplo el impacto de asteroides en la superficie terrestre.

### **7.3.2 Geomorfología aplicada**

La geomorfología aplicada aborda la aplicación del conocimiento geomorfológico, las tecnologías y técnicas de mapeo a los problemas de la sociedad como la gestión ambiental, de recursos, planificación, el impacto de proyectos de desarrollo y la predicción de peligros naturales (Huggett, 2017). Se habla de geomorfología aplicada, por ejemplo: “Cuando intentamos darle un rol preventivo a los estudios geomorfológicos respecto de evitar, reducir o mitigar, las catástrofes asociadas a la ocurrencia de procesos naturales de gran magnitud y violencia, sea en escenarios potenciales o reales” (Ferrando, 2005, p.70). La geomorfología aplicada busca responder a los problemas derivados del crecimiento incesante de la población humana y del desarrollo continuo de la superficie de la Tierra (Huggett, 2017). “En etapas anteriores se había utilizado una escala cronológica de carácter geológico para explicar la evolución del relieve; La geomorfología aplicada requiere otra escala, más humana, de tiempo” (Echeverría, 1997, p.150). En Echeverría (1997) se identifican 5 aplicaciones de la Geomorfología: estudios de riesgos ambientales; conservación y uso de suelo; reconstrucciones paleoambientales de tipo geoarqueológico; neotectónica e inventarios de recursos naturales.

### **7.3.3 El mapa geomorfológico**

“El mapa geomorfológico es un documento básico para comprender el relieve, pero también puede constituir el punto de partida para la realización de trabajo con fines aplicados” (Echeverría, 1997, p.145). Representa “los procesos morfogenéticos y el material en el que actúan” (Tricart, 1979, p.417). De acuerdo con Herrero (1988) “puede definirse como un mapa temático, que proporciona un inventario explicativo del relieve, debidamente especializado” (p.25). En una definición más completa se señala que:

El mapa geomorfológico es uno de los mapas temáticos que representan de modo analítico las formas de erosión y acumulación de la superficie terrestre; representan los caracteres morfológicos y morfométricos, interpretando su origen, en función de los procesos pasados o presentes que lo han generado, estableciendo la secuencia cronológica, distinguiendo entre aquellas formas todavía en evolución, y aquellas inactivas. (Echeverría, 1997, p.151)

Estos se realizan mediante observaciones directas en terreno, documentación básica como el mapa geológico y topográfico, y la utilización de fotografías aéreas y teledetección (Peña et al., 1997). Un proyecto cartográfico, “ha de realizarse dentro del marco de unas normas generales, que definan previamente los contenidos del mapa y desarrollen los signos y elementos cartográficos necesarios para su percepción gráfica” (Herrero, 1988, p.25). De acuerdo con Peña J. L. (1997) su elaboración requiere de un planteamiento metodológico previo que considere 1. el tipo de mapa, mapa de información básica, mapa aplicado o mapa especial; 2. La determinación de la escala, de acuerdo a las características de los datos que se van a representar y el nivel de aplicación deseado (Tabla 9); 3. El reconocimiento de información básica cartográfica o documental sobre la región a cartografiar; analizar diferentes sistemas de cartografía geomorfológica existentes en el mundo y decidir el más adecuado, y 5. Decidir la leyenda a utilizar. Tricart & Kilian (1982) distinguen 2 casos como justificaciones principales para la elaboración de un mapa geomorfológico: 1. Para la conservación de tierras y aguas, y 2. Para la protección contra determinados fenómenos naturales (mapas de escala 1:10.000, incluso 1:2.500).

**Tabla 9**  
**Denominación de Mapas de Acuerdo a la Escala**

<b>GRAN ESCALA</b>	Planos geomorfológicos	1:10.000 y mayores
	Mapas geomorfológicos básicos	1:10.000/1:25.000
	Mapas geomorfológicos detallados	1:25.000/1:100.000
<b>ESCALA MEDIA</b>	Mapas geomorfológicos sinópticos de escala media	1:100.000/ 1:500.000
	Mapas geomorfológicos sinópticos de pequeña escala	1:500.000/1:1.000.000
<b>PEQUEÑA ESCALA</b>	Mapas geomorfológicos de países	1:1.000.000/1:5.000.000
	Mapas geomorfológicos de continentes	1:5.000.000/ 1:30.000.000
	Mapas geomorfológicos del mundo	1:30.000.000 y menores

Fuente: Modificado de Peña J. L. (1997).



## 8 CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES

El cronograma comprende 4 meses (16 semanas), desde agosto a diciembre, y 5 actividades principales: 1. Desarrollo del inventario; 2. Actualización de cartografía geomorfológica; 3. Evaluación de susceptibilidad; 4. Comparación y validación del modelo de susceptibilidad, y 5. Redacción de tesis.

A su vez se dividen en subactividades:

1. El desarrollo del inventario abarca 3 meses (12 semanas) y comprende actividades como la sistematización de la información recabada en prensa (2 semanas), revisión de fotografías aéreas e imágenes satelitales (6 semanas), planificación del trabajo de campo (3 semanas), trabajo de terreno y laboratorio (4 semanas), y preparación de cartografía final (2 semanas).
2. La actualización de la cartografía geomorfológica es en paralelo a la actividad anterior, comprende las actividades de organización cartográfica geomorfológica (2 semanas), análisis de fotografía aéreas e imágenes satelitales (6 semanas), complemento de información cartográfica (6 semanas), planificación de terreno (3 semanas), trabajo en terreno y laboratorio (4 semanas), y preparación de cartografía final (2 semanas).
3. La evaluación de susceptibilidad comprende 4 semanas.
4. La comparación y validación del modelo comprende 2 semanas
5. La redacción de la tesis comprende (resultados, discusión, conclusión y otros) todo el mes de noviembre (4 semanas).

Hay varias actividades que ocurren de manera paralela, el detalle de esto se presenta en el Cronograma de actividades (Tabla 10).



**Tabla 10**  
**Cronograma de Actividades**

Actividades		Meses (semanas)				
		AGOSTO	SEPT	OCT	NOV	DIC
DESARROLLO DEL INVENTARIO	Sistematización de información recopilada en prensa	■				
	Revisión de fotografías aéreas e imágenes satelitales		■	■		
	Planificación de terreno		■			
	Trabajo en terreno y laboratorio			■	■	
	Preparación de cartografía final				■	
ACTUALIZACIÓN DE CARTOGRAFÍA	Organización de información cartográfica geomorfológica	■				
	Revisión de fotografías aéreas e imágenes satelitales		■	■		
	Completar mapas con información necesaria		■			
	Planificación de terreno		■			
	Trabajo en terreno y laboratorio			■	■	
	Preparación de cartografía final				■	
EVALUACIÓN DE SUSCEPTIBILIDAD	Preparación de mapas de factores	■				
	Preparación de cartografía final			■		
COMPARACIÓN Y VALIDACIÓN DEL MODELO	Análisis de resultados			■	■	
REDACCIÓN DE TESIS	Resultados				■	
	Discusión				■	
	Conclusiones				■	
	Otros				■	■

Fuente: Elaboración propia.

## 9 RESULTADOS

### 9.1 Inventario de remociones en masa en base a prensa (1990-2020).

En total los reportes de remociones en masa fueron 108 (Figura 7), las RM afectaron al menos 283 personas, 158 familias, 202 viviendas y dejaron un saldo de víctimas fatales de 18 personas. De los 108 reportes, 100 fueron desencadenados por precipitaciones, 0 por sismos y 8 por la acción antrópica directa u otra causa desconocida (Tabla 11).

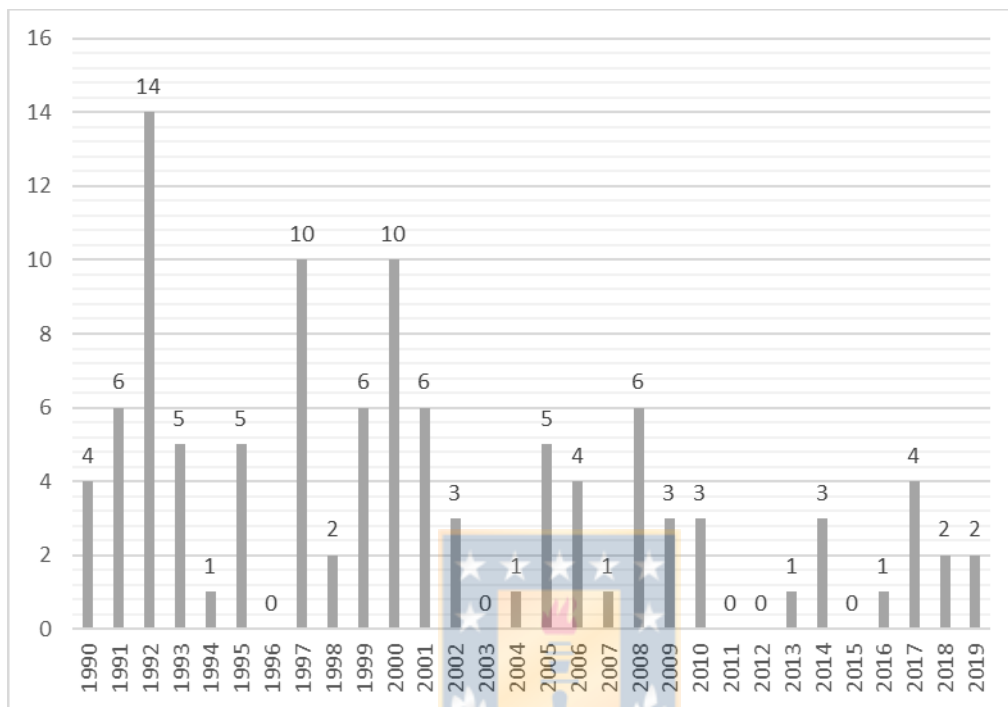
**Tabla 11**  
**Resumen de Reportes de por RM 1990-2020.**

Reportes totales (1990-2020)	Afectaciones y Daños				Factor detonante				Tipo de RM			
	PS	FS	VS	VF	PP	S	O	C	D	F	EL	V
<b>108</b>	283	158	202	18	100	0	8	1	74	31	1	1

Fuente: Elaboración propia en base a reportes del Diario El Sur. PS. Personas; FS. Familias; VS. Viviendas; VF. Víctimas fatales; PP. Precipitaciones; S. Sismos; O. Otros; C. Caídas de roca; D. Deslizamientos de tierra y/o Roca; EL. Extensiones laterales; V. Vuelcos.

Los años con más reportes fueron el año 1992, 1997 y 2000 (Figura 21), mientras que los años con víctimas fatales fueron 1991, 1997, 2005 y 2006, estas últimas causadas por deslizamientos desencadenados por precipitaciones (Tabla 12).

**Figura 21**  
**Cantidad de Reportes de RM 1990-2020.**



Fuente: Elaboración propia en base al Diario El Sur. Reportes en las comunas de Concepción, Talcahuano, Chiguayante y Hualpén.

**Tabla 12**  
**Reportes de RM con Víctimas Fatales.**

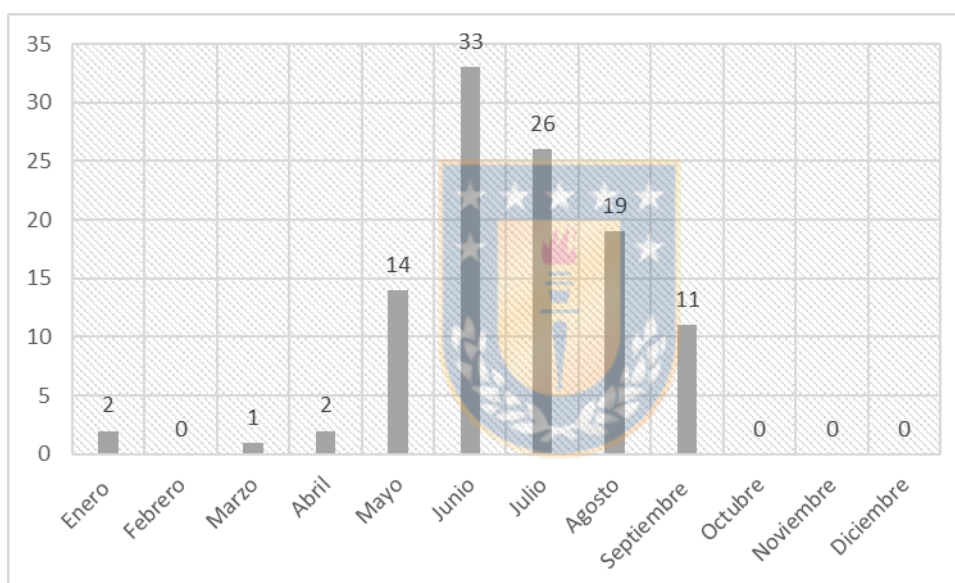
Año	Víctimas Fatales	Sector	Comuna	Fecha	Intensidad de Precipitaciones	Precipitación Antecedente	Tipo de RM
1991	2	Co. Zaror	Talcahuano	19 de junio	19,2 mm/24 hrs	<b>58,9 mm/72 hrs</b>	Deslizamiento de suelo y roca
1997	1	Co. La Pólvora	Concepción	30 de julio	7,7 mm/24 hrs	<b>108,9 mm/72 hrs</b>	Deslizamiento de tierra
2005	3	Co. La Pólvora	Concepción	26 de junio	162,4/24 hrs		Deslizamiento de suelo y roca
	1	Villa Ensenada	Talcahuano				Deslizamiento de tierra
	1	Pob. Papen	Chiguayante				Deslizamiento de tierra
2006	10	Valle la Piedra	Chiguayante	11 de julio	58 mm/24hrs	<b>136 mm/ 72 hrs</b>	Deslizamiento de tierra

Fuente: Elaboración propia en base al Diario el Sur.



Los meses con más cantidad de reportes fueron mayo, junio, julio, agosto y septiembre, coincidiendo con la estación húmeda (Figura 22). A partir de la cantidad de reportes por año se evaluó el coeficiente de correlación con el total de precipitación anual y, luego, con las precipitaciones máximas obtenidas en 24 horas en cada año (Tabla 13), mostrando una correlación positiva considerable ( $r=0,79$ ) y una correlación positiva media ( $r=0,63$ ), respectivamente (Figura 23). En ambos casos, el coeficiente de determinación ( $R^2$ ) indica que la cantidad de reportes es explicada en más de un 70 % por las precipitaciones.

**Figura 22**  
**Cantidad de Reportes de RM 1990-2020 por Mes.**



Fuente: Elaboración propia en base al Diario El Sur. Reportes en las comunas de Concepción, Talcahuano, Chiguayante y Hualpén.

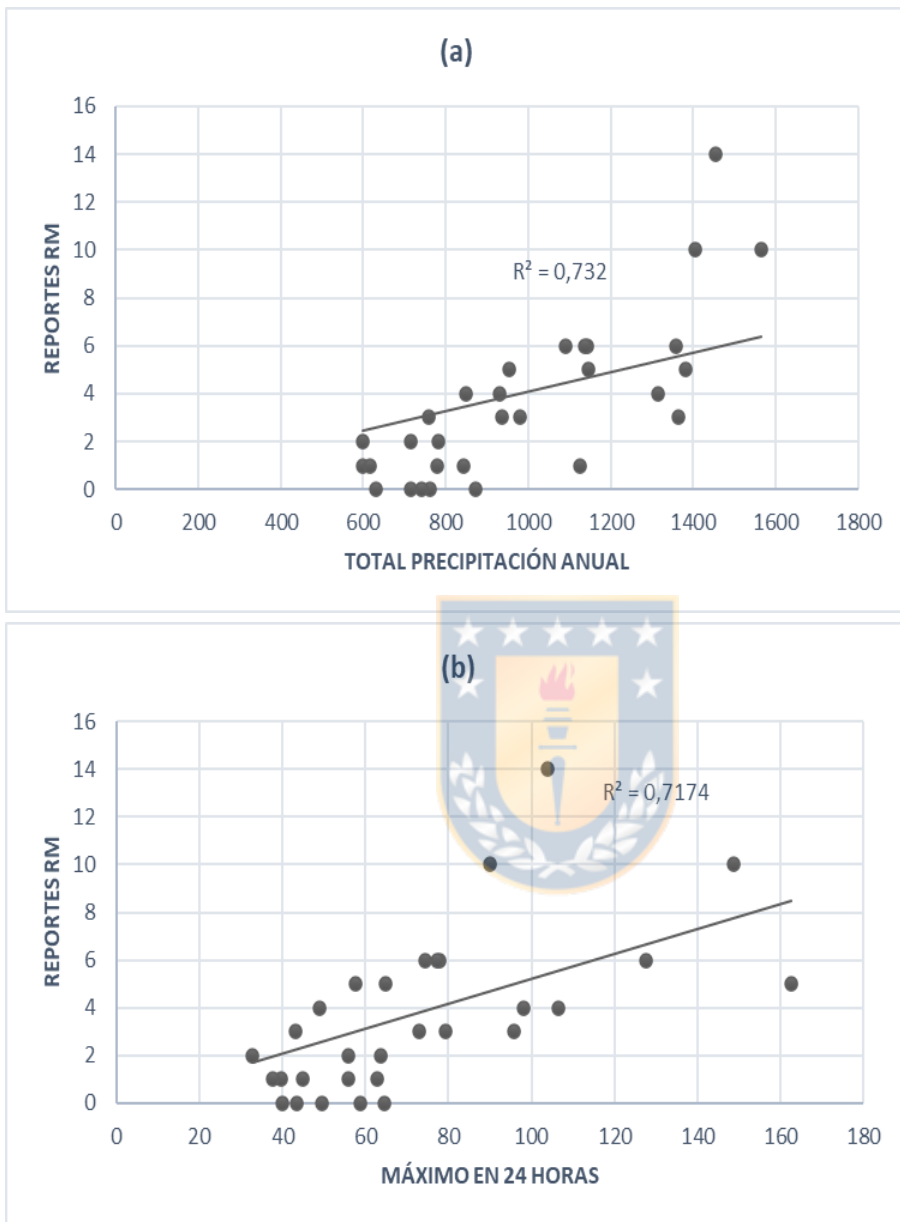
En cuanto a la cantidad de reportes por comuna, Concepción es la comuna con más reportes de RM con 52, seguido de Talcahuano, Chiguayante y, finalmente, Hualpén (Tabla 14). Por último, entre los sectores con más reportes de remociones en masa en el área de estudio destaca el Cerro La Pólvora con 12 RM (9 deslizamientos y 3 flujos), de los cuales 11 fueron desencadenados por precipitaciones y 1 por la acción antrópica (Tabla 15).

**Tabla 13**  
**Datos de Precipitaciones y Cantidad de Reportes de RM.**

Año	Máximo 24 hrs.	Fecha	Total Anual	Reportes
1990	98	28-03-1992	848	4
1991	77,8	24-12-1991	1142,4	6
1992	104	03-05-1992	1454,9	14
1993	57,6	18-07-1993	1146,2	5
1994	62,8	17-09-1994	844,3	1
1995	64,7	04-07-1995	952,9	5
1996	64,6	23-08-1996	630,8	0
1997	148,7	22-04-1997	1565	10
1998	32,8	04-06-1998	598,6	2
1999	77,4	18-08-1999	1091,2	6
2000	90,1	05-08-2000	1406,4	10
2001	74,4	28-08-2001	1358,6	6
2002	95,8	23-08-2002	1363,2	3
2003	58,7	16-11-2003	871,7	0
2004	56	12-07-2004	1126,9	1
2005	162,4	26-06-2005	1382,9	5
2006	106,6	10-07-2006	1315,5	4
2007	39,8	16-07-2007	779,4	1
2008	127,6	18-05-2008	1137	6
2009	72,8	17-06-2009	935,2	3
2010	43,2	06-07-2010	760,2	3
2011	40	21-04-2011	762,4	0
2012	49,4	11-06-2012	742,4	0
2013	37,6	02-05-2013	599,8	1
2014	79,2	27-07-2014	980,8	3
2015	43,4	04-06-2015	715,4	0
2016	44,8	23-07-2016	616	1
2017	49	29-09-2017	929,8	4
2018	63,6	28-05-2018	781,3	2
2019	56	27-06-2019	715,6	2

Fuente: Elaboración propia en base a reportes del Diario El Sur y datos de la Estación Carriel Sur.

**Figura 23**  
**Gráficos de Dispersión entre Precipitaciones y Reportes de RM.**



Fuente: Elaboración propia en base a reportes del Diario El Sur y datos de la Estación Carriel Sur. (a) Correlación entre precipitación anual y cantidad de reportes y (b) Correlación entre máximo de precipitaciones en 24 horas y cantidad de reportes.

**Tabla 14**  
**Reportes de RM por Comuna y Tipo.**

Comuna	Cantidad	Tipo de RM					Factor detonante		
		Caídas de Roca	Deslizamiento	Flujo	Extensión Lateral	Vuelco	Precipitaciones	Sismo	Otro
Concepción	52	1	33	18	0	0	49	0	3
Talcahuano	28	0	24	3	1	0	24	0	4
Hualpén	1	0	0	0	0	1	0	0	1
Chiguayante	27	0	17	10	0	0	27	0	0
<b>Total</b>	108	1	74	31	1	1	100	0	8

Fuente: Elaboración propia en base a reportes del Diario El Sur.





**Tabla 15**  
**Sectores con 4 o más Reportes en 30 Años.**

Sector	Comuna	Cantidad	Tipo de PRM			Factor Desencadenante		
			Caída de Roca	Deslizamiento	Flujo	Precipitaciones	Sismo	Otro
Agüita de la Perdiz	Concepción	5		5		5		
Tumbes	Talcahuano	5		5		5		
Cerro Cornou	Talcahuano	5		5		3		2
Cerro David Fuentes	Talcahuano	4		4		4		
Cerro La Pólvora	Concepción	<b>12</b>		9	3	11		1
Cerro Zaror	Talcahuano	4		4		4		
Lonco Parque	Chiguayante	4		3	1	4		
Los Lirios	Concepción	4		1	3	4		
Nonguén	Concepción	4		2	2	4		
Palomares	Concepción	6		4	2	6		
Pedro de Valdivia	Concepción	4		1	3	4		
Villuco	Chiguayante	4		3	1	4		

Fuente: Elaboración propia en base a reportes del Diario El Sur.

## 9.2 Zonificación de la susceptibilidad de RM

### 9.2.1 Resultados del método Frequency Ratio (FR).

El valor de FR muestra el peso individual de una clase de un factor (Thongley & Vansarochana, 2021). Como ya se mencionó en la metodología, un valor FR superior a 1 demuestra una alta correlación entre la ocurrencia de un PRM y la clase de un factor.

De acuerdo a los valores FR de cada clase de los 7 parámetros evaluados (Tabla 16) se observa que las altitudes entre 10 y 100 msnm muestran una alta correlación con la ocurrencia de PRM, destacando los rangos que están entre los 20 y 60 msnm. Por ejemplo, entre los 30 y 40 msnm se obtuvo un FR de 6.29 y entre los 40 y 50 msnm un FR igual a 8. De manera que en el área de estudio el terreno es más estable sobre los 100 msnm. La distancia al drenaje muestra que las superficies a una distancia superior a los 50 metros e inferior a los 200 metros son más propensas a PRM. Los valores de los rangos 50 - 100 m, 100 - 150 m, y 150 - 200 m con valores FR 1.07, 1.12, 1.67, muestran que el FR aumenta con la distancia al drenaje, pero luego de los 200 metros el FR decrece a 0.99, valor que, de todas maneras, se puede interpretar como una alta correlación. Sí bien el FR arroja un valor uniforme a lo largo de toda la distancia al drenaje evaluada, solo un 24 % de la superficie del área de estudio está a más de 200 metros de las redes de drenaje y, el 76 % de las RM ocurrieron por debajo de este rango, incluso el 68 % de estas ocurrió por debajo de los 150 metros. En la pendiente, el FR es directamente proporcional al valor de esta, de manera que, a partir de los 20°, existe una alta correlación. De los rangos 40 - 50° y valores de pendiente superiores a los 50° se obtuvo un FR de 9.83 y 14.69, respectivamente, los valores FR más altos del conjunto de factores. En la Forma de la pendiente, se obtuvo un FR alto para las pendientes cóncavas y convexas, 2.03 y 2.31, respectivamente. Los valores de FR en las unidades litológicas mayores a 1 se obtuvieron en las Tonalitas de biotita (CTrt) con 1.28, la Formación Quiriquina (KrPgg) con 3.91, la Formación Cosmito-

Curanilahue (Pgcc) con 2.48, la Serie Occidental (Pzoc) con 3.02, la Serie Oriental - Zona de andalucita con 4.37 y el Monzogranito Hualpén (Trmh) con 2.14. Conviene señalar que la unidad litológica de tonalitas de biotita, correspondiente al Batolito Costero, es mayoritaria en el área de estudio, comprendiendo el 36.7 % de la superficie total, por lo que el resultado es significativo.

