PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DE VALPARAÍSO

FACULTAD DE CIENCIAS DEL MAR Y GEOGRAFÍA

INSTITUTO DE GEOGRAFÍA

Modelos de evaluación multicriterio y análisis morfométrico para la determinación del riesgo ante eventos de remociones en masa en microcuenca Cabriteria, comuna de Valparaíso

Memoria de prueba para

Optar al Título de Geógrafo

Profesor Guía : Hermann Manríquez Tirado

Alumno : Andrés Eduardo Mardones Delgado

Valparaíso, Diciembre de 2022

“La unidad de todas las ciencias se encuentra en la geografía. La importancia de la geografía es que presenta la Tierra, como la sede permanente de las ocupaciones del hombre.”

John Dewey

Resumen

En esta investigación se identifican y se analizan las condiciones de exposición y sensibilidad asociada a procesos de remociones en masa en la micro cuenca Cabritería de la