**Tabla 16**  
**Peso de las Clases de cada Factor con Frequency Ratio.**

Factor	Clases	Nº de píxeles en la clase	% de la clase	Número de PRM	% de PRM	Frequency Ratio
<b>Altitud (msnm)</b>	< 10	123660	25.41	10	5.40	0.21
	10 - 20	34042	6.99	17	9.18	1.31
	20 - 30	21431	4.40	25	13.51	3.06
	30 - 40	12955	2.66	31	16.75	6.29
	40 - 50	11835	2.43	36	19.45	8.00
	50 - 60	12826	2.63	16	8.64	3.28
	60 - 70	13605	2.79	15	8.10	2.89
	70 - 80	14396	2.95	4	2.16	0.73
	80 - 90	15320	3.14	11	5.94	1.88
	90 - 100	16003	3.28	7	3.78	1.15
	100 - 200	109620	22.52	12	6.48	0.28
	200 - 300	78185	16.06	1	0.54	0.03
	300 - 400	21829	4.48	0	0.00	0.00
	400 - 456	870	0.17	0	0.00	0.00
<b>Distancia del Drenaje (m)</b>	< 50	171818	35.31	54	29.18	0.83
	50 - 100	115435	23.72	47	25.40	1.07
	100 - 150	56523	11.62	24	12.97	1.12
	150 - 200	23687	4.87	15	8.10	1.67
	> 200	119114	24.48	45	24.32	0.99
<b>Valor de la Pendiente (°)</b>	0 - 10	230333	47.34	21	11.35	0.24
	10 - 20	114440	23.52	41	22.16	0.94
	20 - 30	104050	21.38	60	32.43	1.52
	30 - 40	32844	6.75	43	23.24	3.44
	40 - 50	4015	0.83	15	8.11	9.83
	> 50	895	0.18	5	2.70	14.69
<b>Forma de la Pendiente</b>	< -2	58320	11.99	45	24.32	2.03
	-2 - 2	366679	75.36	86	46.49	0.62
	> 2	61578	12.66	54	29.19	2.31
<b>Litología</b>	CTrcg	75672	15.55	2	1.08	0.07
	CTrt	178784	36.74	87	47.03	1.28
	Hf	21434	4.41	0	0.00	0.00
	Hmm	4069	0.84	0	0.00	0.00
	KrPgq	11449	2.35	17	9.19	3.91
	Pgcc	6362	1.31	6	3.24	2.48
	PIHfm	93206	19.16	4	2.16	0.11
	PIHh	34337	7.06	0	0.00	0.00
	Pzoc	47958	9.86	55	29.73	3.02
	Pzora	4212	0.87	7	3.78	4.37
	Pzorb	495	0.10	0	0.00	0.00
	Trmh	8599	1.77	7	3.78	2.14

Factor	Clases	Nº de píxeles en la clase	% de la clase	Número de PRM	% de PRM	Frequency Ratio
NDVI	-0,27 - 0,09	69873	14.36	15	8.11	0.56
	0,09 - 0,23	68746	14.13	36	19.46	1.38
	0,23 - 0,36	71562	14.71	46	24.86	1.69
	0,36 - 0,47	153352	31.52	55	29.73	0.94
	0,47 - 1	123044	25.29	33	17.84	0.71
Orientación solar de la Pendiente	Flat	696	0.14	0	0.00	0.00
	North	62245	12.79	12	6.49	0.51
	Northeast	60165	12.36	15	8.11	0.66
	East	59844	12.30	23	12.43	1.01
	Southeast	54488	11.20	45	24.32	2.17
	South	54103	11.12	32	17.30	1.56
	Southwest	58911	12.11	14	7.57	0.63
	West	68148	14.01	13	7.03	0.50
Northwest	67977	13.97	31	16.76	1.20	

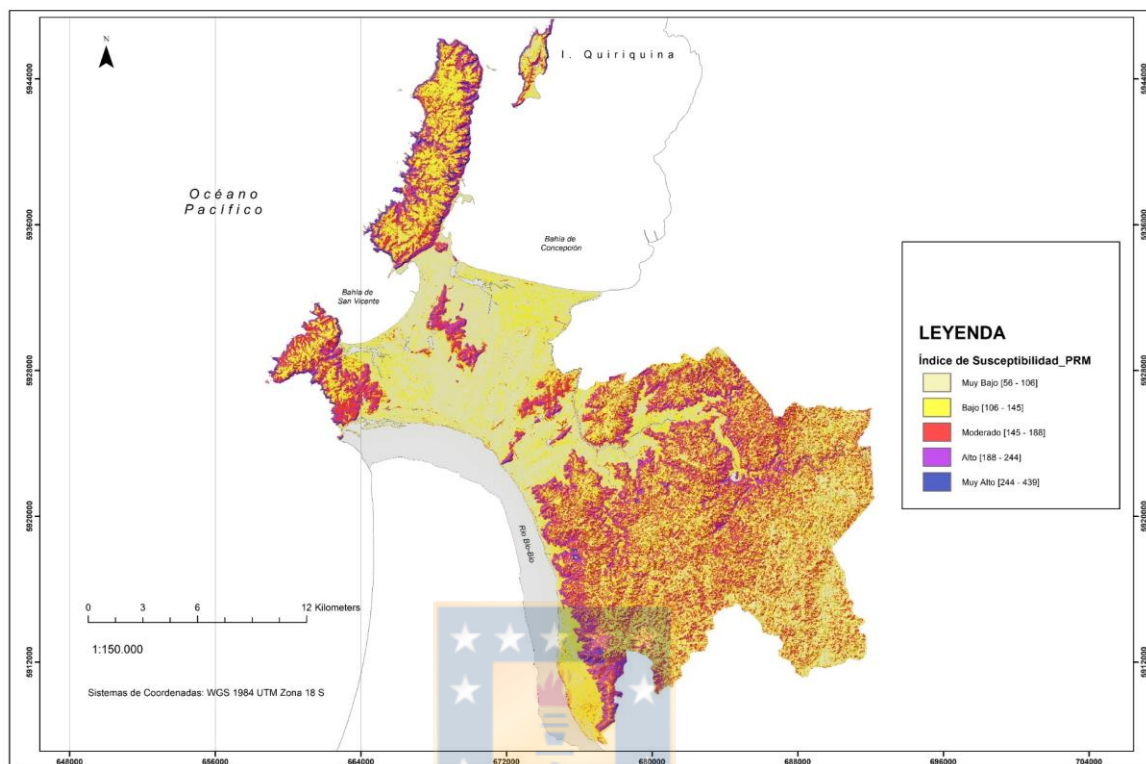
Fuente: Elaboración propia.

Los valores FR en el NDVI muestran una alta correlación a partir de valores superiores a 0.09 hasta 0.36, luego vuelve a mostrar valores FR inferiores a 1. Las clases de rangos de NDVI 0.09 - 0.23 y 0.23 - 0.36 que abarcan áreas de vegetación escasa muestran valores FR 1.38 y 1.69. La orientación solar de las pendientes muestra valores FR altos en las pendientes expuestas al este con 1.01, al sur este con 2.17, al sur con 1.56 y al noroeste con 1.20. Estos valores dan cuenta de una alta correlación entre la ocurrencia de RM y laderas de umbría. Por último, los factores evaluados en conjunto muestran que la altitud, la litología y la pendiente son los parámetros que muestran mayor correlación con la ocurrencia de PRM.

### 9.2.1.1 Mapa de Susceptibilidad del Área de Estudio.

En el área de estudio, el 36 % [157 km<sup>2</sup>] de la superficie muestra un muy bajo índice de susceptibilidad a remociones en masa; 31 % [137 km<sup>2</sup>] muestra un índice bajo; 19 % [81 km<sup>2</sup>] moderado; 12 % [54 km<sup>2</sup>] un índice alto, y 2 % [9 km<sup>2</sup>] muy alto (Tabla 17) (Figura 24).

**Figura 24**  
**Mapa de Susceptibilidad de PRM para el Área de Estudio.**



Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 17**  
**Superficie de Clases de Susceptibilidad en el Área de Estudio.**

Índice de Susceptibilidad	Superficie (km <sup>2</sup> )	%
Muy bajo	157,03	36
Bajo	137,19	31
Moderado	81,38	19
Alto	53,78	12
Muy Alto	8,54	2
Total	437,92	100

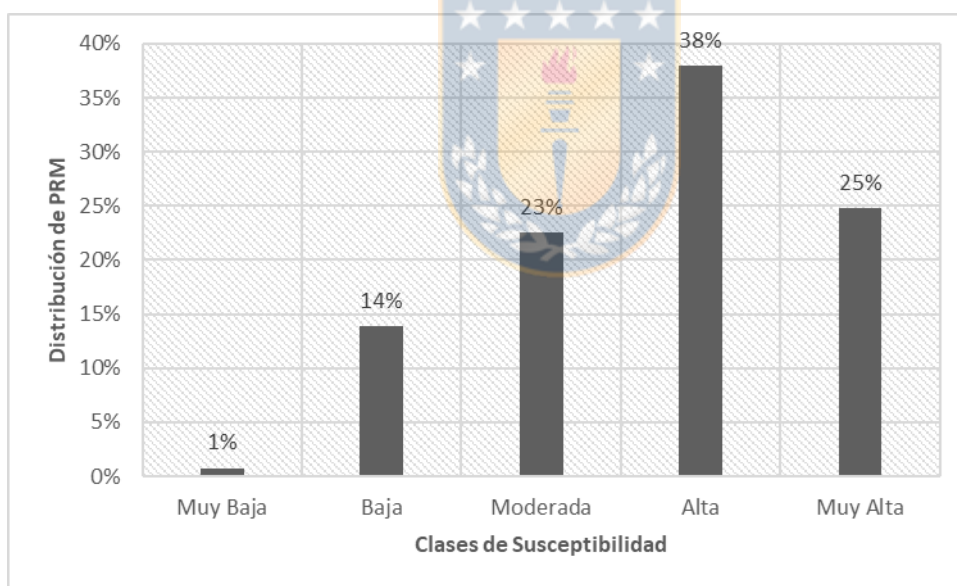
Fuente: Elaboración propia.

### 9.3 Validación de la susceptibilidad y relaciones estadísticas con el mapa geomorfológico.

#### 9.3.1 Precisión Estadística del Modelo

Mediante la superposición entre los 266 puntos de remociones en masa utilizados y el mapa de susceptibilidad de PRM, se obtuvo que 1 % de los puntos caen en la clase “Muy Baja”, 14 % en la clase “Baja”, 23 % en la clase “Moderada”, 38 % en la clase “Alta” y 25 % en la clase “Muy Alta” (Figura 25).

**Figura 25**  
**Distribución de RM ocurridas dentro de las 5 Clases de Susceptibilidad.**

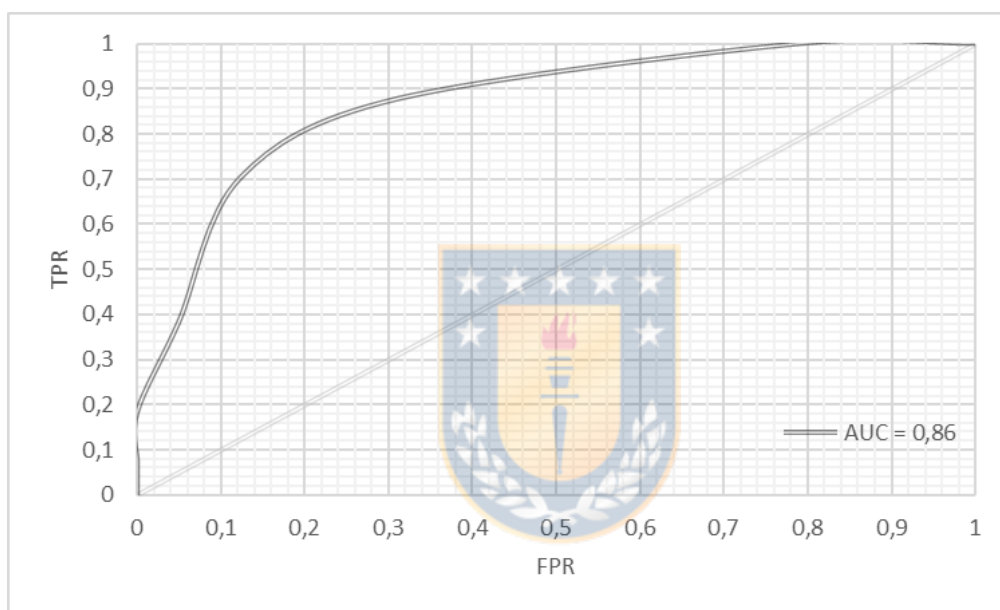


Fuente: Elaboración propia.

### 9.3.2 Área bajo la curva ROC

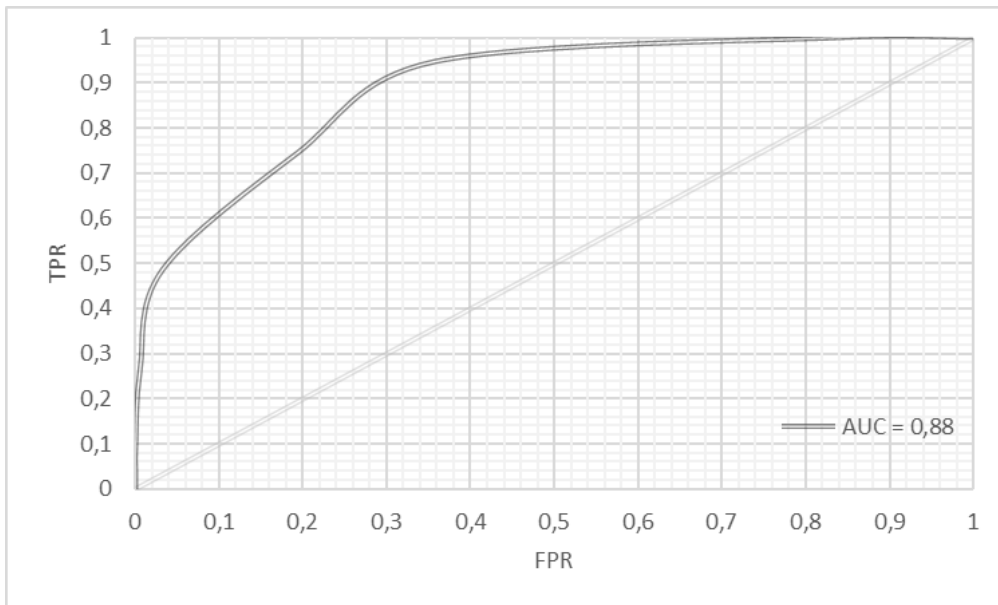
El AUC para la Tasa de predicción y la Tasa de exactitud obtenido fue de un 0,86 (Figura 26) (Anexo 3 D) y un 0,88 (Figura 27) (Anexo 3 G), respectivamente, ambos resultados se interpretan como “Muy Bueno”.

**Figura 26**  
**Curva de la Tasa de Predicción.**



Fuente: Elaboración propia.

**Figura 27**  
**Curva de la Tasa de Exactitud.**



Fuente: Elaboración propia.



### **9.3.3 Coherencia Geomorfológica del Modelo de Susceptibilidad**

#### **9.3.3.1 Evaluación de la Coherencia Geomorfológica en el Sector Occidental de la Comuna de Concepción.**

El sector escogido abarca una superficie total de 51,48 km<sup>2</sup> de los cuales un 36 % corresponden a Cordones en roca granítica de Edad Paleozoica; 13 % a Relleno artificial, 9 % a la Terraza fluviovolcánica superior del Biobío (arenas negras); 8 % a la Terraza fluvial del Río Andalién; 6 % a Cerros Islas en Roca Sedimentaria de Edad Terciaria o en roca granítica o metamórfica de Edad Paleozoica, y además destacan los Campos de dunas y la Terraza fluviovolcánica de nivel superior del Biobío (arenas negras), ambas con una superficie del 5 % respecto del total (Tabla 18).

Los resultados que muestran coherencia geomorfológica son los niveles de susceptibilidad altos en los Escarpes de derrumbes o deslizamientos activos, al



igual que los Escarpes de falla; los niveles de susceptibilidad moderado en los Escarpes de erosión antrópica, los Cerros Islas y cordones graníticos, en este último caso, debido a que no toda la superficie de los cordones graníticos son susceptibles a PRM, y por último, los niveles de susceptibilidad bajo en relieves de acumulación como los campos de dunas, depósitos coluviales, humedales y terrazas fluviales.

Los valores que no muestran coherencia son por ejemplo el promedio de susceptibilidad muy alto en los Depósitos aluviales y en las Llanuras de inundación estacional. Estas unidades se localizan en los cordones graníticos (esquina inferior izquierda del área cartografiada) y no ocupan una superficie significativa.



**Tabla 18**  
**Análisis de Coherencia Geomorfológica en Sector de la Comuna de Concepción.**

Unidad Geomorfológica	Superficie (km <sup>2</sup> )	Distribución de la Unidad	$\bar{x}$ Ponderado	Cantidad de PRM	Distribución de PRM en las Unidades	Densidad (Cantidad de PRM/km <sup>2</sup> )
Campos de dunas	2,43	5%	1,47	0,00	0%	0,00
Cerro Isla. En roca sedimentaria de Edad Terciaria o en roca granítica y metamórfica de Edad Paleozoica	3,08	6%	2,94	13,00	16%	4,23
Cono de deslizamiento y derrumbe	0,02	0%	2,14	0,00	0%	0,00
Cono de deyección	0,03	0%	2,15	0,00	0%	0,00
Cordones en roca granítica de Edad Paleozoica	18,70	36%	2,71	44,00	54%	2,35
Cuenca de recepción de aguas lluvias claramente identificables	0,37	1%	2,53	1,00	1%	2,74
Depósitos aluviales y deltas locales	0,00	0%	4,50	0,00	0%	0,00
Depósitos coluviales	0,58	1%	1,96	0,00	0%	0,00
Escarpe de derrumbe y/o deslizamiento activo	0,02	0%	3,56	0,00	0%	0,00
Escarpe de erosión antrópica y depresión de origen antrópico	0,05	0%	3,02	1,00	1%	22,22
Escarpe de erosión fluvial fuerte	0,03	0%	1,84	0,00	0%	0,00
Escarpe de falla	0,36	1%	3,61	19,00	23%	52,78
Extracción de arcilla para ladrillos	0,03	0%	2,95	0,00	0%	0,00

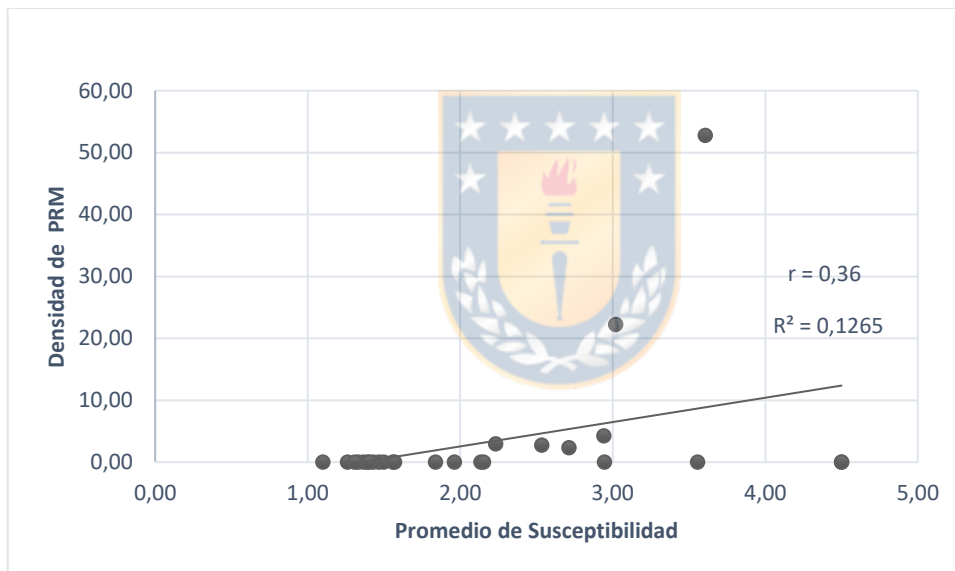
Unidad Geomorfológica	Superficie (km <sup>2</sup> )	Distribución de la Unidad	$\bar{x}$ Ponderado	Cantidad de PRM	Distribución de PRM en las Unidades	Densidad (Cantidad de PRM/km <sup>2</sup> )
Humedales (áreas permanentemente húmedas)	0,55	1%	1,26	0,00	0%	0,00
Humedales (áreas temporalmente húmedas, invierno)	0,26	0%	1,50	0,00	0%	0,00
Lagos, lagunas, estanques	0,28	1%	1,40	0,00	0%	0,00
Llanura de inundación fluvial estacional	0,00	0%	4,50	0,00	0%	0,00
Plataforma de erosión continental sobre granito y/o pizarras paleozoicas	1,36	3%	2,23	4,00	5%	2,94
Relleno artificial	6,46	13%	1,37	0,00	0%	0,00
Ríos, canales, esteros	2,70	5%	1,10	0,00	0%	0,00
Terraza de erosión antrópica	0,02	0%	1,43	0,00	0%	0,00
Terraza fluvial del río Andalién	4,31	8%	1,57	0,00	0%	0,00
Terraza fluviovolcánica inferior del Biobío (arenas negras)	2,46	5%	1,33	0,00	0%	0,00
Terraza fluviovolcánica media del Biobío (arenas negras)	1,11	2%	1,31	0,00	0%	0,00
Terraza fluviovolcánica superior del Biobío (arenas negras)	4,87	9%	1,40	0,00	0%	0,00
Terrazas y llanuras fluviales locales	1,42	3%	1,56	0,00	0%	0,00
Totales	51,48	100%		82,00	100%	

Fuente: Elaboración Propia.

### 9.3.3.1.1 Relaciones Estadísticas entre Unidades Geomorfológicas y la Susceptibilidad de PRM en el Sector Occidental de la Comuna de Concepción.

La correlación entre el nivel de susceptibilidad y la densidad de PRM en las unidades geomorfológicas es positiva y moderada, y el coeficiente de determinación indica que la densidad de PRM medida en cada unidad geomorfológica es explicada en un 13 % por los niveles de susceptibilidad estimados (Figura 28).

**Figura 28**  
Correlación entre Susceptibilidad y Densidad de PRM en Sector de la Comuna de Concepción.



Fuente: Elaboración propia.

Los PRM ocurren con mayor frecuencia en los cordones graníticos, abarcando el 54 % de los PRM inventariados en el sector (44 PRM), le sigue luego, los escarpes de falla (relieve estructural) con un 23 % (19 PRM), y la unidad de cerro isla con el 16 % (13 PRM) (tabla 18) (Anexo 4 B). Estas unidades corresponden al 43 % de la superficie del sector geomorfológico evaluado.

En los cordones graníticos se cuentan 33 deslizamientos de tierra y/o roca, 11 flujos de barro y 0 caídas; en la unidad de escarpes de falla, 15 deslizamientos, 2 flujos de barro y 2 caídas, y, en la unidad de cerro isla 9 deslizamientos de tierra, 3 flujos de barro y 1 caída (Tabla 19).



**Tabla 19****Correspondencia entre Unidades Geomorfológicas y Tipos de PRM en Sector de la Comuna de Concepción.**

Unidades Geomorfológicas	Deslizamientos	Flujos	Caídas
Cerro Isla. En roca sedimentaria de Edad Terciaria o en roca granítica y metamórfica de Edad Paleozoica	9	3	1
Cordones en roca granítica de Edad Paleozoica	33	11	0
Cuenca de recepción de aguas lluvias claramente identificables	1	0	0
Escarpe de erosión antrópica y depresión de origen antrópico	1	0	0
Escarpe de falla	15	2	2
Plataforma de erosión continental sobre granito y/o pizarras paleozoicas	4	0	0
Total	63	16	3

Fuente: Elaboración propia.



### 9.3.3.2 Evaluación de la Coherencia Geomorfológica en el Sector Sur Occidental de la Comuna de Talcahuano.

El sector escogido abarca una superficie total de 25,75 km<sup>2</sup> de los cuales un 17 % (4,3 km<sup>2</sup>) corresponden a Terrazas y plataformas de abrasión marina en roca sedimentaria de edad Edad Terciaria y/o en roca metamórfica de Edad Paleozoica de nivel superior (> 100 m); 16 % a escarpes de erosión fluvial fuerte, 15 % a campos de dunas; 7 % (1,8 km<sup>2</sup>) a la terraza fluviovolcánica inferior del Biobío, y un 6 % (1,6 km<sup>2</sup>) marismas (Tabla 20).

Los resultados que muestran coherencia geomorfológica son los niveles de susceptibilidad altos en los acantilados marinos activos y en los acantilados marinos estabilizados; los niveles de susceptibilidad moderados en la unidad de cerro isla, los escarpes de erosión antrópica, escarpes de erosión fluvial fuerte, los escarpes de derrumbe y/o deslizamientos estabilizados; los niveles bajos en las terrazas de abrasión marina, y los niveles de susceptibilidad muy bajos en los campos de dunas, en los cordones litorales, en la marisma y en los rellenos artificiales.

. Los valores que no muestran coherencia son el promedio susceptibilidad moderado en los escarpes de derrumbes y/o deslizamientos activos y el nivel de susceptibilidad alto en la playa de arenas cuarcíferas. Conviene señalar que estas unidades en términos de superficie no son significativas.

**Tabla 20**  
**Análisis de la Coherencia Geomorfológica en Sector de la Comuna de Talcahuano.**

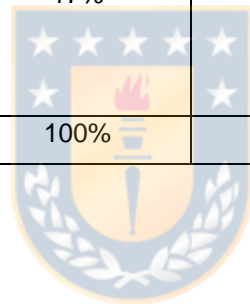
Unidades Geomorfológicas	Superficie (km <sup>2</sup> )	Distribución de la Unidad	$\bar{x}$ Ponderado	Cantidad de PRM	Distribución de PRM en las Unidades	Densidad (Cantidad de PRM/km <sup>2</sup> )
Acantilado marino activo	0,47	2%	4,26	0,00	0%	0,00
Acantilado marino estabilizado	0,81	3%	3,75	26,00	52%	32,10
Acumulación de carboncillo (área de acopio)	0,21	1%	1,30	0,00	0%	0,00
Campos de dunas	3,76	15%	1,19	0,00	0%	0,00
Cerro Isla. En roca sedimentaria de Edad Terciaria o en roca granítica y metamórfica de Edad Paleozoica	0,79	3%	3,30	5,00	10%	6,30
Cordones en roca metamórfica de Edad Paleozoica	0,84	3%	2,68	0,00	0%	0,00
Cordones litorales	0,07	0%	1,03	0,00	0%	0,00
Escarpe de derrumbe y/o deslizamiento activo	0,01	0%	2,75	0,00	0%	0,00
Escarpe de derrumbe y/o deslizamiento estabilizado	0,04	0%	3,32	0,00	0%	0,00
Escarpe de erosión antrópica y depresión de origen antrópico	0,01	0%	3,38	0,00	0%	0,00
Escarpe de erosión fluvial fuerte	4,14	16%	3,04	6,00	12%	1,45
Humedales (áreas permanentemente húmedas)	0,00	0%	1,33	0,00	0%	0,00



Unidades Geomorfológicas	Superficie (km <sup>2</sup> )	Distribución de la Unidad	$\bar{x}$ Ponderado	Cantidad de PRM	Distribución de PRM en las Unidades	Densidad (Cantidad de PRM/km <sup>2</sup> )
Laderas de cordones y plataformas: pendientes largas o débiles	0,87	3%	3,14	12,00	24%	13,77
Lagos, lagunas, estanques	0,09	0%	1,15	0,00	0%	0,00
Llanura litoral de arenas negras basálticas	0,86	3%	1,19	0,00	0%	0,00
Marismas (pantanos litorales)	1,60	6%	1,32	0,00	0%	0,00
Playa de arenas blancas cuarcíferas	0,01	0%	3,67	0,00	0%	0,00
Playa de arenas negras basálticas	0,27	1%	1,24	0,00	0%	0,00
Relleno artificial	1,50	6%	1,18	0,00	0%	0,00
Ríos y canales	0,50	2%	1,19	0,00	0%	0,00
Roqueríos	0,34	1%	2,94	0,00	0%	0,00
Terraza fluviovolcánica inferior del Biobío (arenas negras)	1,81	7%	1,16	0,00	0%	0,00
Terraza fluviovolcánica media del Biobío (arenas negras)	1,22	5%	1,28	0,00	0%	0,00
Terrazas y plataformas de abrasión marina en roca sedimentaria de Edad Terciaria y/o en roca metamórfica de Edad Paleozoica. Nivel inferior. (< 50 mts.)	0,01	0%	2,25	0,00	0%	0,00
Terrazas y plataformas de abrasión marina en roca sedimentaria de Edad	1,21	5%	2,48	1,00	2%	0,82

Unidades Geomorfológicas	Superficie (km <sup>2</sup> )	Distribución de la Unidad	$\bar{x}$ Ponderado	Cantidad de PRM	Distribución de PRM en las Unidades	Densidad (Cantidad de PRM/km <sup>2</sup> )
Terciaria y/o en roca metamórfica de Edad Paleozoica. Nivel medio (50-100 mts.)						
Terrazas y plataformas de abrasión marina en roca sedimentaria de Edad Terciaria y/o en roca metamórfica de Edad Paleozoica. Nivel Superior. (> 100 mts.)	4,30	17%	2,24	0,00	0%	0,00
	25,75	100%		50,00	100%	

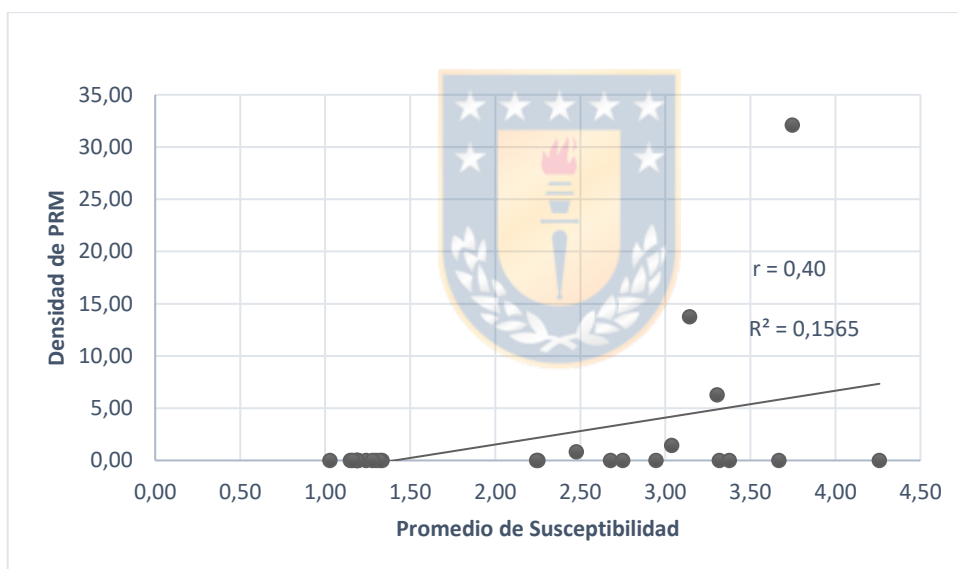
Fuente: Elaboración propia.



### 9.3.3.2.1 Relaciones Estadísticas entre Unidades Geomorfológicas y la Susceptibilidad de PRM en el Sector Sur Occidental de la Comuna de Talcahuano.

La correlación entre el nivel de susceptibilidad y la densidad de PRM en las unidades geomorfológicas es positiva y moderada, y el coeficiente de determinación indica que la densidad de PRM medida en cada unidad geomorfológica es explicada en un 16 % por los niveles de susceptibilidad estimados (Figura 29)

**Figura 29**  
**Correlación entre Susceptibilidad y Distribución de PRM en Sector de la Comuna de Talcahuano.**



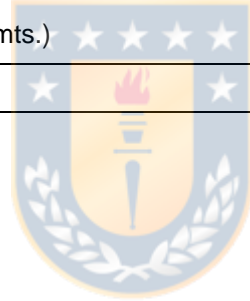
Fuente: Elaboración propia.

El 52 % de PRM ha ocurrido en los acantilados estabilizados (26 PRM), de los cuales 23 son deslizamientos de tierra y/o roca y 3 son caídas de roca (Tabla 21) (Anexo 4 D). Esta unidad abarca un 3 % (0,8 km<sup>2</sup>) del área total evaluada.

**Tabla 21****Correspondencia entre Unidades Geomorfológicas y Tipos de PRM en Sector Sur Occidental de la Comuna de Talcahuano.**

Unidades Geomorfológicas	Deslizamientos	Flujos	Caídas
Acantilado marino estabilizado	23	0	3
Cerro Isla. En roca sedimentaria de Edad Terciaria o en roca granítica y metamórfica de Edad Paleozoica	4	0	1
Escarpe de erosión fluvial fuerte	3	1	2
Laderas de cordones y plataformas: pendientes largas o débiles	9	1	2
Terrazas y plataformas de abrasión marina en roca sedimentaria de Edad Terciaria y/o en roca metamórfica de Edad Paleozoica. Nivel medio (50-100 mts.)	1	0	0
Total	40	2	8

Fuente: Elaboración propia.



### **9.3.3.3 Evaluación de la Coherencia Geomorfológica en el Sector Occidental de la Comuna de Chiguayante.**

Este sector abarca una superficie total de 39,42 km<sup>2</sup> de los cuales un 43 % (16,97 km<sup>2</sup>) corresponden a Cordones en roca granítica de Edad Paleozoica; 22 % (8,7 km<sup>2</sup>) corresponden al curso del Río Biobío, 15 % (6 km<sup>2</sup>) corresponden a campos de dunas, 5 % (2 km<sup>2</sup>) a la Terraza fluviovolcánica superior del Biobío (arenas negras); 4 % a (1,7 km<sup>2</sup>) la Terraza fluviovolcánica inferior del Biobío (arenas negras), y 3 % (1,2 km<sup>2</sup>) a Cordones en Roca metamórfica (Tabla 22).

Los resultados que muestran coherencia geomorfológica son los niveles de susceptibilidad altos en los cordones en roca metamórfica de Edad Paleozoica y los escarpes de erosión antrópica; los niveles de susceptibilidad moderado en la cantera de extracción de granito, en los cordones en roca granítica de Edad Paleozoica y en las superficies de los cordones montañosos con erosión en manto, y por último, los niveles de susceptibilidad bajo en relieves de acumulación como los campos de dunas, depósitos aluviales, humedales, rellenos artificiales, ríos y terrazas fluviovolcánicas del Biobío.

Los valores que no muestran coherencia son el promedio susceptibilidad moderado en la unidad de Lagos, laguna y estanques y las llanuras de inundación fluvial estacional. Estas unidades se localizan en las faldas de los cordones montañosos y algunos cuerpos de agua en los cordones graníticos, en o cerca de la cantera de extracción de granito.

**Tabla 22**  
**Análisis de la Coherencia Geomorfológica en Sector de la Comuna de Chiguayante.**

Unidades Geomorfológicas	Superficie (km <sup>2</sup> )	Distribución de la Unidad	$\bar{x}$ Ponderado	Cantidad de PRM	Distribución de PRM en las Unidades	Densidad (Cantidad de PRM/km <sup>2</sup> )
Campos de dunas	6,06	15%	1,80	0,00	0%	0,00
Cantera (extracción de granito)	0,55	1%	3,09	1,00	2%	1,83
Cono de deslizamiento y derrumbe	0,00	0%	3,00	0,00	0%	0,00
Cordones en roca granítica de Edad Paleozoica	16,97	43%	2,87	46,00	79%	2,71
Cordones en roca metamórfica de Edad Paleozoica	1,22	3%	3,72	8,00	14%	6,57
Cuenca de recepción de aguas lluvias claramente identificables	0,01	0%	2,33	0,00	0%	0,00
Depósitos aluviales y deltas locales	0,33	1%	1,78	1,00	2%	3,03
Depósitos coluviales	0,01	0%	2,92	0,00	0%	0,00
Erosión en manto	0,05	0%	3,38	0,00	0%	0,00
Escarpe de derrumbe y/o deslizamiento estabilizado	0,01	0%	3,40	0,00	0%	0,00
Escarpe de erosión antrópica y depresión de origen antrópico	0,01	0%	4,14	2,00	3%	317,46
Escarpe de erosión fluvial débil	0,01	0%	1,56	0,00	0%	0,00
Escarpe de erosión fluvial fuerte	0,22	1%	1,86	0,00	0%	0,00
Humedales (áreas permanentemente húmedas)	0,02	0%	1,92	0,00	0%	0,00
Humedales (áreas temporalmente húmedas, invierno)	0,18	0%	2,25	0,00	0%	0,00
Lagos, lagunas, estanques	0,03	0%	2,78	0,00	0%	0,00
Llanura anegadiza durante gran parte del año (estacionalmente seca, verano)	0,31	1%	1,90	0,00	0%	0,00
Llanura de inundación fluvial estacional	0,15	0%	2,68	0,00	0%	0,00
Paleocanal. Probable dirección de defluviación	0,60	2%	1,48	0,00	0%	0,00
Relleno artificial	0,13	0%	1,94	0,00	0%	0,00

Unidades Geomorfológicas	Superficie (km <sup>2</sup> )	Distribución de la Unidad	$\bar{x}$ Ponderado	Cantidad de PRM	Distribución de PRM en las Unidades	Densidad (Cantidad de PRM/km <sup>2</sup> )
Ríos, canales, esteros	8,74	22%	1,11	0,00	0%	0,00
Terraza fluviovolcánica inferior del Biobío (arenas negras)	1,75	4%	1,58	0,00	0%	0,00
Terraza fluviovolcánica superior del Biobío (arenas negras)	2,08	5%	1,98	0,00	0%	0,00
Total	39,42	100%		58,00	100%	

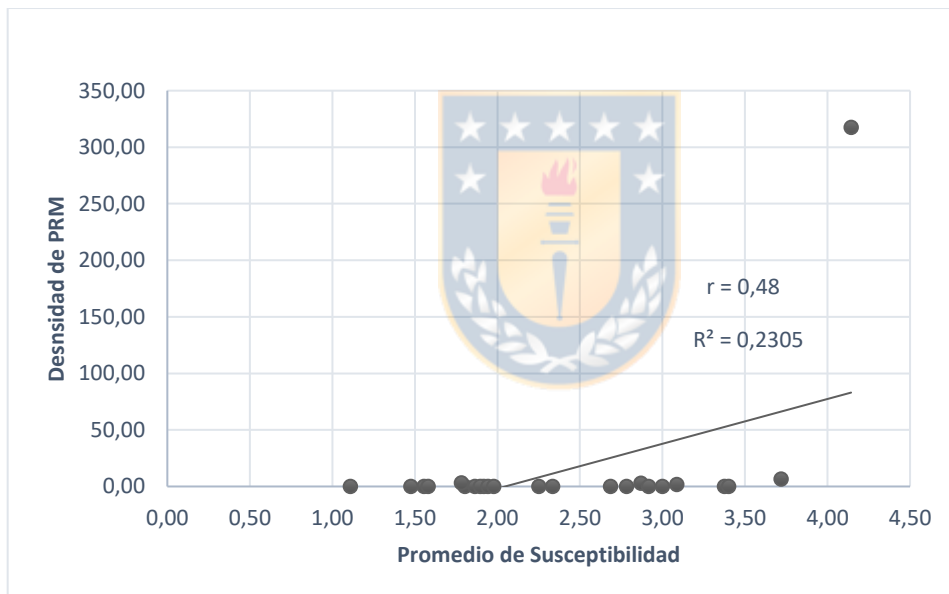
Fuente: Elaboración propia.



### 9.3.3.3.1 Relaciones Estadísticas entre Unidades Geomorfológicas y la Susceptibilidad de PRM en el Sector Occidental de la Comuna de Chiguayante.

La correlación entre el nivel de susceptibilidad y la densidad de PRM en las unidades geomorfológicas es positiva y moderada, y el coeficiente de determinación indica que la densidad de PRM medida en cada unidad geomorfológica es explicada en un 23 % por los niveles de susceptibilidad estimados (Figura 30).

**Figura 30**  
**Correlación entre Susceptibilidad y Distribución de PRM en Sector de la Comuna de Chiguayante.**



Fuente: Elaboración propia.

El 79 % (46) de los PRM ocurrieron en los cordones graníticos y el 14 % (8) en los cordones metamórficos (Tabla 23) (Anexo 4 F). Estas unidades abarcan el 46 % (18 km<sup>2</sup>) de la superficie del sector geomorfológico evaluado.

En los cordones graníticos se cuentan 23 deslizamientos de tierra y/o roca, 18 flujos de barro y 4 caídas de roca y, en los cordones metamórficos, 6 deslizamientos y 2 caídas de roca.



**Tabla 23**

**Correspondencia entre Unidades Geomorfológicas y Tipos de PRM en Sector Occidental de la Comuna de Chiguayante.**

Unidades Geomorfológicas	Deslizamientos	Flujos	Caídas
Cantera (extracción de granito)	0	0	1
Cordones en roca granítica de Edad Paleozoica	23	18	4
Cordones en roca metamórfica de Edad Paleozoica	6	0	2
Depósitos aluviales y deltas locales	1	0	0
Escarpe de erosión antrópica y depresión de origen antrópico	0	0	2
Total	30	18	9

Fuente: Elaboración propia.

#### **9.3.3.4 Evaluación de la Coherencia Geomorfológica en el Sector Occidental de la Comuna de Hualpén.**

El sector escogido abarca una superficie total de 28,99 km<sup>2</sup> de los cuales un 20 % (5,71 km<sup>2</sup>) corresponden a terrazas y plataformas de abrasión marina de nivel medio (50-100); 12 % (3,38 km<sup>2</sup>) a marismas, 9 % (2,7 km<sup>2</sup>) a cerros islas modelados en roca granítica, y 7 % (2 km<sup>2</sup>) a las terrazas y plataformas de abrasión marina de nivel inferior (< 50 m) (Tabla 24): los relieves más importantes en términos de superficie.

Los resultados que muestran coherencia geomorfológica son los niveles de susceptibilidad altos en los acantilados marinos activos, los acantilados marinos inactivos y los escarpes de deslizamientos y/o derrumbes activos; los niveles de susceptibilidad moderado en los cerros islas de roca granítica, los escarpes de erosión fluvial fuerte, las laderas de cordones y plataformas de pendientes largas o débiles y los roqueríos, escollos e islotes, y por último, los niveles de susceptibilidad bajo en relieves de acumulación como los bancos de arena, campos de dunas, cordones litorales, humedales, marismas, playa de arenas negras basálticas y playa de arenas negras cuarcíferas.

Los valores que no muestran coherencia son el promedio susceptibilidad moderado en las playas de cantos y bloques graníticos, y las terrazas y plataformas de abrasión marina de nivel inferior (< 50 m). El primero se trata de un relieve de acumulación que, si bien, está asociado a caídas de rocas en los acantilados marinos, en él no ocurren PRM. El segundo es un relieve relativamente plano y los PRM pueden ocurrir en sus límites donde comienza la cresta de un acantilado.

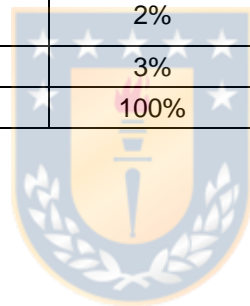


**Tabla 24**  
**Análisis de la Coherencia Geomorfológica en Sector de la Comuna de Hualpén.**

Unidad Geomorfológica	Superficie (km <sup>2</sup> )	Distribución de la Unidad	$\bar{x}$ Ponderado	Cantidad de PRM	Distribución de PRM en las unidades	Densidad (Cantidad de PRM/km <sup>2</sup> )
Acantilado marino activo	1,07	4%	3,92	3	13%	2,81
Acantilado marino inactivo	1,09	4%	3,58	13	54%	11,95
Bancos de arena	1,23	4%	1,21	0	0%	0,00
Campos de dunas	1,53	5%	1,64	0	0%	0,00
Cerro Isla. En roca granítica de Edad Mesozoica	2,74	9%	2,55	8	33%	2,92
Cerro Isla. En roca metamórfica de Edad Paleozoica	0,43	1%	2,23	0	0%	0,00
Cerro Isla. En roca sedimentaria de Edad Terciaria	0,02	0%	3,23	0	0%	0,00
Cordón dunario	0,03	0%	1,73	0	0%	0,00
Cordones litorales	0,20	1%	1,35	0	0%	0,00
Depósitos coluviales	0,07	0%	2,68	0	0%	0,00
Escarpe de deslizamiento y/o derrumbe activo	0,01	0%	4,13	0	0%	0,00
Escarpe de erosión fluvial fuerte	1,76	6%	3,25	0	0%	0,00
Humedales (áreas permanentemente húmedas)	0,14	0%	1,92	0	0%	0,00
Laderas de cordones y plataformas: pendientes largas o débiles	0,70	2%	3,03	0	0%	0,00
Lagos, lagunas, estanques	0,11	0%	2,20	0	0%	0,00
Marismas (pantanos litorales)	3,38	12%	1,45	0	0%	0,00
Playa de arenas blancas	0,04	0%	2,00	0	0%	0,00
Playa de arenas negras	0,19	1%	1,21	0	0%	0,00
Playa de cantos y bloques graníticos	0,05	0%	2,65	0	0%	0,00
Ríos, canales, esteros	2,19	8%	1,14	0	0%	0,00
Roqueríos, escollos, islotes	0,49	2%	3,08	0	0%	0,00

Unidad Geomorfológica	Superficie (km <sup>2</sup> )	Distribución de la Unidad	$\bar{x}$ Ponderado	Cantidad de PRM	Distribución de PRM en las unidades	Densidad (Cantidad de PRM/km <sup>2</sup> )
Terraza fluviovolcánica inferior del Biobío (arenas negras)	2,31	8%	1,64	0	0%	0,00
Terraza fluviovolcánica media del Biobío (arenas negras)	0,22	1%	2,29	0	0%	0,00
Terrazas y plataformas de abrasión marina de nivel inferior (< 50 m)	2,01	7%	3,18	0	0%	0,00
Terrazas y plataformas de abrasión marina de nivel medio (50-100 m)	5,71	20%	2,73	0	0%	0,00
Terrazas y plataformas de abrasión marina de nivel superior (> 100 m)	0,51	2%	2,36	0	0%	0,00
Terrazas y llanuras fluviales locales	0,76	3%	1,71	0	0%	0,00
Total	28,99	100%		24	100%	

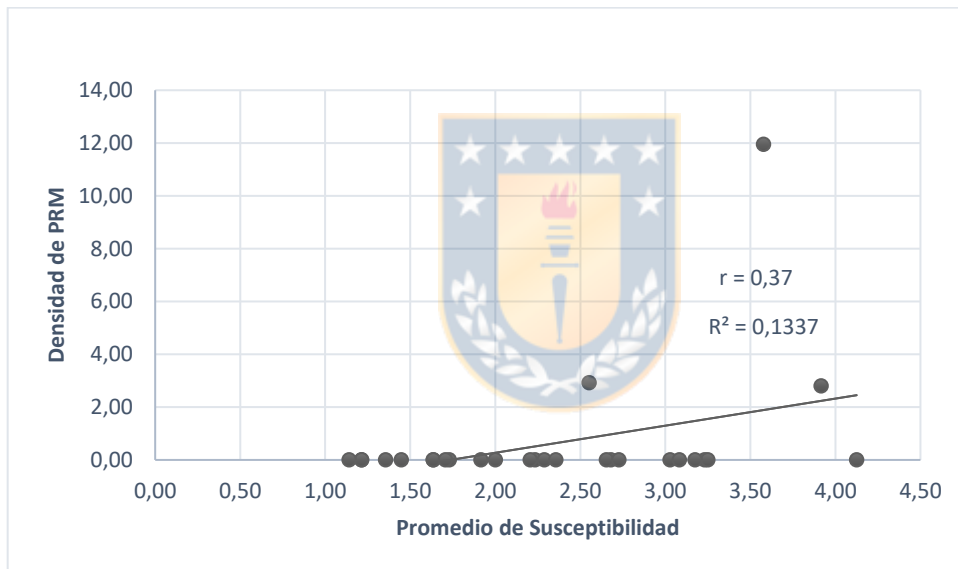
Fuente: Elaboración propia.



### 9.3.3.4.1 Relaciones Estadísticas entre Unidades Geomorfológicas y la Susceptibilidad de PRM en el Sector Occidental de la Comuna de Chiguayante.

La correlación entre el nivel de susceptibilidad y la densidad de PRM en las unidades geomorfológicas es positiva y moderada, y el coeficiente de determinación indica que la densidad de PRM medida en cada unidad geomorfológica es explicada en un 13 % por los niveles de susceptibilidad estimados (Figura 31).

**Figura 31**  
Correlación entre Susceptibilidad y Distribución de PRM en Sector de la Comuna de Hualpén.



Fuente: Elaboración propia.

El 54 % (13) de los PRM inventariados ocurrieron en los acantilados marinos inactivos, el 33 % (8) en los cerros islas modelados en roca granítica de Edad Mesozoica y el 13 % (3) en los acantilados marino activos (Tabla 24) (Anexo 4 H). Estas unidades abarcan el 17 % (5 km<sup>2</sup>) de la superficie del sector geomorfológico evaluado.

El 79 % (19) de los PRM inventariados corresponden a caídas de rocas de las cuales el 53 % (10) ocurrió en los acantilados marinos inactivos (Tabla 25). Lo que

demuestra una correspondencia clara entre un tipo de PRM y una unidad geomorfológica en este sector. Por ejemplo, al norte de la desembocadura de Lengua se han inventariado escarpes de derrumbe y deslizamiento activos con superficies de media hectárea en los acantilados marinos inactivos modelados en granito. En estas unidades la roca presenta diaclasas en diferentes direcciones, por lo que es un área inestable y coincide con el promedio de susceptibilidad alto (Figura 32).

**Tabla 25**  
**Correspondencia entre Unidades Geomorfológicas y Tipos de PRM en Sector Occidental de la Comuna de Hualpén.**

Unidades Geomorfológicas	Deslizamientos	Caídas	Vuelcos
Acantilado marino activo	0	3	0
Acantilado marino inactivo	2	10	1
Cerro Isla. En roca granítica de Edad Mesozoica	2	6	0
Total	4	19	1

Fuente: Elaboración propia.



**Figura 32**  
**Caídas de Roca en Los Acantilados marinos Inactivos de Lengua.**



Fuente: Archivo del autor. Lengua, septiembre 2022. En los pies del acantilado marino inactivo, se forma un depósito de rocas que son restos de bloques de las diaclasas.

## 10 CONCLUSIONES

La prensa es una herramienta válida para la actualización de mapas de susceptibilidad. A partir de la revisión de 30 años (1990-2020) se logró mapear, para el área de estudio, 108 remociones en masa, de los cuales, 74 fueron deslizamientos y 31 flujos.

El factor detonante de PRM en el área de estudio está asociado principalmente a la intensidad de las precipitaciones. En efecto, existe una correlación positiva considerable entre la cantidad de reportes y el total de precipitaciones por año en un periodo de 30 años (1990-2020). Los factores condicionantes que muestran una alta correlación con la ocurrencia de PRM son principalmente la altitud, rangos de entre 10 y 100 msnm; la pendiente, a partir de los 20°, y la litología, destacando la Tonalita de biotita, la Formación Quiriquina, la Formación Cosmito - Curanilahue, la roca metamórfica de la Serie Occidental, la roca metamórfica de la Serie Oriental y, el Monzogranito Hualpén. De los otros parámetros destacan, las formas de pendiente cóncavas y convexas, las áreas con escasa cobertura vegetal, y las laderas expuestas al sur y al este, probablemente, además de la humedad de las laderas de umbría, por la configuración estructural del relieve con escarpes de falla con dirección noreste-sudoeste como en el cerro La Pólvora, el cerro Chepe y el cerro Caracol. Por último, en la distancia al drenaje, la correlación es uniforme a lo largo de esta.

La metodología empleada permitió el reconocimiento de nuevas áreas susceptibles en sitios donde incluso no existe un levantamiento geomorfológico a una escala de detalle (1:10.000), por ejemplo, la Isla Quiriquina y en el valle del Río Andalién, demostrando la ventaja del uso del enfoque indirecto frente al enfoque directo, utilizado frecuentemente para modelar la susceptibilidad, el peligro y el riesgo en el área de estudio, por ejemplo, en Mardones & Vidal (2001), López (2013) y Mora (2016), y confirmando la primera hipótesis. De manera que en un área total de 437,92 km<sup>2</sup> (superficie total del área de estudio), 157,03 km<sup>2</sup> corresponden a zonas con susceptibilidad muy baja; 137,19 km<sup>2</sup> a zonas con baja susceptibilidad;



81,38 km<sup>2</sup> a zonas con susceptibilidad moderada; 53,78 km<sup>2</sup> a zonas con una alta susceptibilidad, y por, último, 8,54 km<sup>2</sup>, a zonas con una muy alta susceptibilidad.

Además, la zonificación propuesta en el mapa de susceptibilidad de PRM modelado, muestra un AUC de predicción y exactitud de un 86 % y 88 %, respectivamente, y, en los cuatro sectores donde se evaluó la coherencia geomorfológica muestra resultados que lo validan positivamente.

Estos resultados dan cuenta de la utilidad de los inventarios multitemporales de PRM basados en prensa local como herramienta para la actualización de mapas de susceptibilidad. De todas maneras, se aconseja complementarlos con el reconocimiento en terreno de PRM, así como también la inclusión de otras fuentes, como se hizo en este trabajo, para minimizar el sesgo en la documentación de RM, principalmente, ocurridas en asentamientos y carreteras, como se ha advertido en otros inventarios (Abad et al., 2022), y como se advierte en los reportes de la prensa local inventariados. Además, en el área de estudio, debido a la cobertura vegetal densa en sectores de difícil acceso como en quebradas boscosas, la interpretación de imágenes aéreas y satelitales es compleja.

De la superposición de los mapas geomorfológicos con la zonificación de la susceptibilidad, se obtiene que las unidades geomorfológicas más susceptibles a la ocurrencia de PRM son los escarpes de falla y escarpes de deslizamientos y/o derrumbes activos en Concepción con promedios de susceptibilidad de 3,61 y 3,56; los acantilados marinos activos e inactivos en Talcahuano con promedios de susceptibilidad de 4,26 y 3,75, y, Hualpén con promedios de 3,92 y 3,58; los escarpes de erosión antrópica y los cordones en roca metamórfica de edad paleozoica en Chiguayante con promedios de 4,14 y 3,72, y, los escarpes de deslizamiento y/o derrumbes activos en Hualpén con un promedio de 4,13.

Si bien los escarpes de erosión antrópica en Chiguayante presentan un promedio alto, al superponer esta unidad en conjunto con los escarpes de erosión antrópica presentes en Concepción y Talcahuano en el mapa de zonificación de la susceptibilidad y calcular un promedio ponderado en base a su distribución, se obtiene un resultado moderado (3,2), mientras que los acantilados marinos activos

e inactivos de Hualpén y Talcahuano en conjunto siguen dando un promedio alto (4,02 y 3,65, respectivamente). El mismo método se aplicó con los cordones en roca metamórfica de Edad Paleozoica en Talcahuano y Chiguayante, aunque la roca de la primera corresponde a la serie occidental y la segunda a la serie oriental, obteniendo un promedio de susceptibilidad moderado (3,29).

En base a estos cálculos, respondiendo a la hipótesis 2, se puede concluir que las unidades geomorfológicas más susceptibles no son las antropogénicas, sino que son los acantilados marinos activos, los acantilados marinos inactivos, y, por último, los escarpes de falla (unidad que solo se encuentra identificada en el mapa geomorfológico de la comuna de Concepción). Los escarpes de deslizamiento y/o derrumbes activos no se consideraron en esta estimación ya que son subunidades y en sí mismas PRM.

La superposición del inventario con los tipos de PRM en los mapas geomorfológicos indica una correspondencia clara entre:

1. Deslizamiento de tierra y/o roca con las unidades geomorfológicas de cordones graníticos (33), escarpes de falla (15) y cerros islas en roca sedimentaria terciaria (9) en el sector occidental de la comuna de Concepción; los acantilados marinos inactivos (23) y laderas de cordones y plataformas de pendientes largas o débiles modeladas en roca metamórfica (serie occidental) (9) y cerros islas en roca sedimentaria terciaria en el sector sur occidental de la comuna de Talcahuano (4), y en los cordones de roca granítica (24) y metamórfica de Edad Paleozoica en Chiguayante (6).
2. Flujos de barro en los Cordones graníticos de Concepción (11) y Chiguayante (18).
3. Caídas de roca, principalmente, en los acantilados activos (3) e inactivos (10) y cerros islas (6) modelados en roca granítica mesozoica en la Península de Hualpén.

Los alcances y limitaciones de este trabajo deben ser la consideración única y exclusiva del mismo como una propuesta metodológica, por lo cual no se debe considerar el mapa de susceptibilidad realizado como un producto definitivo

destinado para la toma de decisiones en instrumentos de planificación territorial, en ese sentido se sugiere que se estime como un modelo comparativo. Adicionalmente, se puede considerar como un estudio exploratorio para la determinación de la susceptibilidad de unidades geomorfológicas mediante un método indirecto y caracterizar la geomorfología del área de estudio en base a las tipologías de PRM y susceptibilidad. Tampoco se deben considerar como productos definitivos los mapas geomorfológicos. Estos se encuentran en una etapa de actualización preliminar.

En cuanto a los aportes a la disciplina, esta investigación contribuye al desarrollo de una cultura geomorfológica en las comunas del área de estudio, mediante un enfoque aplicado al riesgo, buscando caracterizar unidades geomorfológicas de acuerdo a las tipologías de PRM que allí ocurren y su susceptibilidad. El desarrollo de este enfoque, además de contribuir al conocimiento local, contribuye al desarrollo de políticas públicas y planes para la reducción del riesgo a PRM, al igual que a un manejo más eficiente de los recursos destinados a estas, como también a la mantención de carreteras e infraestructura, en áreas urbanas dinámicas donde se suele construir en zonas que no son adecuadas. También aporta una propuesta metodológica que permite comparar mapas de susceptibilidad a PRM, mediante la estimación del AUC de la tasa de predicción y la tasa de éxito, y la evaluación de la coherencia geomorfológica del mapa de susceptibilidad, respondiendo al problema metodológico del análisis estadístico bivariado, como se mencionó en los apartados de la problemática y la metodología, la independencia condicional entre factores predictivos, que puede sesgar los resultados, subvalorando o sobrevalorando la susceptibilidad. Además, proporciona para el área de estudio, un inventario de PRM multitemporal, basado en prensa local que abarca 30 años (1990-2020) que puede ser perfeccionado y/o complementado en estudios posteriores, y utilizado para ensayar otros métodos.

## 11 BIBLIOGRAFÍA

- Abad, L., Hölbling, D., Albrecht, F., Dias, H. C., Dabiri, Z., Reischenböck, G., & Tešić, D. (2022). Mass movement susceptibility assessment of alpine infrastructure in the Salzkammergut area, Austria. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 76. doi:<https://doi.org/10.1016/j.ijdr.2022.103009>
- Abdo, H. G. (2022). Assessment of landslide susceptibility zonation using frequency ratio and statistical index: a case study of Al-Fawar basin, Tartous, Syria. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 2599–2618. doi:<https://doi.org/10.1007/s13762-021-03322-1>
- Acharya, T. D., & Lee, D. H. (2018). Landslide Susceptibility Mapping using Relative Frequency and Predictor Rate along Araniko Highway. *KSCE Journal of Civil Engineering*, 763-776.
- Aguayo, M., Pauchard, A., Azócar, G., & Parra, O. (2009). Cambio del uso del suelo en el centro sur de Chile a fines del siglo XX. Entendiendo la dinámica espacial y temporal del paisaje. *Revista Chilena de Historia Natural*, 361-374.
- Aguilera Arilla, M. J., Borderías Uribeondo, P., González Yanci, M. P., & Santos Preciado, J. M. (1997). *GEOGRAFÍA GENERAL (Geografía Física)*. Madrid: UNIVERSIDAD NACIONAL DE EDUCACIÓN A DISTANCIA.
- Alarcón, F. (1995). "Evaluación de los riesgos naturales en el área metropolitana de Concepción, a través de la información del Diario El Sur". *Memoria para optar al título de Licenciado en Educación*. Concepción: Universidad de Concepción.
- Ancapichún, S. (2012). *VARIABILIDAD DEL ANTICICLÓN DEL PACÍFICO SUR Y SU RELACIÓN CON LA OSCILACIÓN DECADAL DEL PACÍFICO*. Tesis de Grado. Universidad Austral de Chile.

- ARAYA-VERGARA. (1981). El concepto de delta en ría y su significado en la evolución litoral (ejemplo de Chile Central). *Informaciones Geográficas* , 19-42.
- Banco Mundial. (2020a). *Desarrollo urbano: panorama general*. Obtenido de bancomundial:  
<https://www.bancomundial.org/es/topic/urbandevelopment/overview#1>
- Banco Mundial. (2020b). *Población urbana (% del total) - Latin America & Caribbean*. Obtenido de BANCO MUNDIAL:  
<https://datos.bancomundial.org/indicador/SP.URB.TOTL.IN.ZS?locations=ZJ>
- Banqueri, E. (2007). *Apuntes de Geografía Física*. Barcelona: Parramón Ediciones, S.A.,
- Berhane, G., Kebede, M., Alfarah, N., Hagos, E., Grum, B., Giday, A., & Abera, T. (2020). Landslide susceptibility zonation mapping using GIS-based frequency ratio model with multi-class spatial data-sets in the Adwa-Adigrat mountain chains, northern Ethiopia. *Journal of African Earth Sciences*. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jafrearsci.2020.103795>
- Cabañas, C., Benavides, M., & Pizarro , N. (2013). *CONAF: SU HISTORIA Y ROL EN EL DESARROLLO FORESTAL Y AMBIENTAL DEL PAÍS 1972-2013*. Santiago: Corporación Nacional Forestal.
- Caleca, F., Tofani, V., Segoni, S., Raspini, F., Rosi, A., Natali, M., . . . Casagli , N. (2022). A methodological approach of QRA for slow-moving landslides at a regional scale. *Landslides*, 19, 1539-1561. doi:DOI 10.1007/s10346-022-01875-x
- Campos, J. M. (2021). UNA HERRAMIENTA PARA AFINAR CRITERIOS DE DECISIÓN. *DEBATES IESA*, 32-34.
- Cartes, A., & Montero, V. (2020). EL BÍO-BÍO, RECONFIGURACIÓN ESPACIAL DE UNA REGIÓN HISTÓRICA. *Revista Tiempo Histórico*, 141-172.

- CENTRO EULA CHILE. (1994). FONDECYT 92/0251. *GEOMORFOLOGÍA*. Concepción: Universidad de Concepción.
- Chen, Z., Liang, S., Ke, Y., Yang, Z., & Zhao, H. (2017). Landslide susceptibility assessment using evidential belief function, certainty factor and frequency ratio model at Baxie River basin, NW China. *Geocarto International*. doi:10.1080/10106049.2017.1404143
- Cicerchia, R. (2002). El orbe americano : Ciudad y ciudadanos. En S. Alderoqui, & P. Penshansky, *Ciudad y ciudadanos : Aportes para la enseñanza del mundo urbano* (págs. 95-118). Buenos Aires: Paidós.
- CONAF. (2015). *PLANIFICACIÓN CATASTRAL*. Obtenido de IDE MINAGRI: <https://ide.minagri.gob.cl/geoweb/2019/11/22/planificacion-catastral/>
- CONAF. (2022). *Parque Nacional Nonguén*. Obtenido de CONAF: <https://www.conaf.cl/parques/parque-nacional-nonguen/>
- Cruden, D. M., & Varnes, D. J. (1996). Landslide types and procesos. En A. K. Turner, & R. L. Schuster, *Landslides: Investigation and Mitigation. Special Report 247* (págs. 36-75). Washington : National Academy Press.
- De Smith, M. J., Goodchild, M. F., & Longley, P. A. (2018). *Geospatial Analysis: A Comprehensive Guide to Principles Techniques and Software Tools* (Sixth ed.). Obtenido de <https://www.spatialanalysisonline.com/>
- Diario Concepción. (19 de Agosto de 2021). *Cores aprueban polémico Plan Regulador Metropolitano*. Obtenido de Diario Concepción: <https://www.diarioconcepcion.cl/politica/2021/08/18/dilacion-y-falta-de-informes-las-posturas-del-core-ante-la-votacion-del-prmc.html>
- Dirección Meteorológica de Chile. (febrero de 2022). *Anuario Climatológico*. Obtenido de Dirección Meteorológica de Chile: <https://climatologia.meteochile.gob.cl/application/requerimiento/producto/RE2020>
- Dollfus, O. (1978). *El análisis geográfico* . Barcelona: oiko-tau.

- Dollfus, O. (1982). *El espacio Geográfico*. Barcelona: oikos-tau.
- Dollfus, O. (1991). Capítulo 5. Riesgos naturales y limitaciones físicas. En O. Dollfus, *TERRITORIO ANDINOS: reto y memoria*. (págs. 83-100). Lima: Institut français d'études andines, Instituto de Estudios Peruanos.
- Duo, G.-l., Zhang, Y.-s., Iqbal, J., & Yao, X. (2017). Landslide susceptibility mapping using an integrated model of information value method and logistic regression in the Bailongjiang watershed, Gansu Province, China. *J. Mt. Sci.*, 249-268.
- Echeverría, M. T. (1997). CARTOGRAFÍA GEOMOFOLÓGICA TEMÁTICA Y APLICADA. En J. L. Peña, *CARTOGRAFÍA GEOMORFOLÓGICA BÁSICA Y APLICADA* (págs. 145-182). Logroño: GEOFORMA Ediciones, S.L.
- EL SUR. (20 de junio de 1991). En cerro Zaror en Talcahuano Alud sepultó a una madre e hijo menor. *EL SUR*.
- EL SUR. (26 de Junio de 1993). Polémicas ladrilleras. *EL SUR*.
- EL SUR. (9 de Octubre de 1994). Evidente riesgo aluviones existe en cerros de Palomares. *EL SUR*.
- EL SUR. (7 de Junio de 1994). Trampas de lodo en el camino. *EL SUR*.
- EL SUR. (31 de Julio de 1997). Una mujer murió aplastada en La Pólvora. Lluvia provocó secuela de derrumbes en la provincia. *EL SUR*.
- EL SUR. (24 de Junio de 1999a). Varias familias damnificadas dejó aluvión de barro sobre viviendas. *EL SUR*.
- EL SUR. (7 de Julio de 1999b). En quebradas de Chiguayante. Muro evitará que sigan los derrumbes. *EL SUR*, pág. 8.
- EL SUR. (18 de Abril de 2001). Serviu rescinde contrato a la constructora Barrio Modelo. *EL SUR*.
- EL SUR. (6 de Julio de 2002). Aseguran taludes del Barrio Modelo. *EL SUR*, pág. 2002.

- ESRI. (22 de Septiembre de 2022). *ArcGIS PRO*. Obtenido de Métodos de clasificación de datos: <https://pro.arcgis.com/es/pro-app/latest/help/mapping/layer-properties/data-classification-methods.htm>
- Essmann, C. (1997). "Zonificación, análisis y evaluación de los desastres naturales en el área metropolitana de Concepción, entre los años 1985-1920". *Memoria para optar al título de profesor de Historia y Geografía*. Concepción: Universidad de Concepción.
- Ferrando, F. (2005). Geomorfología aplicada y desastres: Rol preventivo y Ordenamiento . *Revista de Urbanismo*, Departamento de Urbanismo - FAU - Universidad de Chile.
- Galli, M., Ardizzone, F., Cardinali, M., Guzzetti, F., & Reichenbach, P. (2008). Comparing landslide inventory maps. *Geomorphology*, 268-289.
- Gao, L., Zhang, L. M., Chen, H. X., Fei, K., & Hong, Y. (2021). Topography and geology effects on travel distances of natural terrain landslides: Evidence from a large multi-temporal landslide inventory in Hong Kong. *Engineering Geology*. doi:<https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2021.106266>
- González de Vallejo , L., Ferrer, M., Ortuño, L., & Oteo , C. (2002). *INGENIERÍA GEOLÓGICA*. Madrid: PEARSON.
- Gutiérrez, M. (2008). *GEOMORFOLOGÍA*. Madrid: PEARSON EDUCACIÓN, S.A.
- Guzzetti, F., Carrara, A., Cardinali, M., & Reichenbach, P. (1999). Landslide hazard evaluation: a review of current techniques and their application in a multi-scale study, Central Italy. *Geomorphology*, 31, 181-216. doi:[doi:10.1016/s0169-555x\(99\)00078-1](https://doi.org/10.1016/s0169-555x(99)00078-1)
- Haggett, P. (1994). *GEOGRAFÍA. Una síntesis moderna*. Barcelona: EDICIONES OMEGA S.A.
- Hauser, A. (2000). *REMOCIONES EN MASA EN CHILE*. SERVICIO NACIONAL DE GEOLOGÍA Y MINERÍA.



- Herrero, M. (1988). Método de trabajo para la formación y el diseño de mapas geomorfológicos. *Anales de Geografía de la Universidad Complutense*(8), 25-39.
- Hervás, J., & Bobrowsky, P. (2009). Mapping: Inventories, Susceptibility, Hazard and Risk. En K. Sassa, & P. Canuti, *Landslides – Disaster Risk Reduction* (págs. 321-348). Springer- Verlag Berlin Heidelberg.
- Hervé, F. (1988). Late Paleozoic Subduction and Accretion in Southern Chile. *Episodes*, 11(3), 183-188. doi:<https://doi.org/10.18814/epiiugs/1988/v11i3/005>
- Hervé, F., Godoy, E., Parada, M., Ramos, V., Rapela, C., Mpodozis, C., & Davidson, J. (1987). A general view on the Chilean-Argentine Andes, with emphasis on their early. (J. Francheteau, & J. Monger, Edits.) *Geodynamics Series*, 18, 97-113.
- Highland, L., & Bobrowsky, P. (2008). *The Landslide Handbook - A Guide to Understanding Landslides*. Reston, Virginia: U.S. Geological Survey.
- Huang, W., Ding, M., Li, Z., Zhuang, J., Yang, J., Li, X., . . . Dong , Y. (2022). An Efficient User-Friendly Integration Tool for Landslide An Efficient User-Friendly Integration Tool for Landslide An Efficient User-Friendly Integration Tool for Landslide. *Remote sensing*. doi: <https://doi.org/10.3390/rs14143408>
- Huggett, R. (2017). *Fundamentals of Geomorphology*. New York: Routledge.
- Hungr, O., Leroueil, S., & Picarelli, L. (2013). The Varnes classification of landslide types, an update. *Landslides*, 11, 167-194. doi:10.1007/s10346-013-0436-y
- INE. (2022). *Instituto Nacional de Estadísticas de Chile*. Obtenido de INE: <https://www.ine.cl/>
- Instituto Nacional de Estadísticas . (2019). *Estimaciones y Proyecciones a Nivel Regional de la Población en de Chile 2002-2035*. INE.

- Iroume, A., Gayoso, J., & Hernandez, M. (1994). Caracterización de cárcavas en las regiones VIII y IX de Chile. *BOSQUE*, 65-75.
- Jaque, E. (2008). Geomorfología de la cuenca del río Andalién, Chile. *Revista Geográfica* 143, 97-116.
- Khan, H., Shafique, M., Khan, M., Bacha, M., & Shah, S. (2019). Landslide susceptibility assessment using Frequency Ratio, a case study of northern Pakistan. *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Sciences*, 11-24.
- Kumar, A., Kumar, R. S., & Kumar, V. B. (2019). GIS-based comparative study of information value and frequency ratio method for landslide hazard zonation in a part of mid-Himalaya in Himachal Pradesh. *Innovative Infrastructure Solutions*.
- Lacoste, Y. (1976). *géographie du sous-développement*. Vendôme: PRESSES UNIVERSITAIRES DE FRANCE.
- Lario, J., & Bardaji, T. (2016). *INTRODUCCIÓN A LOS RIESGOS GEOLÓGICOS*. Madrid: UNIVERSIDAD NACIONAL DE EDUCACIÓN A DISTANCIA.
- Legorreta, G., Bursik, M., Solene, P., Lugo, J., Paredes, L., & Aceves, F. (2014). Inventario multitemporal, análisis de susceptibilidad y estimación de volumen de deslizamientos en el flanco SW del volcán Pico de Orizaba, Puebla-Veracruz. *BOLETÍN DE LA SOCIEDAD GEOLÓGICA MEXICANA*, 66, 343-354.
- López, P. (2013). EVALUACIÓN DE PELIGROSIDAD POR PROCESOS DE REMOCIÓN EN MASA EN LOS CERROS LA UNIÓN Y ZAROR. COMUNA DE TALCAHUANO, REGIÓN DEL BIOBÍO - CHILE. *Tesis para optar al Título de Geógrafo*. Concepción: Universidad de Concepción.
- López, P. (2015). Análisis de umbrales de precipitación de procesos de remoción en masa, en laderas urbanizadas de la costa de Chile centro-sur. *Cuadernos de Geografía - Revista Colombiana de Geografía*, 93-112.

- López, P., Qüense, J., Henríquez, C., & Martínez, C. (2021). Applicability of spatial prediction models for landslide susceptibility in land-use zoning instruments: a guideline in a coastal settlement in South-Central Chile. *Geocarto International*. doi:<https://doi.org/10.1080/10106049.2021.1939440>
- Luebert, F., & Pliscoff, P. (2004). *CLASIFICACIÓN DE ECOSISTEMAS TERRESTRES Y ANÁLISIS DE LA REPRESENTATIVIDAD ECOLÓGICA DE ÁREAS PROPUESTAS PARA LA PROTECCIÓN EN LA ECORREGIÓN VALDIVIANA*. Valdivia: WWF Chile.
- Luebert, F., & Pliscoff, P. (2017). *Sinopsis bioclimática y vegetacional de Chile*. Editorial Universitaria.
- Luo, L., Pei, X., Zhong, C., Yang, Q., Fan, X., Zhu, L., & Huang, R. (2022). Multi-Temporal Landslide Inventory-Based Statistical Susceptibility Modeling Associated With the 2017 Mw 6.5 Jiuzhaigou Earthquake, Sichuan, China. *Frontiers in Environmental Science*. doi:<https://doi.org/10.3389/fenvs.2022.858635>
- Ma, S., Qiu, H., Hu, S., Yang, D., & Liu, Z. (2021). Characteristics and geomorphology change detection analysis of the Jiangdingya landslide on July 12, 2018, China. *Landslides*, 383-396. doi:10.1007/s10346-020-01530-3
- Magliulo, P., Di Lisio, A., Russo, F., & Zelano, A. (2008). Geomorphology and landslide susceptibility assessment using GIS and bivariate statistics: a case study in southern Italy. *Nat Hazards*, 411-435.
- Mancini, F., Ceppi, C., & Ritrovato, G. (2010). GIS and statistical analysis for landslide susceptibility mapping in the Daunia area, Italy. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 1851-1864. doi:10.5194/nhess-10-1851-2010
- Mardones , M., & Brito, M. (1979). *El sitio geomorfológico de las ciudades de Concepción y Talcahuano*. Concepción: Universidad de Concepción (Chile). Departamento de Geografía.

- 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., & Vidal, C. (2001). La zonificación y evaluación de los riesgos naturales de tipo geomorfológico: un instrumento para la planificación urbana en la ciudad de Concepción. *eure*, 97-122.
- Mardones, M., Echeverría, F., & Jara, C. (2004). Una contribución al estudio de los desastres naturales en Chile centro sur: efectos ambientales de las precipitaciones del 26 de junio del 2005 en el área metropolitana de Concepción. *Revista Investigaciones Geográficas*, 1-25. doi:10.5354/0719-5370.2004.27748
- Mardones, M., Rodríguez, A., & Soto, J. (1994). Los riesgos naturales en la comuna de Talcahuano. *7° Congreso Geológico Chileno*. 1, págs. 653-656. Concepción: Universidad de Concepción. Obtenido de [http://biblioserver.sernageomin.cl/opac/DataFiles/7166pp653\\_656.pdf](http://biblioserver.sernageomin.cl/opac/DataFiles/7166pp653_656.pdf)
- Marín, M., Muñoz , A., & Naranjo, J. (2018). Víctimas fatales causadas por remociones en masa en Chile (1928-2017). *XV CONGRESO GEOLÓGICO CHILENO*, (págs. 216-219). Concepción.
- Marquina, J. (2018). Niveles y escalas de levantamiento de información geográfica en sensores remotos. *Revista Geográfica Venezolana*, 59(1), 42-52.
- Martínez, C., Jaque, C., & Fernández, A. (2008). *LOS SISTEMAS INTEGRALES NATURALES INTEGRADOS EN GEOGRAFÍA*. Concepción: Facultad de Arquitectura, Urbanismo y Geografía.
- Meena, S., Puliero, S., Buyhan, K., Floris, M., & Catani, F. (2022). Assessing the importance of conditioning factor selection in landslide susceptibility for the province of Belluno (region of Veneto, northeastern Italy). *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 1325-2022. doi:<https://doi.org/10.5194/nhess-22-1395-2022>

- Ministerio de Vivienda y Urbanismo. (2022). *Área Urbana de la Ciudades Chilena 1993 - 2020*. Obtenido de GEOPORTAL IDE MINVU: <https://ide.minvu.cl/maps/%C3%A1rea-urbana-de-la-ciudades-chilena-1993-2020/about>
- Ministerio de Vivienda y Urbanismo. (2015). *Zonificación Plan Regulador Metropolitano de Concepción*. Obtenido de IDE CHILE: <http://www.geoportal.cl/geoportal/catalog/search/resource/details.page?uuid=%7B14D75554-0313-4191-9D09-E6212952E6D4%7D>
- MINVU. (2013). *Imágenes y Cartografía Base para el área Metropolitana de Concepción, Región del Bío Bío*.
- Mora, H. (2016). SUSCEPTIBILIDAD A PROCESOS DE REMOCIONES EN MASA EN LA INTERFAZ URBANA DE CERRO MANQUIMAVIDA COMUNA DE CHIGUAYANTE, REGIÓN DEL BIOBÍO, CHILE. *TESIS PARA OPTAR AL TÍTULO DE GEÓGRAFA*. Concepción: Universidad de Concepción.
- Muñoz, J. (1995). *Geomorfología General*. Madrid: Editorial Síntesis.
- Naranjo , J., Arenas, M., & Ramírez, P. (2006). *REMOCIONES EN MASA CAUSADAS POR LAS PRECIPITACIONES DE LOS DÍAS 9 AL 11 DE JULIO DE 2006, EN ALGUNOS SECTORES DE LA PROVINCIA DE CONCEPCIÓN*. Servicio Nacional de Geología y Minería.
- 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.
- Oliveira, C. S., Neves, C. E., & Marques Neto, R. (2021). A filosofia e o método da abordagem geossistêmica na Geografia Física. *Ateliê Geográfico*, 87-107.
- Peña, F. (1995). Geomorfología de la ribera norte del Río Biobío en su curso inferior. Limitaciones y potencialidades del área. *Revista Geográfica del Norte Grande*, 27-33.

- Peña, F., Tavares, C., & Mardones, M. (1993). Las condiciones climáticas como factor de riesgo natural en la comuna de Talcahuano. *Rev. Geográfica de Chile Terra Australis*, 83-107.
- Peña, J. L. (1997). LOS MAPAS GEOMORFOLÓGICOS: CARACTERÍSTICAS Y TIPOS. En J. L. Peña, *CARTOGRAFÍA GEOMORFOLÓGICA BÁSICA Y APLICADA* (págs. 13-24). Logroño: GEOFORMA Ediciones, S.L.
- Peña, J. L., Pellicer, F., Chueca, J., & Julián, A. (1997). LEYENDAS PARA MAPAS GEOMORFOLÓGICOS A ESCALAS 1:100.000/1:200.000 Y 1:25.000/1:50.000. En J. L. Peña, *CARTOGRAFÍA GEOMORFOLÓGICA BÁSICA Y APLICADA* (págs. 129-146). Logroño: GEOFORMA ediciones, S.L.
- Peña, J., Lozano, M. V., Sánchez, M., Chueca, J., Julián, A., Pellicer, F., . . . Sancho, C. (1997). *CARTOGRAFÍA GEOMORFOLÓGICA BÁSICA Y APLICADA*. Logroño: GEOFORMA ediciones, S.L.
- Pradhan, A., & Kim, Y. (2017). Spatial data analysis and application of evidential belief functions to shallow landslide susceptibility mapping at Mt. Umyeon, Seoul, Korea. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 1263–1279. Obtenido de <https://doi.org/10.1007/s10064-016-0919-x>
- Quinzio, L. A., Bonilla, R. U., Gonzáles, A. E., & Gonzáles, L. (2010). GEOLOGÍA DEL SECTOR COSTERO COSTERO PROVINCIA DE CONCEPCIÓN. *Mapa realizado por los cursos de Geología de Campo II de la Carrera de Geología de la Universidad de Concepción entre los años 1998 y 2010*. Concepción, Chile: Universidad de Concepción.
- Reclus, É. (1903). *JEOGRAFÍA DE CHILE*. (E. O'RYAN, Trad.) SANTIAGO: LIBRERÍA, IMPRENTA I ENCUADERNACIÓN de Guillermo E. Miranda.
- Rodríguez-García, A., García-Meléndez, E., & Menéndez-Duarte, R. (2016). Movimientos de Ladera. En J. Lario, & T. Bardají, *INTRODUCCIÓN A LOS RIESGOS GEOLÓGICOS* (págs. 145-185). Madrid: Universidad Nacional de Educación a Distancia.

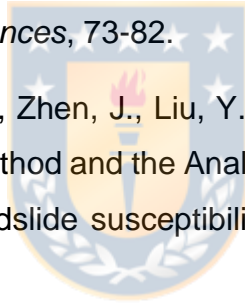
- Rojas, C., Opazo, R., & Jaque, E. (2009). DINÁMICA Y PATRONES DE CRECIMIENTO URBANO DEL ÁREA METROPOLITANA DE CONCEPCIÓN. TENDENCIAS DE LAS ÚLTIMAS DÉCADAS. En I. D. CHILE, *CHILE: DEL PAÍS URBANO AL PAÍS METROPOLITANO*.
- Sabatini, F., & Soler, F. (1995). PARADOJA DE LA PLANIFICACION URBANA. *EURE*, 61-73.
- Samia, J., Temme, A., Bregt, A., Wallinga, J., Guzzetti, F., & Ardizzone, F. (2020). Dynamic path-dependent landslide susceptibility modelling. *Natural Hazard and Earth System Sciences*, 271-285.
- Schneider, G. (2002). Las formas de la ciudad a la hora de la globalización. En S. Alderoqui, & P. Penshansky, *Ciudad y ciudadanos : Aportes para la enseñanza del mundo urbano* (págs. 143-168). Buenos Aires: Paidós.
- Secretaría Regional Ministerial de Vivienda y Urbanismo Región del Biobío. (2017). *MEMORIA EXPLICATIVA. MODIFICACIÓN PLANO REGULADOR METROPOLITANO DE CONCEPCIÓN*. Ministerio de Vivienda y Ubanismo.
- SERNAGEOMIN. (2010). *EFFECTOS GEOLOGICOS DEL SISMO DEL 27 DE FEBRERO DE 2010: OBSERVACIONES DE DAÑOS Y EVALUACION DE RIESGOS GEOLOGICOS EN LA COMUNA DE CONCEPCIÓN (INF-BIOBIO-47)*. Obtenido de [https://portalgeo.sernageomin.cl/Informes\\_PDF\\_Nac/RM-2010-36.pdf](https://portalgeo.sernageomin.cl/Informes_PDF_Nac/RM-2010-36.pdf)
- SERNAGEOMIN. (22 de Septiembre de 2022). *Portal GEOMIN*. Obtenido de Servicio Nacional de Geología y Minería: <https://portalgeominbeta.sernageomin.cl/>
- Servicio Nacional de Geología y Minería. (25 de Abril de 2022). *Portal GEOMIN*. Obtenido de Catálogo Nacional de Información Geológica y Minera: <https://portalgeominbeta.sernageomin.cl/>

- Sheng, M., Jianqi, Z., Chen, X., Teng, Y., Hong, A., & Liu, G. (2022). Landslide Susceptibility Prediction Based on Frequency Ratio Method and C5.0 Decision Tree Model. *Frontiers in Earth Science*.
- Silalahi, F., Pamela, Arifanti, Y., & Hidayat, F. (2019). Landslide susceptibility assessment using frequency ratio model in Bogor, West Java, Indonesia. *Geoscience Letters*. doi:<https://doi.org/10.1186/s40562-019-0140-4>
- Soeters, R., & Van Westen, C. J. (1996). Slope instability recognition, analysis, and zonation. En A. K. Turner, & R. L. Schuster, *Landslides: Investigation and Mitigation, Special Report 247* (págs. 129-177). Washington: National Academy Press.
- Sorricolea, P., Meseguer-Ruiz, O., & Herrera-Ossandon, M. (2017). Climatic regionalisation of continental Chile. *Journal of Maps*, 13, 66-73. doi:10.1080/17445647.2016.1259592
- Strahler, A. N., & Strahler, A. H. (2005). *Geografía física* (Tercera ed.). (M. Barrutia, & P. Sunyer, Trads.) Barcelona: EDICIONES OMEGA.
- Subsecretaría de Desarrollo Regional y Administrativo. (2020). *División Política Administrativa 2020*. Obtenido de IDE CHILE: <http://www.geoportal.cl/geoportal/catalog/search/resource/details.page?uuid=%7BCFF07BC2-103F-42CD-B4CB-0AE4C5C6A9A4%7D>
- Summerfield, M. (2013). *Global Geomorphology*. New York: Routledge.
- 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.



- Torrejón, F., King, C., & Virano, P. (2002). EL AUGE DE LA CIUDAD DE CONCEPCION EN PENCO, LAS VARIABLES GEOHISTORICAS DEL SIGLO XVII. *Expresión Local Urbana*, 73-79.
- Tricart, J. (1979). Mapas geomorfológicos, ¿por qué? *ACTA GEOLÓGICA HISPÁNICA. Homenatge a Lluís Solé i Sabarís*, (págs. 416-420).
- Tricart, J., & Kilian, J. (1982). *LA ECO-GEOGRAFÍA Y LA ORDENACIÓN DEL MEDIO NATURAL*. Barcelona: EDITORIAL ANAGRAMA.
- UN-Habitat. (2020). *World Cities Report 2020: The Value of Sustainable Urbanization*. Nairobi, Kenya: UN-Habitat.
- UNISDR. (2004). *Living with Risk. A global review of disaster reduction initiatives*. New York and Geneva: United Nations.
- United States Geological Survey. (13 de marzo de 2022). *How many deaths result from landslides each year?* Obtenido de USGS: <https://www.usgs.gov/faqs/how-many-deaths-result-landslides-each-year>
- United Nations International Strategy for Disaster Reduction. (2009). *UNISDR Terminology on Disaster, Risk and Reduction*. United Nations.
- USGS. (2004). *Landslide Types and Processes*. Obtenido de USGS: <https://pubs.usgs.gov/fs/2004/3072/>
- USGS. (27 de Noviembre de 2018). *Remote Sensing Phenology*. Obtenido de NDVI, the Foundation for Remote Sensing Phenology: [https://www.usgs.gov/special-topics/remote-sensing-phenology/science/ndvi-foundation-remote-sensing-phenology#:~:text=NDVI%20values%20range%20from%20%2B1.0,\(approximately%200.2%20to%200.5\)](https://www.usgs.gov/special-topics/remote-sensing-phenology/science/ndvi-foundation-remote-sensing-phenology#:~:text=NDVI%20values%20range%20from%20%2B1.0,(approximately%200.2%20to%200.5).).
- Vakhshoori, V., & Zare, M. (2018). Is the ROC curve a reliable tool to compare the validity of landslide susceptibility maps? *Geomatics, Natural Hazards and Risk*, 249-266.

- Venegas, V., Soto, M., & ARAYA-VERGARA, J. (2015). Grado de persistencia morfológica de las formas estuariales del Maule (Chile Central) desde 1944 hasta 2011. *Investigaciones Geográficas Universidad de Chile*(49), 31-50.
- Wang, Q., Li, W., Xing, M., Wu, Y., Pei, Y., Yang, D., & Bai, H. (2016). Landslide susceptibility mapping at Gongliu county, China using artificial Landslide susceptibility mapping at Gongliu county, China using artificial. *Geosciences Journal*, 20(5), 705-718. doi:10.1007/s12303-016-0003-3
- Wubalem, A. (2021). Landslide susceptibility mapping using statistical methods in Uatzau catchment area, northwestern Ethiopia. *Geoenvironmental Disasters* , 1-21.
- Zêzere, J. L. (2002). Landslide susceptibility assessment considering landslide typology. A case study in the area north of Lisbon (Portugal). *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 73-82.
- 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.



## 12 ANEXOS

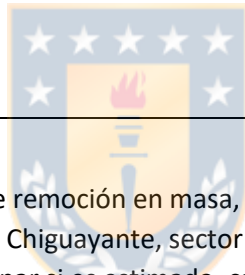
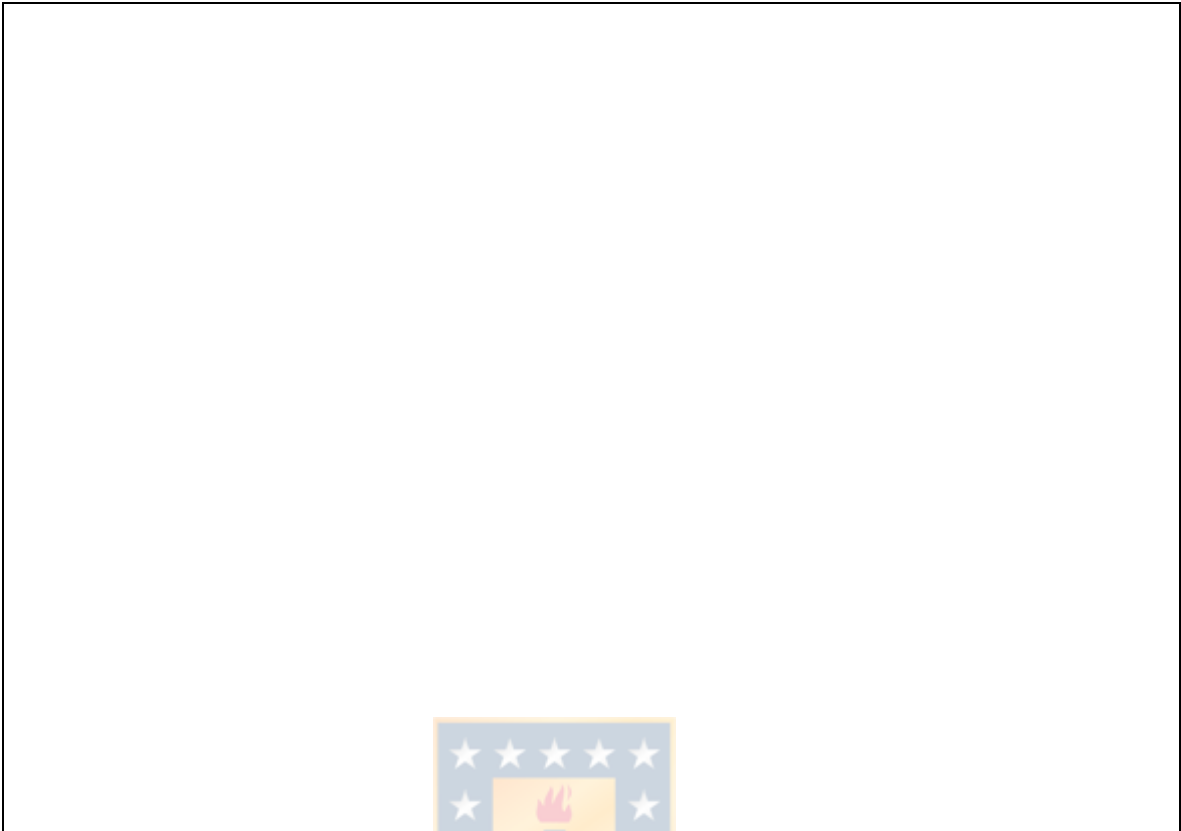
### 12.1 Anexo 1: Formularios de Fichas





**Anexo 1 A Ficha de Inventario de Procesos de Remociones en Masa en el Área Metropolitana de Concepción, Región del Biobío, Chile basado en Prensa Local.**

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



- Si no se menciona el tipo de remoción en masa, indicar lo que describe el diario
- Ubicación relativa: Comuna Chiguayante, sector Leonera
- Costo de los daños (mencionar si es estimado, calculado, etc)
- En otros datos, agregar toda la información extra que reporta el diario. Ej: “el año anterior ya se había visto afectado por un evento similar”, “transportando 100 m<sup>3</sup> de barro”, “llegando hasta la costanera, recorriendo unos 10 km”.
- Ubicación aproximada Punto en el espacio

**Anexo 1 B Ficha de Inventario de Procesos de Remoción en Masa en el Área Metropolitana de Concepción, Región del Biobío, Chile.**

FECHA			COORDENADAS UTM		
LUGAR		COMUNA		FECHA DE OCURRENCIA	
SUPERFICIE		ÁREA DE LA CORONA		ÁREA DEL DEPÓSITO	
USO DEL SUELO		VOLUMEN		PROFUNDIDAD ESTIMADA	
DAÑOS		VELOCIDAD DEL MOVIMIENTO		ALCANCE	
<b>TIPOLOGÍA DE PROCESOS</b>					
DESPLAZAMIENTOS	ROTACIONALES <input type="checkbox"/>	TRASLACIONALES <input type="checkbox"/>	PROPAGACIONES LATERALES <input type="checkbox"/>		
MATERIAL REMOVIDO	ROCA <input type="checkbox"/>	ESCOMBROS <input type="checkbox"/>	TIERRA <input type="checkbox"/>		
DESPRENDIMIENTO O CAIDAS	<input type="checkbox"/>	VUELCOS <input type="checkbox"/>			
FLUJOS	ESCOMBROS <input type="checkbox"/> TIERRA <input type="checkbox"/> BARRO <input type="checkbox"/>				
<b>FACTORES CONDICIONANTES</b>					
GEOTECNIA	TIPO DE ROCA				
	TIPO DE SUELO				
	METEORIZACIÓN				
	BUZAMIENTO				
	DIACLASAS				
	FALLAS				
	PLEGAMIENTOS				
	ESTRATOS				
GEOMORFOLOGÍA	COTA ALTA				
	COTA BAJA				
	PENDIENTE				
	FORMA DE LADERA		RECTA	<input type="checkbox"/>	
			CÓNCAVA	<input type="checkbox"/>	
			CONVEXA	<input type="checkbox"/>	
EXPOSICIÓN					
GRADO DE ACTIVIDAD					
VEGETACIÓN	ESCASA		<input type="checkbox"/>		
	ABUNDANTE		<input type="checkbox"/>		
	DEFORMACIÓN DE ARBOLES		<input type="checkbox"/>		
HIDROGEOLÓGICAS	Observación:				
ACTIVIDAD ANTRÓPICA	Observación:				
<b>FACTORES DESENCADENANTES</b>					
PRECIPITACIÓN <input type="checkbox"/>	INTENSIDAD pp. mm/24 hrs.		PRECIPITACIONES ANTECEDENTES		
SISMO <input type="checkbox"/>			MAGNITUD		

## 12.2 Anexo 2: Inventarios de PRM



**Anexo 2 A Inventario de PRM basado en prensa (1990-2020).**

ID	FECHA DE OCURRENCIA	TIPO RM	LOCALIZACIÓN APROXIMADA		FACTOR DESENCADENANTE
			ESTE	NORTE	
TNO19900403_0000	01 de abril de 1990	Deslizamiento de tierra	668562	5932280	Desconocido
CON19900517_0000	17 de mayo de 1990	Deslizamiento de tierra	672328	5923970	Precipitaciones
CON19900715_0000	15 de julio de 1990	Deslizamiento de tierra	674624	5921650	Precipitaciones
CON19900907_0000	07 de septiembre de 1990	Deslizamiento de tierra	675000	5924260	Desconocido
CON19910528_0000	27-28 de mayo de 1991	Deslizamiento de tierra	674964	5924260	Precipitaciones
TNO19910619_0000	19 de junio de 1991	Deslizamiento de rocas y suelo, y flujo de barro	667664	5934796	Precipitaciones
TNO19910619_0001	19 de junio de 1991	Deslizamiento de suelo	667512	5934616	Precipitaciones
CON19910707_0000	07 de julio de 1991	Flujo de barro	674971	5924240	Precipitaciones
CHE19910718_0000	18 de julio de 1991	Deslizamiento de tierra	674873	5917940	Precipitaciones
CHE19910718_0001	18 de julio de 1991	Deslizamiento de tierra	674606	5917670	Precipitaciones
TNO19920123_0000	23 de enero de 1992	Extensión lateral	666520	5933760	Acción antrópica
TNO19920503_0000	03 de mayo de 1992	Deslizamiento de tierra	667652	5934810	Precipitaciones
CON19920521_0000	21 de mayo de 1992	Deslizamiento de tierra	676260	5922800	Precipitaciones
TNO19920521_0000	21 de mayo de 1992	Deslizamiento de tierra	668404	5934560	Precipitaciones
TNO19920521_0001	21 de mayo de 1992	Deslizamiento de tierra	668377	5934630	Precipitaciones
CON19920530_0000	30 de mayo de 1992	Deslizamiento de tierra	680770	5924210	Precipitaciones



ID	FECHA DE OCURRENCIA	TIPO RM	LOCALIZACIÓN APROXIMADA		FACTOR DESENCADENANTE
			ESTE	NORTE	
CHE19920609_0000	09 de junio de 1992	Flujo de barro	676004	5913260	Precipitaciones
TNO19920609_0000	09 de junio de 1992	Deslizamiento de tierra	668290	5935810	Precipitaciones
CON19920609_0001	09 de junio de 1992	Deslizamiento de tierra	676596	5922590	Precipitaciones
CON19920609_0002	09 de junio de 1992	Deslizamiento de tierra	679394	5922940	Precipitaciones
TNO19920609_0001	09 de junio de 1992	Deslizamiento de tierra	667587	5934710	Precipitaciones
TNO19920623_0000	23 de junio de 1992	Deslizamiento de tierra	670265	5943670	Precipitaciones
TNO19920701_0000	01 de julio de 1992	Deslizamiento de tierra	668106	5934710	Precipitaciones
CON19920705_0000	05 de julio de 1992	Flujo de barro	676721	5922350	Precipitaciones
TNO19930603_0000	03 de junio de 1993	Deslizamiento de tierra	667081	5934370	Precipitaciones
CON19930604_0000	04 de junio de 1993	Deslizamiento de tierra	675515	5922890	Precipitaciones
CON19930606_0000	06 de junio de 1993	Deslizamiento de tierra	674542	5919830	Precipitaciones
CON19930606_0001	06 de junio de 1993	Deslizamiento de tierra	675299	5924630	Precipitaciones
TNO19930730_0000	30 de julio de 1993	Deslizamiento de tierra	668195	5935710	Desconocido
CHE19940607_0000	07 de junio de 1994	Flujo de barro	674601	5917590	Precipitaciones
CON19950523_0000	23 de mayo de 1995	Deslizamiento de tierra	674974	5921750	Acción antrópica
CHE19950625_0000	25 de junio de 1995	Deslizamiento de tierra	676219	5913490	Precipitaciones
CON19950704_0000	04 de julio de 1995	Deslizamientos de tierra y flujos de barro	674777	5921380	Precipitaciones

ID	FECHA DE OCURRENCIA	TIPO RM	LOCALIZACIÓN APROXIMADA		FACTOR DESENCADENANTE
			ESTE	NORTE	
CON19950704_0001	04 de julio de 1995	Flujo de barro	672196	5923200	Precipitaciones
CON19950710_0000	10 de julio de 1995	Deslizamiento de tierra	675286	5921800	Precipitaciones
TNO19970118_0000	18 de enero de 1997	Deslizamiento de tierra	668122	5935670	Acción antrópica
CON19970423_0000	23 de abril de 1997	Deslizamiento de tierra	674979	5924440	Precipitaciones
CON19970620_0000	20 de junio de 1997	Flujo de barro	673451	5921470	Precipitaciones
CHE19970622_0000	22 de junio de 1997	Deslizamiento de tierra	677096	5908581	Precipitaciones
CHE19970622_0001	22 de junio de 1997	Deslizamiento de tierra	677475	5909600	Precipitaciones
CON19970705_0000	05 de julio de 1997	Flujo de barro	673451	5921470	Precipitaciones
CON19970721_0000	21 de julio de 1997	Deslizamiento de tierra	674625	5922070	Precipitaciones
TNO19970728_0000	28 de julio de 1997	Flujo de barro	669435	5929450	Precipitaciones
CON19970730_0000	30 de julio de 1997	Deslizamiento de tierra	674936	5924270	Precipitaciones
CON19970730_0001	30 de julio de 1997	Flujo de barro	673466	5921500	Precipitaciones
CON19980528_0000	28 de mayo de 1998	Caída de rocas	673577	5925140	Precipitaciones
CHE19980603_0000	03 de junio de 1998	Deslizamiento de tierra	674678	5917160	Precipitaciones
CHE19990502_0000	02 de mayo de 1999	Flujo de barro	675191	5918040	Precipitaciones
CHE19990623_0000	23 de junio de 1999	Flujo de detritos	676508	5912910	Precipitaciones
CON19990905_0000	05 de septiembre de 1999	Flujo de barro	676870	5922400	Precipitaciones
CON19990905_0001	05 de septiembre de 1999	Flujo de barro	674989	5924280	Precipitaciones
CON19990906_0000	06 de septiembre de 1999	Flujo de barro	678729	5922250	Precipitaciones

ID	FECHA DE OCURRENCIA	TIPO RM	LOCALIZACIÓN APROXIMADA		FACTOR DESENCADENANTE
			ESTE	NORTE	
TNO19990910_0000	10 de septiembre de 1999	Flujo de barro	669436	5929460	Precipitaciones
CON20000602_0000	02 de junio de 2000	Flujo de barro	674690	5925173	Precipitaciones
TNO20000630_0000	30 de junio de 2000	Deslizamiento de tierra	667108	5934410	Precipitaciones
CHE20000630_0000	30 de junio de 2000	Deslizamiento de tierra	676403	5912760	Precipitaciones
TNO20000708_0000	08 de julio de 2000	Deslizamiento de tierra	669843	5943240	Precipitaciones
CON20000814_0000	14 de agosto de 2000	Flujo de barro	678636	5922280	Precipitaciones
CON20000814_0001	14 de agosto de 2000	Flujo de barro	674696	5925167	Precipitaciones
CON20000814_0002	14 de agosto de 2000	Flujo de barro	676961	5922340	Precipitaciones
CON20000909_0000	09 de septiembre de 2000	Flujo de barro	676961	5922340	Precipitaciones
CON20000919_0000	19 de septiembre de 2000	Deslizamiento de tierra	674804	5921730	Precipitaciones
CON20000920_0000	20 de septiembre de 2000	Flujo de barro	675119	5924610	Precipitaciones
CON20010716_0000	16 de julio de 2001	Deslizamiento de tierra	679265	5922890	Precipitaciones
TNO20010805_0000	05 de agosto de 2001	Deslizamiento de tierra	668351	5935710	Precipitaciones
CON20010801_0000	01 de agosto de 2001	Flujo de barro	677235	5922100	Precipitaciones
CON20010801_0001	01 de agosto de 2001	Flujo de barro	677495	5920260	Precipitaciones
CON20010801_0002	01 de agosto de 2001	Deslizamiento de tierra	679265	5922890	Precipitaciones
CHE20010830_0000	30 de agosto de 2001	Flujo de escombros	676603	5913030	Precipitaciones
CHE20020603_0000	03 de junio de 2002	Deslizamiento de tierra	675006	5915770	Precipitaciones
CON20020823_0000	23 de agosto de 2002	Deslizamientos de tierra	674477	5921550	Precipitaciones

ID	FECHA DE OCURRENCIA	TIPO RM	LOCALIZACIÓN APROXIMADA		FACTOR DESENCADENANTE
			ESTE	NORTE	
CON20020823_0001	23 de agosto de 2002	Deslizamiento de tierra	673610	5925210	Precipitaciones
CHE20040804_0000	04 de agosto de 2004	Flujo de barro	674663	5917330	Precipitaciones
CON20050626_0000	26 de junio de 2005	Deslizamiento de tierra	674422	5921510	Precipitaciones
CHE20050626_0000	26 de junio de 2005	Flujo de barro	676301	5912240	Precipitaciones
CON20050626_0001	26 de junio de 2005	Deslizamiento de escombros	674936	5924230	Precipitaciones
CHE20050626_0001	26 de junio de 2005	Deslizamiento de tierra	676594	5912150	Precipitaciones
TNO20050626_0000	26 de junio de 2005	Deslizamiento de tierra	669452	5929430	Precipitaciones
CHE20060711_0000	07 de julio de 2006	Flujo de barro	676073	5912290	Precipitaciones
CHE20060711_0001	11 de julio de 2006	Deslizamiento de tierra	676979	5911640	Precipitaciones
TNO20060808_0000	08 de agosto de 2006	Flujos y deslizamientos de tierra	670447	5945020	Precipitaciones
CON20060811_0000	11 de agosto de 2006	Deslizamiento de tierra	678500	5921260	Precipitaciones
CHE20070715_0000	15 de julio de 2007	Flujo de barro	676266	5913300	Precipitaciones
CON20080520_0000	20 de mayo de 2008	Deslizamiento de tierra	675138	5924480	Precipitaciones
CHE20080803_0000	03 de agosto de 2008	Deslizamiento de tierra	674897	5916530	Precipitaciones
CON20080815_0000	15 de agosto de 2008	Deslizamiento de tierra y rocas	675422	5923020	Precipitaciones
CON20080815_0001	15 de agosto de 2008	Deslizamiento de tierra	675166	5924390	Precipitaciones
CON20080827_0000	27 de agosto de 2008	Deslizamiento de tierra	673729	5925290	Precipitaciones
CON20080827_0001	27 de agosto de 2008	Flujo de barro	674951	5925920	Precipitaciones






ID	FECHA DE OCURRENCIA	TIPO RM	LOCALIZACIÓN APROXIMADA		FACTOR DESENCADENANTE
			ESTE	NORTE	
TNO20090524_0000	24 de mayo de 2009	Deslizamiento de tierra	668110	5935650	Precipitaciones
CHE20090618_0000	18 de junio de 2009	Deslizamiento de tierra	674641	5917240	Precipitaciones
CON20090706_0000	06 de julio de 2009	Deslizamiento de tierra	675634	5923570	Precipitaciones
TNO20100705_0000	05 de julio de 2010	Deslizamiento de tierra	668234	5935470	Precipitaciones
TNO20100707_0000	07 de julio de 2010	Deslizamiento de roca y suelo	670500	5944110	Precipitaciones
CHE20100817_0000	17 de agosto de 2010	Deslizamiento de tierra	674614	5917340	Precipitaciones
TNO20130527_0000	27 de mayo de 2013	Deslizamiento de suelo	670177	5943500	Precipitaciones
CON20140329_0000	29 de marzo de 2014	Deslizamiento de suelo	675243	5924670	Precipitaciones
CHE20140603_0000	03 de junio de 2014	Deslizamiento de tierra	674618	5917340	Precipitaciones
TNO20140729_0000	29 de julio de 2014	Deslizamiento de tierra	670211	5943510	Precipitaciones
TNO20160713_0000	13 de julio de 2016	Deslizamiento de tierra	668180	5935880	Precipitaciones
CHE20170516_0000	16 de mayo de 2017	Flujo de barro	676293	5914300	Precipitaciones
CON20170621_0000	21 de junio de 2017	Flujo de barro	682696	5925180	Precipitaciones
TNO20170901_0000	01 de septiembre de 2017	Deslizamiento de suelo	668415	5934700	Precipitaciones
CON20170901_0000	01 de septiembre de 2017	Deslizamiento de suelo	677973	5922080	Precipitaciones
CHE20180705_0000	05 de julio de 2018	Deslizamiento de tierra	676330	5912630	Precipitaciones
CON20180925_0000	25 de septiembre de 2018	Deslizamiento de tierra	687809	5922790	Desconocido

ID	FECHA DE OCURRENCIA	TIPO RM	LOCALIZACIÓN APROXIMADA		FACTOR DESENCADENANTE
			ESTE	NORTE	
CHE20190613_0000	13 de junio de 2019	Deslizamiento de suelo	675301	5917120	Precipitaciones
HPN20190616_0000	16 de junio de 2019	Vuelco y Caída de rocas	663765	5925320	Precipitaciones

Fuente: Elaboración propia en base al Diario el Sur. Sistema de Coordenadas: WGS 1984 UTM Zona 18 S.



**Anexo 2 B Inventario de PRM identificados en Terreno.**







ID	T_CON20220713_000	
Coordenadas UTM	674628 E; 5921697 N	
Tipo RM y Estado de Actividad	Deslizamiento de Tierra Activo	
Fecha del Reporte	13 de julio de 2022	
Sector/Comuna	Agüita de la Perdiz Concepción	
ID	T_CON20220816_002	
Coordenadas UTM	674621,28 E; 5921654,74 N	
Tipo RM y Estado de Actividad	Deslizamiento de Tierra Activo	
Fecha del Reporte	16 de agosto de 2022	
Sector/Comuna	Agüita de la Perdiz, Concepción	
ID	T_CON20220816_003	
Coordenadas UTM	674650,71 E; 5921668,75 N	
Tipo RM y Estado de Actividad	Deslizamiento de Tierra Activo	
Fecha del Reporte	16 de agosto de 2022	
Sector/Comuna	Agüita de la Perdiz, Concepción	
ID	T_CON20220816_004	
Coordenadas UTM	674611,43 E; 5921660,49 N	
Tipo RM y Estado de Actividad	Deslizamiento de Tierra Activo	
Fecha del Reporte	16 de agosto de 2022	
Sector/Comuna	Agüita de la Perdiz, Concepción	
ID	T_CON20220816_005	
Coordenadas UTM	674706,36 E; 5921695,68 N	
Tipo RM y Estado de Actividad	Deslizamiento de Tierra Activo	
Fecha del Reporte	16 de agosto de 2022	
Sector/Comuna	Agüita de la Perdiz, Concepción	

**Anexo 2 B (Continuación) Inventario de PRM identificados en Terreno.**





ID	T_CON20220827_014	
Coordenadas UTM	675040 E; 5921753 N	
Tipo RM y Estado de Actividad	Deslizamiento de Tierra Activo	
Fecha del Reporte	27 de agosto de 2022	
Sector/Comuna	Agüita de la Perdiz, Concepción	
ID	T_CHE20220819_000	
Coordenadas UTM	676051,76 E; 5912539,08 N	
Tipo RM y Estado de Actividad	Deslizamiento de Tierra Activo	
Fecha del Reporte	19 de agosto de 2022	
Sector/Comuna	Chiguayante	
ID	T_CHE20220819_001	
Coordenadas UTM	676057,67 E; 5912544,85 N	
Tipo RM y Estado de Actividad	Deslizamiento de Tierra Activo	
Fecha del Reporte	19 de agosto de 2022	
Sector/Comuna	Chiguayante	
ID	T_CHE20220819_002	
Coordenadas UTM	676038,11 E; 5912526,53 N	
Tipo RM y Estado de Actividad	Caída de Roca Activa	
Fecha del Reporte	19 de agosto de 2022	
Sector/Comuna	Chiguayante	
ID	T_CHE20220819_003	
Coordenadas UTM	676028,87 E; 5912515,98 N	
Tipo RM y Estado de Actividad	Caída de Roca Activa	
Fecha del Reporte	19 de agosto de 2022	
Sector/Comuna	Chiguayante	
ID	T_CHE20220819_004	
Coordenadas UTM	676251,68 E; 5912618,73 N	
Tipo RM y Estado de Actividad	Deslizamiento de Tierra Activo	
Fecha del Reporte	16 de agosto de 2022	
Sector/Comuna	René Schneider, Chiguayante	








**Anexo 2 B (Continuación) Inventario de PRM identificados en Terreno.**

ID	T_CHE20220824_000	
Coordenadas UTM	676042,88 E; 5912515,72	
Tipo RM y Estado de Actividad	Flujo de Barro Activo	
Fecha del Reporte	19 de agosto de 2022	
Sector/Comuna	Chiguayante	
ID	T_TNO20220708_000	 Gentileza de Francisco Castro
Coordenadas UTM	670420 E; 5928806 N	
Tipo RM y Estado de Actividad	Deslizamiento de Tierra y Roca	
Fecha del Reporte	8 de julio de 2022	
Sector/Comuna	Cerro San Miguel, Talcahuano	
ID	T_CON20220827_000	 Gentileza de Francisco Castro
Coordenadas UTM	674314,58 E; 5921861,92 N	
Tipo RM y Estado de Actividad	Deslizamiento de tierra Activo	
Fecha del Reporte	27 de agosto de 2022	
Sector/Comuna	Cerro Caracol, Concepción	
ID	T_CON20220608_000	
Coordenadas UTM	674488 E; 5922014 N	
Tipo RM y Estado de Actividad	Caída de Roca Activa	
Fecha del Reporte	8 de junio de 2022	
Sector/Comuna	Cerro Caracol, Concepción	
ID	T_CON20220827_001	 Gentileza de Francisco Castro
Coordenadas UTM	674310,06 E; 5921846,24 N	
Tipo RM y Estado de Actividad	Deslizamiento de Tierra Activo	
Fecha del Reporte	27 de agosto de 2022	
Sector/Comuna	Cerro Caracol, Concepción	
ID	T_CON20220827_002	 Gentileza de Francisco Castro
Coordenadas UTM	674390,56 E; 5921912,53 N	
Tipo RM y Estado de Actividad	Deslizamiento de Tierra Activo	
Fecha del Reporte	27 de agosto de 2022	
Sector/Comuna	Cerro Caracol, Concepción	





**Anexo 2 B (Continuación) Inventario de PRM identificados en Terreno.**

ID	T_CON20220827_003	 Gentileza de Francisco Castro
Coordenadas UTM	674398,72 E; 5921932,01 N	
Tipo RM y Estado de Actividad	Deslizamiento de Tierra Activo	
Fecha del Reporte	16 de agosto de 2022	
Sector/Comuna	Cerro Caracol, Concepción	
ID	T_CON20220827_004	 Gentileza de Francisco Castro
Coordenadas UTM	674464,29 E; 5921957,64 N	
Tipo RM y Estado de Actividad	Deslizamiento de Tierra Activo	
Fecha del Reporte	16 de agosto de 2022	
Sector/Comuna	Cerro Caracol, Concepción	
ID	T_CON20220827_005	 Gentileza de Francisco Castro
Coordenadas UTM	674463,43 E; 5921993,95 N	
Tipo RM y Estado de Actividad	Caída de Roca Inactiva Latente	
Fecha del Reporte	27 de agosto de 2022	
Sector/Comuna	Cerro Caracol, Concepción	
ID	T_CON20220827_006	 Gentileza de Francisco Castro
Coordenadas UTM	674402 E; 5921934 N	
Tipo RM y Estado de Actividad	Flujo de Escombros Inactivo Latente	
Fecha del Reporte	27 de agosto de 2022	
Sector/Comuna	Cerro Caracol, Concepción	
ID	T_CON20220827_007	 Gentileza de Francisco Castro
Coordenadas UTM	674455,48 E, 5921976,13 N	
Tipo RM y Estado de Actividad	Caída de Roca Inactiva Latente	
Fecha del Reporte	27 de agosto de 2022	
Sector/Comuna	Cerro Caracol, Concepción	
ID	T_CON20220827_008	 Gentileza de Francisco Castro
Coordenadas UTM	674323 E; 5921598 N	
Tipo RM y Estado de Actividad	Deslizamiento de Tierra Activo	
Fecha del Reporte	27 de agosto de 2022	
Sector/Comuna	Cerro Caracol, Concepción	







**Anexo 2 B (Continuación) Inventario de PRM identificados en Terreno.**

ID	T_CON20220827_009	
Coordenadas UTM	674295 E; 5921561 N	
Tipo RM y Estado de Actividad	Deslizamiento de Tierra Activo	
Fecha del Reporte	27 de agosto de 2022	
Sector/Comuna	Cerro Caracol, Concepción	
ID	T_CON20220827_010	 Gentileza de Francisco Castro
Coordenadas UTM	674382,59 E; 5921335,85 N	
Tipo RM y Estado de Actividad	Deslizamiento de Tierra Activo	
Fecha del Reporte	27 de agosto de 2022	
Sector/Comuna	Cerro Caracol, Concepción	
ID	T_CON20220827_011	 Gentileza de Francisco Castro
Coordenadas UTM	674381 E; 5921386 N	
Tipo RM y Estado de Actividad	Deslizamiento de Tierra Activo	
Fecha del Reporte	27 de agosto de 2022	
Sector/Comuna	Cerro Caracol, Concepción	
ID	T_CON20220827_012	 Gentileza de Francisco Castro
Coordenadas UTM	674379 E; 5921392 N	
Tipo RM y Estado de Actividad	Deslizamiento de Tierra Activo	
Fecha del Reporte	27 de agosto de 2022	
Sector/Comuna	Cerro Caracol, Concepción	
ID	T_CON20220827_013	 Gentileza de Francisco Castro
Coordenadas UTM	674377 E, 5921396 N	
Tipo RM y Estado de Actividad	Deslizamiento de Tierra Activo	
Fecha del Reporte	27 de agosto de 2022	
Sector/Comuna	Cerro Caracol, Concepción	
ID	T_CON20220712_000	
Coordenadas UTM	679469,6 E; 5922762 N	
Tipo RM y Estado de Actividad	Deslizamiento de Tierra Activo	
Fecha del Reporte	12 de julio de 2022	
Sector/Comuna	Palomares, Concepción	

**Anexo 2 B (Continuación) Inventario de PRM identificados en Terreno.**

ID	T_CON20220807_000	 Gentileza de Francisco Castro
Coordenadas UTM	673424 E; 5921455 N	
Tipo RM y Estado de Actividad	Flujo de Tierra Reactivado	
Fecha del Reporte	7 de agosto de 2022	
Sector/Comuna	Pedro de Valdivia, Concepción	
ID	T_CON20220816_000	
Coordenadas UTM	676861,03 E; 5921855,33 N	
Tipo RM y Estado de Actividad	Deslizamiento de Tierra Activo	
Fecha del Reporte	16 de agosto de 2022	
Sector/Comuna	Los Lirios Altos, Concepción	
ID	T_CON20220816_001	
Coordenadas UTM	676831,65 E; 5921890,06 N	
Tipo RM y Estado de Actividad	Deslizamiento de Tierra Activo	
Fecha del Reporte	16 de agosto de 2022	
Sector/Comuna	Los Lirios Altos, Concepción	
ID	T_CON20220817_000	
Coordenadas UTM	677169,29 E; 5921930,87 N	
Tipo RM y Estado de Actividad	17 de agosto de 2022	
Fecha del Reporte	Deslizamiento de Tierra Activo	
Sector/Comuna	Los Lirios Altos, Concepción	
ID	T_CON20220817_001	
Coordenadas UTM	677167,64 E; 5921920,29 N	
Tipo RM y Estado de Actividad	Deslizamiento de Tierra Activo	
Fecha del Reporte	17 de agosto de 2022	
Sector/Comuna	Los Lirios Altos, Concepción	
ID	T_CON20220817_002	
Coordenadas UTM	677019,25 E; 5921783,95	
Tipo RM y Estado de Actividad	Deslizamiento de Tierra Activo	
Fecha del Reporte	17 de agosto de 2022	
Sector/Comuna	Los Lirios Altos, Concepción	







**Anexo 2 B (Continuación) Inventario de PRM identificados en Terreno.**

ID	T_CON20220817_003	
Coordenadas UTM	676948,36 E; 5922208,14 N	
Tipo RM y Estado de Actividad	Deslizamiento de Tierra Activo	
Fecha del Reporte	17 de agosto de 2022	
Sector/Comuna	Los Lirios Altos, Concepción	
ID	T_CHE20220831_000	
Coordenadas UTM	674938,75 E; 5915884,32 N	
Tipo RM y Estado de Actividad	Deslizamiento de Tierra Activo	
Fecha del Reporte	16 de agosto de 2022	
Sector/Comuna	Villuco, Chiguayante	
ID	T_CHE20220831_001	
Coordenadas UTM	674791,63 E; 5917051,97 N	
Tipo RM y Estado de Actividad	Deslizamiento de Tierra Activo	
Fecha del Reporte	16 de agosto de 2022	
Sector/Comuna	Villuco, Chiguayante	
ID	T_CHE20220831_002	
Coordenadas UTM	674735,46 E; 5917133,25 N	
Tipo RM y Estado de Actividad	Deslizamiento de Tierra Activo	
Fecha del Reporte	16 de agosto de 2022	
Sector/Comuna	Villuco, Chiguayante	
ID	T_CHE20220831_003	
Coordenadas UTM	674721,16 E; 5917147,43 N	
Tipo RM y Estado de Actividad	Deslizamiento de Tierra y Roca Activo	
Fecha del Reporte	16 de agosto de 2022	
Sector/Comuna	Villuco, Concepción	
ID	T_CHE20220831_004	
Coordenadas UTM	674621,81 E; 5917354 N	
Tipo RM y Estado de Actividad	Deslizamiento de Tierra Activo	
Fecha del Reporte	16 de agosto de 2022	
Sector/Comuna	Villuco, Concepción	







**Anexo 2 B (Continuación) Inventario de PRM identificados en Terreno.**

ID	T_TNO20220914_000	
Coordenadas UTM	670343,35 E; 5943499,34 N	
Tipo RM y Estado de Actividad	Deslizamiento de Tierra Activo	
Fecha del Reporte	14 de septiembre de 2022	
Sector/Comuna	Caleta Tumbes, Talcahuano	
ID	T_TNO20220914_001	
Coordenadas UTM	670299,36 E; 5943508,38 N	
Tipo RM y Estado de Actividad	Deslizamiento de Tierra Activo	
Fecha del Reporte	14 de septiembre de 2022	
Sector/Comuna	Caleta Tumbes, Talcahuano	
ID	T_TNO20220914_002	
Coordenadas UTM	670525,02 E; 5943725,94	
Tipo RM y Estado de Actividad	Caída de Roca Activa	
Fecha del Reporte	14 de septiembre de 2022	
Sector/Comuna	Caleta Tumbes, Talcahuano	
ID	T_TNO20220914_003	
Coordenadas UTM	670570,36 E; 5943823,53 N	
Tipo RM y Estado de Actividad	Deslizamiento de Tierra Activo	
Fecha del Reporte	14 de septiembre de 2022	
Sector/Comuna	Caleta Tumbes, Talcahuano	
ID	T_TNO20220914_004	
Coordenadas UTM	670606,52 E; 5943907,01 N	
Tipo RM y Estado de Actividad	Deslizamiento de Tierra y Roca Activo	
Fecha del Reporte	14 de septiembre de 2022	
Sector/Comuna	Caleta Tumbes, Talcahuano	
ID	T_TNO20220914_005	
Coordenadas UTM	670596,79 E; 5943888,81 N	
Tipo RM y Estado de Actividad	Deslizamiento de Tierra y Roca	
Fecha del Reporte	14 de septiembre de 2022	
Sector/Comuna	Caleta Tumbes, Talcahuano	

**Anexo 2 B (Continuación) Inventario de PRM identificados en Terreno.**

ID	T_TNO20220914_006	
Coordenadas UTM	670628,54 E; 5943936,97 N	
Tipo RM y Estado de Actividad	Caída de Roca Inactiva Latente	
Fecha del Reporte	14 de septiembre de 2022	
Sector/Comuna	Caleta Tumbes, Talcahuano	
ID	T_TNO20220914_007	
Coordenadas UTM	670634,11 E; 5943944,80 N	
Tipo RM y Estado de Actividad	Caída de Roca Inactiva Latente	
Fecha del Reporte	14 de septiembre de 2022	
Sector/Comuna	Caleta Tumbes, Talcahuano	
ID	T_TNO20220914_008	
Coordenadas UTM	670550,70 E; 5943787,11 N	
Tipo RM y Estado de Actividad	Caída de Roca Inactiva Latente	
Fecha del Reporte	14 de septiembre de 2022	
Sector/Comuna	Caleta Tumbes, Talcahuano	
ID	T_TNO20220914_009	
Coordenadas UTM	670466,63 E; 5943075,10 N	
Tipo RM y Estado de Actividad	Caída de Roca Activa	
Fecha del Reporte	14 de septiembre de 2022	
Sector/Comuna	Caleta Tumbes, Talcahuano	
ID	T_TNO20220914_010	
Coordenadas UTM	670460 E; 5943083,72 N	
Tipo RM y Estado de Actividad	Deslizamiento de Tierra Activo	
Fecha del Reporte	14 de septiembre de 2022	
Sector/Comuna	Caleta Tumbes, Talcahuano	
ID	T_TNO20220914_011	
Coordenadas UTM	670462,36 E; 5943080,61 N	
Tipo RM y Estado de Actividad	Deslizamiento de Tierra Suspendido	
Fecha del Reporte	14 de septiembre de 2022	
Sector/Comuna	Caleta Tumbes, Talcahuano	

**Anexo 2 B (Continuación) Inventario de PRM identificados en Terreno.**

ID	T_TNO20220914_012	
Coordenadas UTM	670445,59 E; 5943116,28 N	
Tipo RM y Estado de Actividad	Deslizamiento de Tierra y Roca Activo	
Fecha del Reporte	14 de septiembre de 2022	
Sector/Comuna	Caleta Tumbes, Talcahuano	
ID	T_TNO20220914_013	
Coordenadas UTM	670356,65 E; 5943080,69 N	
Tipo RM y Estado de Actividad	Deslizamiento de Tierra Activo	
Fecha del Reporte	14 de septiembre de 2022	
Sector/Comuna	Tumbes, Talcahuano	
ID	T_TNO20220914_014	
Coordenadas UTM	670282,42 E; 5942962,63	
Tipo RM y Estado de Actividad	Deslizamiento de Tierra Suspendido	
Fecha del Reporte	14 de septiembre de 2022	
Sector/Comuna	Tumbes, Talcahuano	
ID	T_TNO20220914_015	
Coordenadas UTM	670160,57 E; 5942918,36 N	
Tipo RM y Estado de Actividad	Deslizamiento de Tierra Suspendido	
Fecha del Reporte	14 de septiembre de 2022	
Sector/Comuna	Tumbes, Talcahuano	
ID	T_TNO20220914_016	
Coordenadas UTM	670120,073 E; 5942902,93 N	
Tipo RM y Estado de Actividad	Deslizamiento de Tierra Activo	
Fecha del Reporte	14 de septiembre de 2022	
Sector/Comuna	Tumbes, Talcahuano	
ID	T_TNO20220914_017	
Coordenadas UTM	669748,10 E; 5942728,64 N	
Tipo RM y Estado de Actividad	Deslizamiento de Tierra Activo	
Fecha del Reporte	14 de septiembre de 2022	
Sector/Comuna	Tumbes, Talcahuano	





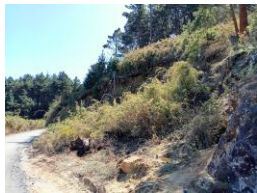



**Anexo 2 B (Continuación) Inventario de PRM identificados en Terreno.**

ID	T_TNO20220914_018	
Coordenadas UTM	669391,43 E; 5942732,55 N	
Tipo RM y Estado de Actividad	Deslizamiento de Tierra Activo	
Fecha del Reporte	14 de septiembre de 2022	
Sector/Comuna	Tumbes, Talcahuano	
ID	T_TNO20220914_019	
Coordenadas UTM	669369,25 E; 5942724,64 N	
Tipo RM y Estado de Actividad	Deslizamiento de Tierra Activo	
Fecha del Reporte	14 de septiembre de 2022	
Sector/Comuna	Tumbes, Talcahuano	
ID	T_TNO20220914_020	
Coordenadas UTM	667824,99 E; 5934953,21 N	
Tipo RM y Estado de Actividad	Deslizamiento de Tierra Activa	
Fecha del Reporte	14 de septiembre de 2022	
Sector/Comuna	Cerro Buena Vista, Talcahuano	
ID	T_TNO20220914_021	
Coordenadas UTM	667906,26 E; 5934975,38	
Tipo RM y Estado de Actividad	Caída de Roca Activa	
Fecha del Reporte	14 de septiembre de 2022	
Sector/Comuna	Cerro Buena Vista, Talcahuano	
ID	T_TNO20220914_022	
Coordenadas UTM	668349,81 E; 5935724,51 N	
Tipo RM y Estado de Actividad	Deslizamiento de Tierra y Roca	
Fecha del Reporte	14 de septiembre de 2022	
Sector/Comuna	Cerro Cornou, Talcahuano	
ID	T_TNO20220914_023	
Coordenadas UTM	668316,76 E; 5934527,38 N	
Tipo RM y Estado de Actividad	Caída de Roca Suspendida	
Fecha del Reporte	14 de septiembre de 2022	
Sector/Comuna	Cerro David Fuente, Talcahuano	

**Anexo 2 B (Continuación) Inventario de PRM identificados en Terreno.**

ID	T_TNO20220914_024	
Coordenadas UTM	670763,87 E; 5929217,67 N	
Tipo RM y Estado de Actividad	Caída de Roca Suspendida	
Fecha del Reporte	14 de septiembre de 2022	
Sector/Comuna	Cerro San Migue, Talcahuano	
ID	T_CON20220918_000	
Coordenadas UTM	671711,72 E; 5922920,08 N	
Tipo RM y Estado de Actividad	Deslizamiento de Tierra Inactivo Latente	
Fecha del Reporte	18 de septiembre de 2022	
Sector/Comuna	Cerro Chepe, Concepción	
ID	T_CON20220918_001	
Coordenadas UTM	671716,46 E; 5922908,14 N	
Tipo RM y Estado de Actividad	Deslizamiento de Tierra Activo	
Fecha del Reporte	18 de septiembre de 2022	
Sector/Comuna	Cerro Chepe, Concepción	
ID	T_CON20220918_002	
Coordenadas UTM	671729,4 E; 5922899,04 N	
Tipo RM y Estado de Actividad	Deslizamiento de Tierra Activo	
Fecha del Reporte	18 de septiembre de 2022	
Sector/Comuna	Cerro Chepe, Concepción	
ID	T_HP20220918_000	
Coordenadas UTM	662489,69 E; 5925330,86 N	
Tipo RM y Estado de Actividad	Caída de Roca Inactiva Latente	
Fecha del Reporte	18 de septiembre de 2022	
Sector/Comuna	Península de Hualpén	
ID	T_HP20220918_001	
Coordenadas UTM	662492,85 E; 5925881,36 N	
Tipo RM y Estado de Actividad	Caída de Roca Inactiva Latente	
Fecha del Reporte	18 de septiembre de 2022	
Sector/Comuna	Península de Hualpén	







**Anexo 2 B (Continuación) Inventario de PRM identificados en Terreno.**

ID	T_HP20220918_002	
Coordenadas UTM	661404 E; 5928602,13 N	
Tipo RM y Estado de Actividad	Caída de Roca Activa	
Fecha del Reporte	18 de septiembre de 2022	
Sector/Comuna	Camino a Chome, Hualpén	
ID	T_HP20220918_003	
Coordenadas UTM	661300,73 E; 5928557,27 N	
Tipo RM y Estado de Actividad	Caída de Roca Inactiva Latente	
Fecha del Reporte	18 de septiembre de 2022	
Sector/Comuna	Camino a Chome, Hualpén	
ID	T_HP20220918_004	
Coordenadas UTM	661179,77 E; 5928498,05 N	
Tipo RM y Estado de Actividad	Deslizamiento de Tierra y Roca Inactivo Latente	
Fecha del Reporte	18 de septiembre de 2022	
Sector/Comuna	Camino a Chome, Hualpén	
ID	T_HP20220918_005	
Coordenadas UTM	661141,95 E; 5928516,58 N	
Tipo RM y Estado de Actividad	Caída de Roca Inactiva Latente	
Fecha del Reporte	18 de septiembre de 2022	
Sector/Comuna	Camino a Chome, Hualpén	
ID	T_HP20220918_006	
Coordenadas UTM	660112,79 E; 5928311,92 N	
Tipo RM y Estado de Actividad	Caída de Roca Inactiva Latente	
Fecha del Reporte	18 de septiembre de 2022	
Sector/Comuna	Camino a Chome, Hualpén	
ID	T_HP20220918_007	
Coordenadas UTM	660087,79 E; 5928319,79 N	
Tipo RM y Estado de Actividad	Caída de Roca Activa	
Fecha del Reporte	18 de septiembre de 2022	
Sector/Comuna	Camino a Chome, Hualpén	

**Anexo 2 B (Continuación) Inventario de PRM identificados en Terreno.**

ID	T_HP20220918_008	
Coordenadas UTM	660013,49 E; 5928340,98 N	
Tipo RM y Estado de Actividad	Deslizamiento de Tierra Activo	
Fecha del Reporte	18 de septiembre de 2022	
Sector/Comuna	Camino a Chome, Hualpén	
ID	T_HP20220918_009	
Coordenadas UTM	659976,21 E; 5928352,4 N	
Tipo RM y Estado de Actividad	Caída de Roca Activa	
Fecha del Reporte	18 de septiembre de 2022	
Sector/Comuna	Camino a Chome, Hualpén	
ID	T_HP20220918_010	
Coordenadas UTM	659936,74 E; 5928469,31 N	
Tipo RM y Estado de Actividad	Caída de Roca – Deslizamiento de Tierra Complejo Activo	
Fecha del Reporte	18 de septiembre de 2022	
Sector/Comuna	Camino a Chome, Hualpén	
ID	T_HP20220918_011	
Coordenadas UTM	659260,04 E; 5928710,13	
Tipo RM y Estado de Actividad	Caída de Roca Inactiva Latente	
Fecha del Reporte	18 de septiembre 2022	
Sector/Comuna	Cerro Llorón, Caleta Chome, Hualpén	
ID	T_HP20220918_012	
Coordenadas UTM	662843,03 E; 5928335,27 N	
Tipo RM y Estado de Actividad	Deslizamiento de Tierra Activo	
Fecha del Reporte	18 de septiembre 2022	
Sector/Comuna	Península de Hualpén	
ID	T_HP20220918_013	
Coordenadas UTM	662964,95 E; 5929034,29 N	
Tipo RM y Estado de Actividad	Caída de Roca Inactiva Latente	
Fecha del Reporte	18 de septiembre de 2022	
Sector/Comuna	Caleta Lengua, Hualpén	

**Anexo 2 B (Continuación) Inventario de PRM identificados en Terreno.**

ID	T_HP20220918_014	
Coordenadas UTM	662979,34 E; 5929145 N	
Tipo RM y Estado de Actividad	Caída de Roca - Relicto	
Fecha del Reporte	18 de septiembre de 2022	
Sector/Comuna	Caleta Lengua, Hualpén	
ID	T_HP20220918_015	
Coordenadas UTM	662904,4 E; 5929206,08 N	
Tipo RM y Estado de Actividad	Caída de Roca Inactiva Latente	
Fecha del Reporte	18 de septiembre de 2022	
Sector/Comuna	Caleta Lengua, Hualpén	
ID	T_HP20220918_016	
Coordenadas UTM	662800,48 E; 5929810,49 N	
Tipo RM y Estado de Actividad	Deslizamiento de Tierra y Roca Activo	
Fecha del Reporte	18 de septiembre de 2022	
Sector/Comuna	Caleta Lengua, Hualpén	
ID	T_HP20220918_017	
Coordenadas UTM	662799,33 E; 5929849 N	
Tipo RM y Estado de Actividad	Caída de Roca Activa	
Fecha del Reporte	18 de septiembre de 2022	
Sector/Comuna	Caleta Lengua, Hualpén	
ID	T_HP20220918_018	
Coordenadas UTM	662840,3 E; 5929900,82 N	
Tipo RM y Estado de Actividad	Caída de Roca Inactiva Latente	
Fecha del Reporte	18 de septiembre de 2022	
Sector/Comuna	Caleta Lengua, Hualpén	
ID	T_HP20220918_019	
Coordenadas UTM	662878,21 E; 5929982,19 N	
Tipo RM y Estado de Actividad	Caída de Roca Inactiva Latente	
Fecha del Reporte	18 de septiembre de 2022	
Sector/Comuna	Caleta Lengua, Hualpén	

**Anexo 2 B (Continuación) Inventario de PRM identificados en Terreno.**

ID	T_HP20220918_020	
Coordenadas UTM	662866,91 E; 5930004,22 N	
Tipo RM y Estado de Actividad	Caída de Roca Inactiva Latente	
Fecha del Reporte	18 de septiembre de 2022	
Sector/Comuna	Caleta Lengua, Hualpén	
ID	T_HP20220918_021	
Coordenadas UTM	662858,03 E; 5930036,44 N	
Tipo RM y Estado de Actividad	Caída de Roca Activa	
Fecha del Reporte	18 de septiembre de 2022	
Sector/Comuna	Caleta Lengua, Hualpén	
ID	T_HP20220918_022	
Coordenadas UTM	662886,99 E; 5930058,85 N	
Tipo RM y Estado de Actividad	Caída de Roca Activa	
Fecha del Reporte	18 de septiembre de 2022	
Sector/Comuna	Caleta Lengua, Hualpén	
ID	T_HP20220918_023	
Coordenadas UTM	662896,10 E; 5930086,05 N	
Tipo RM y Estado de Actividad	Caída de Roca Activa	
Fecha del Reporte	18 de septiembre de 2022	
Sector/Comuna	Caleta Lengua, Hualpén	

Fuente: Elaboración propia. Sistema de Coordenadas: WGS 1984 UTM Zona 18 S.

### 12.3 Anexo 3: Resultado de Fórmulas Aplicadas



### Anexo 3 A Resultados Método Frequency Ratio

Parameter	Classes	Class Pixel	% Class Pixels	Landslide Pixels	% Landslide Pixels	FR	RF	RF (%)	RF(INT)	Min RF	Max RF	Max-Min RF	(Max-Min) Min RF	PR
Altitud	< 10 m	123660	25,41	10	5,41	0,21	0,01	0,73	0					
	10 - 20 m	34042	7,00	17	9,19	1,31	0,05	4,50	4					
	20 - 30 m	21431	4,40	25	13,51	3,07	0,11	10,52	10					
	30 - 40 m	12955	2,66	31	16,76	6,29	0,22	21,58	21					
	40 -50 m	11835	2,43	36	19,46	8,00	0,27	27,44	27					
	50 -60 m	12826	2,64	16	8,65	3,28	0,11	11,25	11					
	60 -70 m	13605	2,80	15	8,11	2,90	0,10	9,94	9					
	70 - 80 m	14396	2,96	4	2,16	0,73	0,03	2,51	2					
	80 - 90 m	15320	3,15	11	5,95	1,89	0,06	6,48	6					
	90 -100 m	16003	3,29	7	3,78	1,15	0,04	3,95	3					
	100- 200 m	109620	22,53	12	6,49	0,29	0,01	0,99	0					
	200 - 300 m	78185	16,07	1	0,54	0,03	0,00	0,12	0					
300 - 400 m	21829	4,49	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0						
400 - 456 m	870	0,18	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0						
<b>TOTAL</b>		486577		185		29,16				0,00	0,27	0,27	0,15	1,86
NDVI	-0,27 - 0,09	69873	14,36	15	8,11	0,56	0,11	10,69	10					
	0,09 - 0,23	68746	14,13	36	19,46	1,38	0,26	26,08	26					
	0,23 - 0,36	71562	14,71	46	24,86	1,69	0,32	32,01	32					
	0,36 - 0,47	153352	31,52	55	29,73	0,94	0,18	17,86	17					
	0,47 - 1	123044	25,29	33	17,84	0,71	0,13	13,36	13					
<b>TOTAL</b>		486577		185		5,28				0,11	0,32	0,21	0,15	1,44
Distancia del Drenaje	< 50 m	171818	35,31	54	29,19	0,83	0,15	14,57	14					
	50 - 100 m	115435	23,72	47	25,41	1,07	0,19	18,88	18					



Parameter	Classes	Class Pixel	% Class Pixels	Landslide Pixels	% Landslide Pixels	FR	RF	RF (%)	RF(INT)	Min RF	Max RF	Max-Min RF	(Max-Min) Min RF	PR
	100 - 150 m	56523	11,62	24	12,97	1,12	0,20	19,68	19					
	150 - 200 m	23687	4,87	15	8,11	1,67	0,29	29,36	29					
	> 200 m	119114	24,48	45	24,32	0,99	0,18	17,51	17					
<b>TOTAL</b>		486577		185		5,67				0,15	0,29	0,15	0,15	1,00
<b>Forma de la Pendiente</b>	Cóncava (< -2)	58320	11,99	45	24,32	2,03	0,41	40,98	40					
	Plana (-2 - 2)	366679	75,36	86	46,49	0,62	0,12	12,46	12					
	Convexo (> 2)	61578	12,66	54	29,19	2,31	0,47	46,57	46					
<b>TOTAL</b>		486577		185		4,95				0,12	0,47	0,34	0,15	2,31
<b>Litología</b>	Granito de biotita	75672	15,55	2	1,08	0,07	0,00	0,40	0					
	Tonalitas de biotita	178784	36,74	87	47,03	1,28	0,07	7,37	7					
	Depósitos fluviales actuales	21434	4,41	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0					
	Depósitos marinos modernos	4069	0,84	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0					
	Formación Quiriquina	11449	2,35	17	9,19	3,91	0,22	22,47	22					
	Formación Cosmito - Curanilahue	6362	1,31	6	3,24	2,48	0,14	14,27	14					
	Depósitos fluviales y marinos antiguos	93206	19,16	4	2,16	0,11	0,01	0,65	0					
	Formación Huachipato	34337	7,06	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0					
	Serie Occidental - Metabasitas	47958	9,86	55	29,73	3,02	0,17	17,36	17					
	Serie Oriental - Zona de andalucita	4212	0,87	7	3,78	4,37	0,25	25,15	25					
	Serie Oriental - Zona de biotita	495	0,10	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0					
	Monzogranito Hualpén	8599	1,77	7	3,78	2,14	0,12	12,32	12					
<b>TOTAL</b>		486577		185		17,38				0,00	0,25	0,25	0,15	1,70
<b>Orientación solar</b>	Flat	696	0,14	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0					
	North	62245	12,79	12	6,49	0,51	0,06	6,16	6					

Parameter	Classes	Class Pixel	% Class Pixels	Landslide Pixels	% Landslide Pixels	FR	RF	RF (%)	RF(INT)	Min RF	Max RF	Max-Min RF	(Max-Min) Min RF	PR
	Northeast	60165	12,36	15	8,11	0,66	0,08	7,97	7					
	East	59844	12,30	23	12,43	1,01	0,12	12,29	12					
	Southeast	54488	11,20	45	24,32	2,17	0,26	26,40	26					
	South	54103	11,12	32	17,30	1,56	0,19	18,91	18					
	Southwest	58911	12,11	14	7,57	0,63	0,08	7,60	7					
	West	68148	14,01	13	7,03	0,50	0,06	6,10	6					
	Northwest	67977	13,97	31	16,76	1,20	0,15	14,58	14					
<b>TOTAL</b>		486577		185		8,23				0,00	0,26	0,26	0,15	1,79
	0 - 10°	230333	47,34	21	11,35	0,24	0,01	0,78	0					
	10 - 20°	114440	23,52	41	22,16	0,94	0,03	3,07	3					
<b>Pendiente</b>	20 - 30°	104050	21,38	60	32,43	1,52	0,05	4,95	4					
	30 - 40°	32844	6,75	43	23,24	3,44	0,11	11,23	11					
	40 - 50°	4015	0,83	15	8,11	9,83	0,32	32,05	32					
	> 50°	895	0,18	5	2,70	14,69	0,48	47,92	47					
<b>TOTAL</b>		486577		185		30,66				0,01	0,48	0,47	0,15	3,19

Fuente: Elaboración propia.

**Anexo 3 B Puntos de Prueba en Umbrales para la Tasa de Precisión.**

Threshold	Landslide	Non Landslide
1	0	16
2	10	40
3	14	15
4	26	6
5	16	4
6	9	0
7	4	0
8	0	0
9	2	0
10	0	0
<b>Total</b>	81	81

Fuente: Elaboración propia.

**Anexo 3 C Matrices de Confusión para calcular TPR y FPR de Puntos de Prueba.**

		OBSERVED	
		LANDSLIDE	NO LANDSLIDE
PREDICTED	LANDSLIDE	81	81
	NO LANDSLIDE	0	0

		OBSERVED	
		LANDSLIDE	NO LANDSLIDE
PREDICTED	LANDSLIDE	81	61
	NO LANDSLIDE	0	16

		OBSERVED	
		LANDSLIDE	NO LANDSLIDE
PREDICTED	LANDSLIDE	71	25
	NO LANDSLIDE	10	56

		OBSERVED	
		LANDSLIDE	NO LANDSLIDE
PREDICTED	LANDSLIDE	57	10
	NO LANDSLIDE	24	71

		OBSERVED	
		LANDSLIDE	NO LANDSLIDE
PREDICTED	LANDSLIDE	31	4
	NO LANDSLIDE	50	77

		OBSERVED	
		LANDSLIDE	NO LANDSLIDE
PREDICTED	LANDSLIDE	15	0
	NO LANDSLIDE	66	81

		OBSERVED	
		LANDSLIDE	NO LANDSLIDE
PREDICTED	LANDSLIDE	6	0
	NO LANDSLIDE	75	81

		OBSERVED	
		LANDSLIDE	NO LANDSLIDE
PREDICTED	LANDSLIDE	2	0
	NO LANDSLIDE	79	81

		OBSERVED	
		LANDSLIDE	NO LANDSLIDE
PREDICTED	LANDSLIDE	2	0
	NO LANDSLIDE	79	81

		OBSERVED	
		LANDSLIDE	NO LANDSLIDE
PREDICTED	LANDSLIDE	0	0
	NO LANDSLIDE	81	81

Fuente: Elaboración propia. Verde lado izquierdo = TP; verde en lado derecho = TN; naranja lado izquierdo = FN; naranja lado derecho = FP.

**Anexo 3 D Resultados para la Curva ROC de Precisión.**

<b>n</b>	<b>TPR</b>	<b>FPR</b>	<b>AUC</b>
<b>0</b>	0,00	0,00	0,00
<b>0,1</b>	0,00	0,00	0,00
<b>0,2</b>	0,02	0,00	0,00
<b>0,3</b>	0,02	0,00	0,00
<b>0,4</b>	0,07	0,00	0,00
<b>0,5</b>	0,19	0,00	0,01
<b>0,6</b>	0,38	0,05	0,04
<b>0,7</b>	0,70	0,12	0,15
<b>0,8</b>	0,88	0,31	0,45
<b>0,9</b>	1,00	0,79	0,21
<b>1</b>	1,00	1,00	
			<b>0,86</b>

Fuente: Elaboración propia.

**Anexo 3 E Puntos de Entrenamiento en Umbrales para la Tasa de Exactitud.**

<b>Threshold</b>	<b>Landslide</b>	<b>Non Landslide</b>
<b>1</b>	0	28
<b>2</b>	10	91
<b>3</b>	37	30
<b>4</b>	48	30
<b>5</b>	41	5
<b>6</b>	32	1
<b>7</b>	10	0
<b>8</b>	5	0
<b>9</b>	2	0
<b>10</b>	0	0
<b>Total</b>	185	185

Fuente: Elaboración propia.

**Anexo 3 F Matrices de Confusión para calcular TPR y FPR de Puntos de Entrenamiento.**

		OBSERVED	
		LANDSLIDE	NO LANDSLIDE
PREDICTED	LANDSLIDE	185	185
	NO LANDSLIDE	0	0

		OBSERVED	
		LANDSLIDE	NO LANDSLIDE
PREDICTED	LANDSLIDE	185	157
	NO LANDSLIDE	0	28

		OBSERVED	
		LANDSLIDE	NO LANDSLIDE
PREDICTED	LANDSLIDE	175	66
	NO LANDSLIDE	10	119

		OBSERVED	
		LANDSLIDE	NO LANDSLIDE
PREDICTED	LANDSLIDE	138	36
	NO LANDSLIDE	47	149

		OBSERVED	
		LANDSLIDE	NO LANDSLIDE
PREDICTED	LANDSLIDE	90	6
	NO LANDSLIDE	95	179

		OBSERVED	
		LANDSLIDE	NO LANDSLIDE
PREDICTED	LANDSLIDE	49	1
	NO LANDSLIDE	136	184

		OBSERVED	
		LANDSLIDE	NO LANDSLIDE
PREDICTED	LANDSLIDE	17	0
	NO LANDSLIDE	168	185

		OBSERVED	
		LANDSLIDE	NO LANDSLIDE
PREDICTED	LANDSLIDE	7	0
	NO LANDSLIDE	178	185

		OBSERVED	
		LANDSLIDE	NO LANDSLIDE
PREDICTED	LANDSLIDE	2	0
	NO LANDSLIDE	183	185

		OBSERVED	
		LANDSLIDE	NO LANDSLIDE
PREDICTED	LANDSLIDE	0	0
	NO LANDSLIDE	185	185

		OBSERVED	
		LANDSLIDE	NO LANDSLIDE
PREDICTED	LANDSLIDE	0	0
	NO LANDSLIDE	185	185

Fuente: Elaboración propia. Verde lado izquierdo = TP; verde en lado derecho = TN; naranja lado izquierdo = FN; naranja lado derecho = FP.

### Anexo 3 G Resultados para la Curva ROC de Exactitud.

n	TPR	FPR	AUC
0	0,00	0,00	0,00
0,1	0,00	0,00	0,00
0,2	0,01	0,00	0,00
0,3	0,04	0,00	0,00
0,4	0,09	0,00	0,00
0,5	0,26	0,01	0,01
0,6	0,49	0,03	0,10
0,7	0,75	0,19	0,14
0,8	0,95	0,36	0,48
0,9	1,00	0,85	0,15
1	1,00	1,00	
			<b>0,88</b>

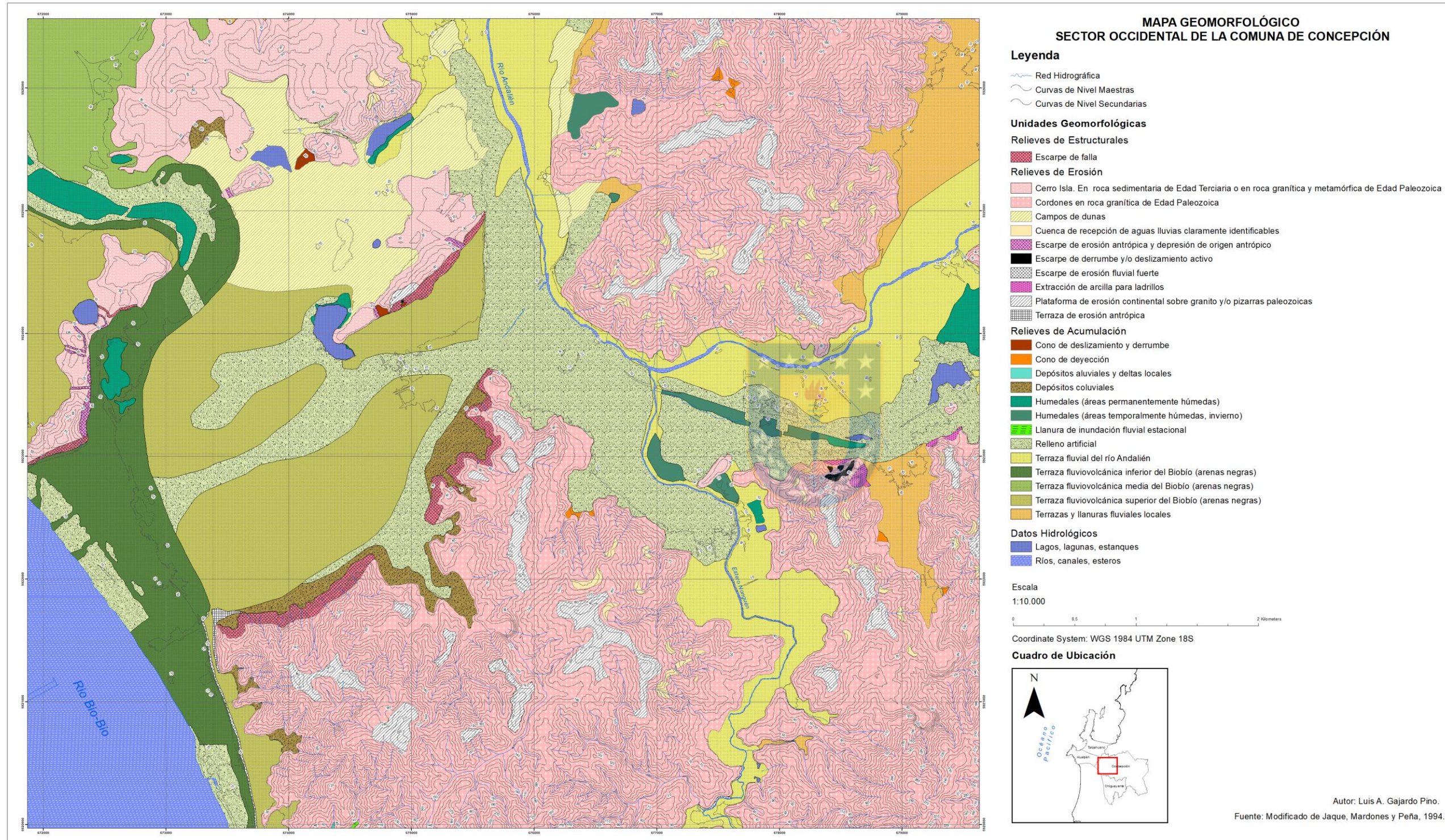
Fuente: Elaboración propia.

#### 12.4 Anexo 4: Mapas Geomorfológicos

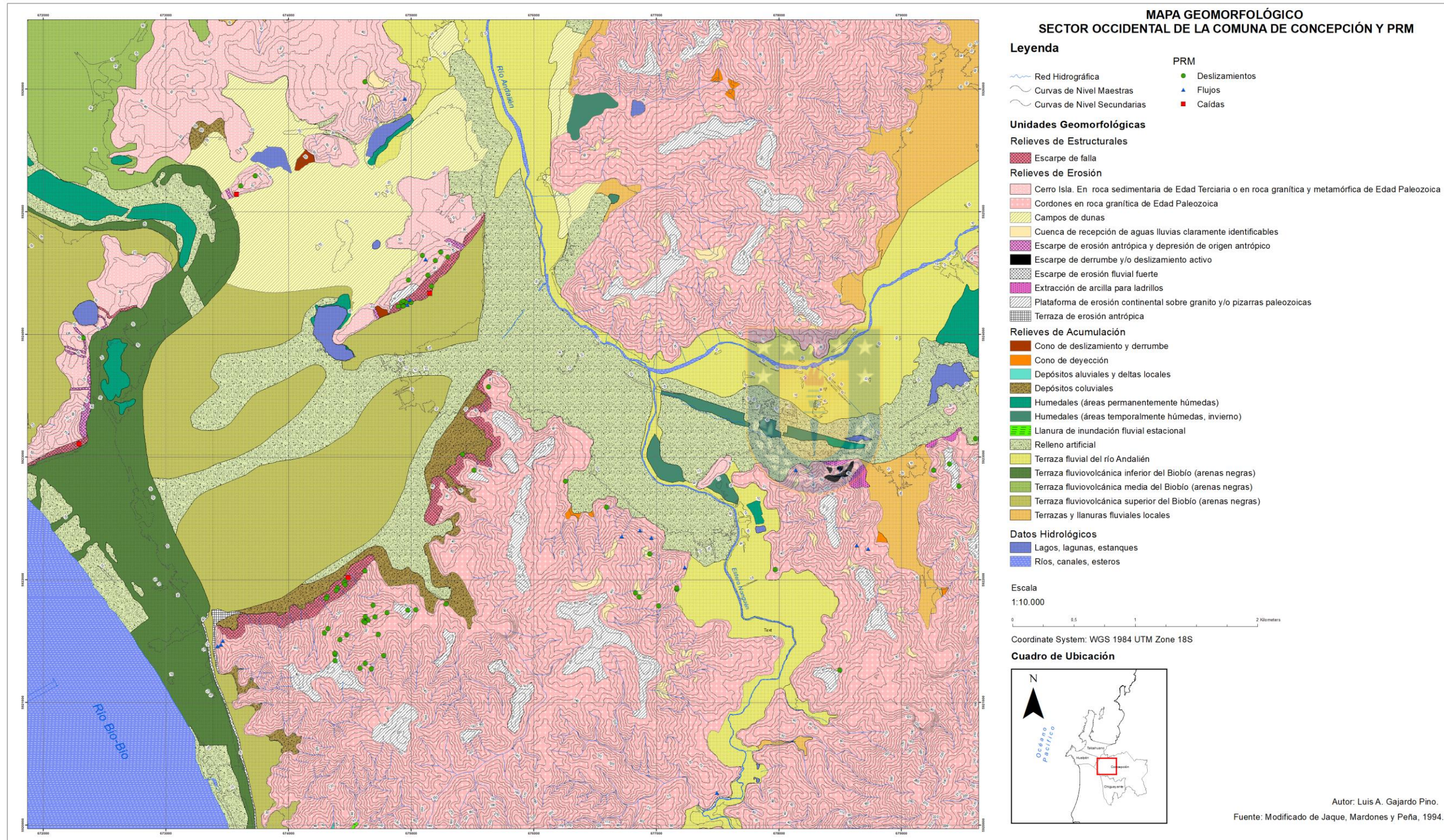




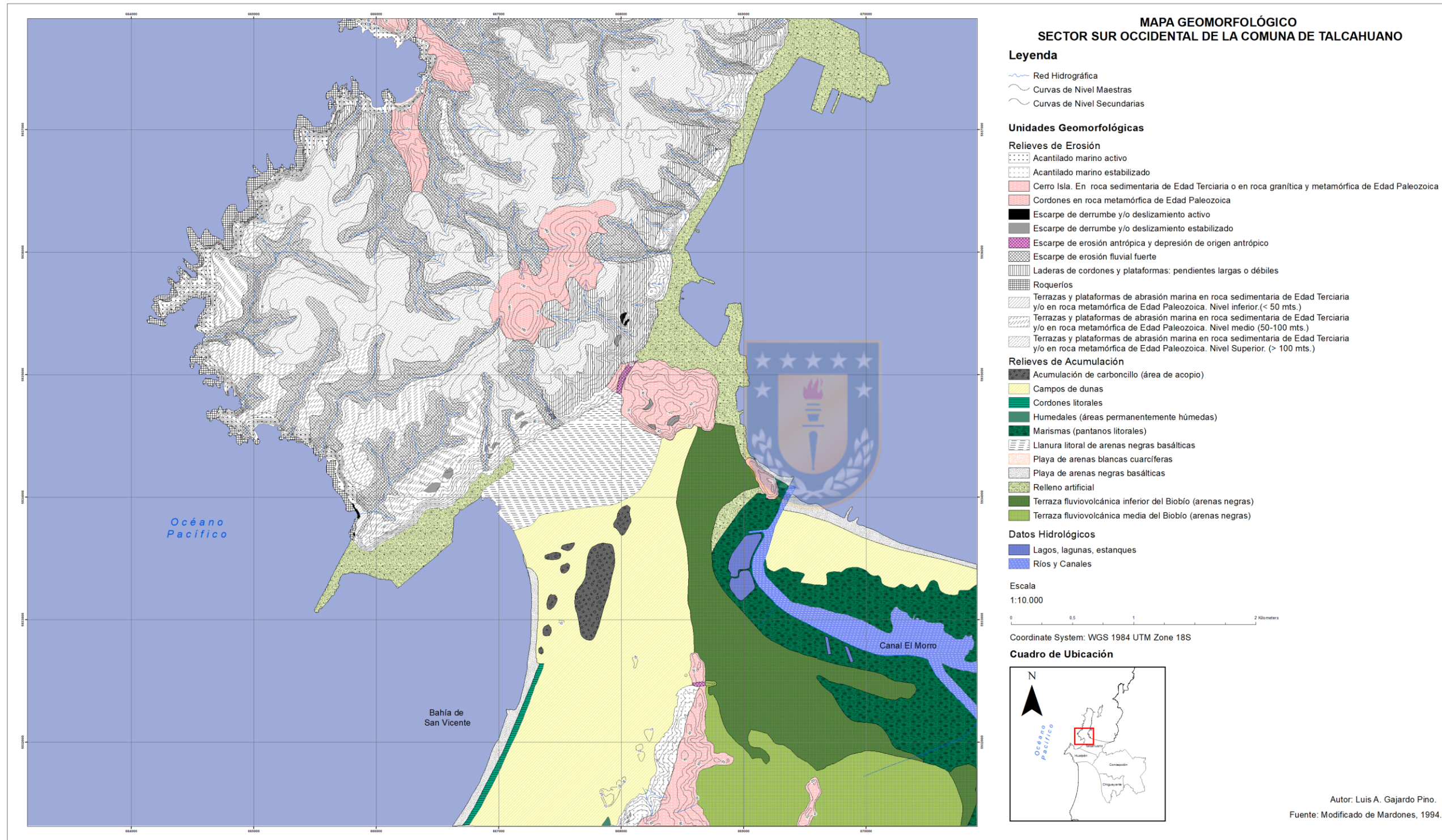
Anexo 4 A Sector Occidental de la Comuna de Concepción.



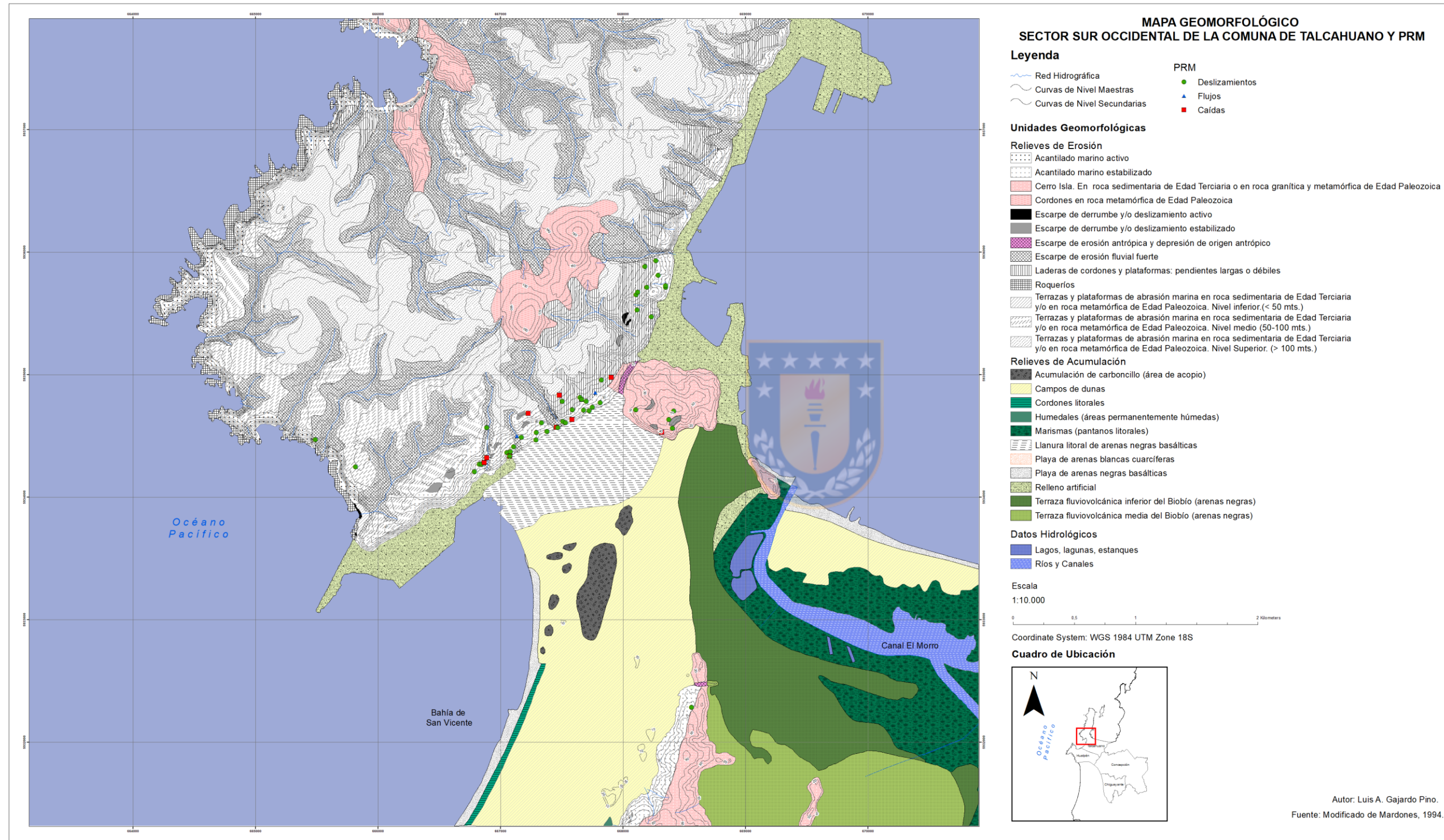
Anexo 4 B PRM en el Sector Occidental de la Comuna de Concepción.



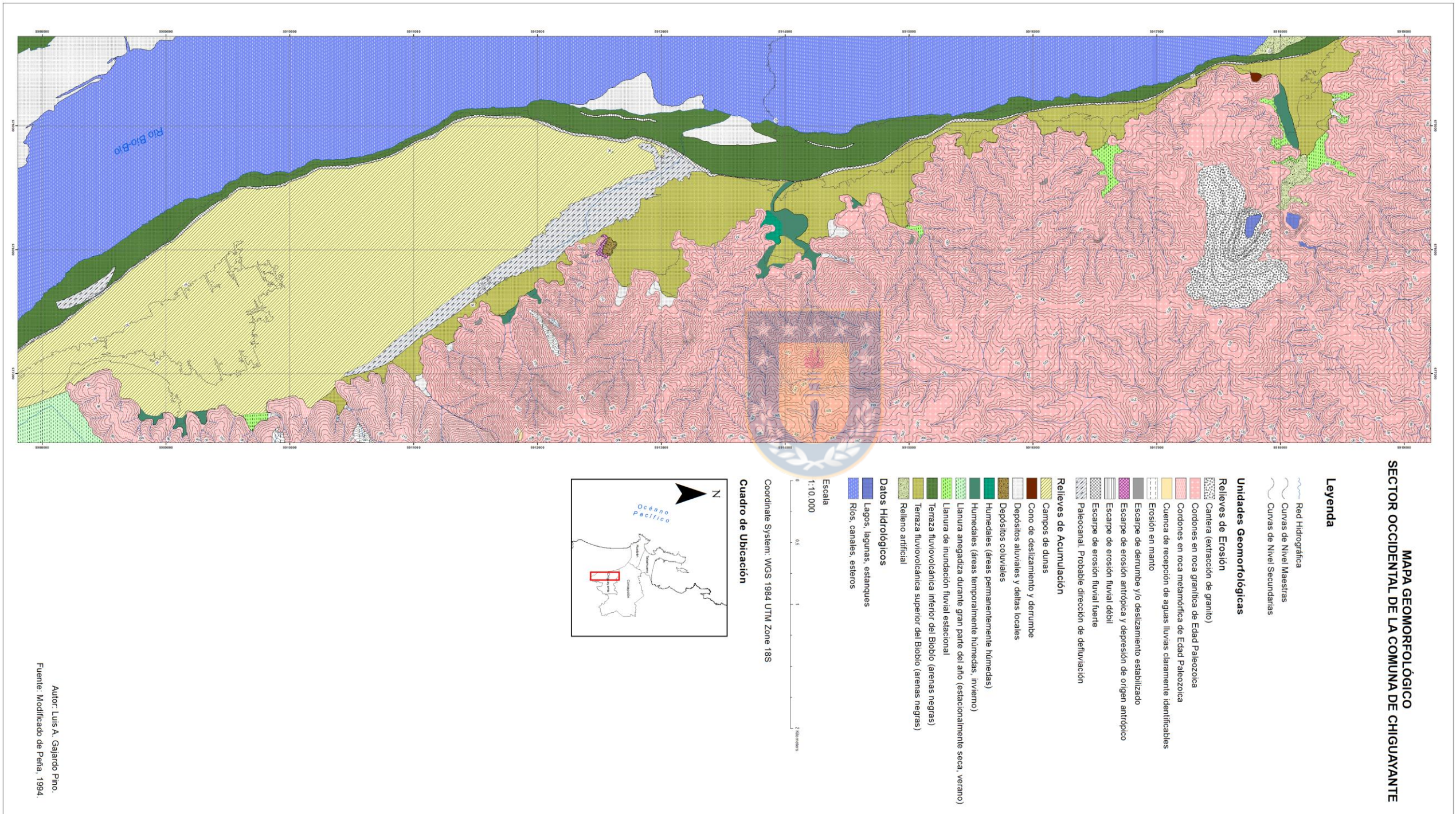
Anexo 4 C Sector Sur Occidental de la Comuna de Talcahuano.



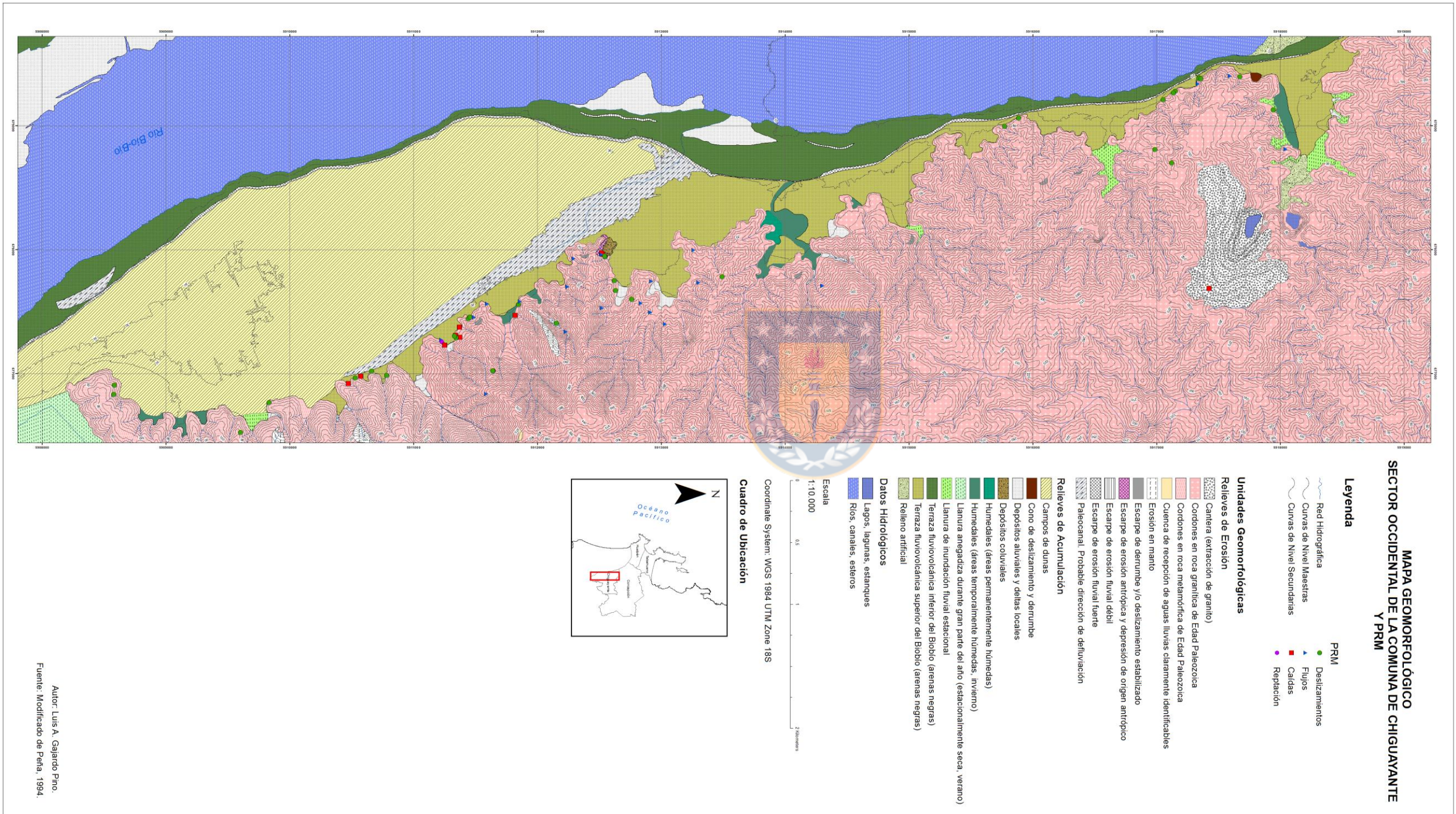
Anexo 4 D PRM en el Sector Sur Occidental de la Comuna de Talcahuano.



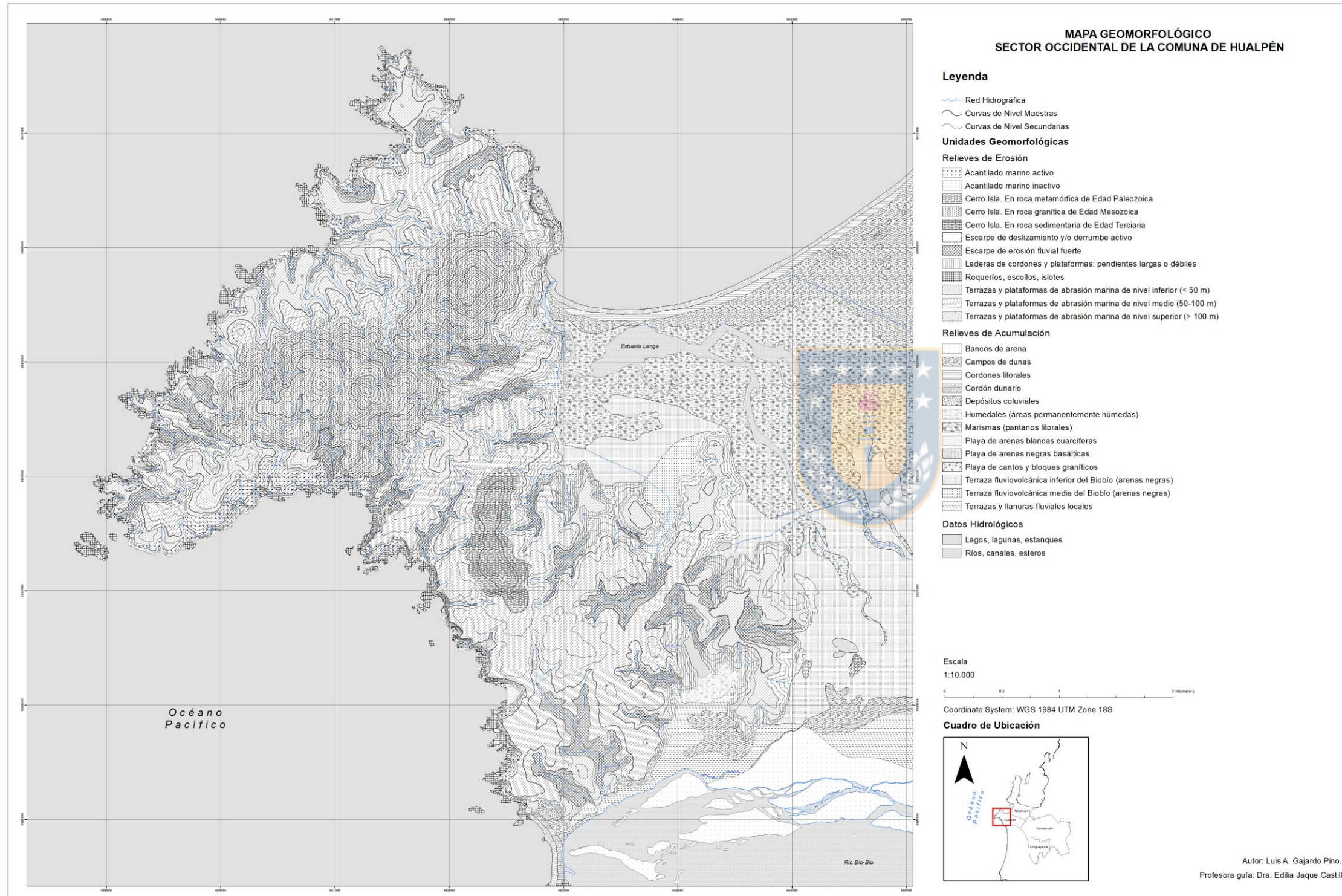
Anexo 4 E Sector Occidental de la Comuna de Chiguayante.



Anexo 4 F PRM en el Sector Occidental de la Comuna de Chiguayante.



Anexo 4 G Sector Occidental de la Comuna de Hualpén.



Anexo 4 H PRM en el Sector Occidental de la Comuna de Hualpén

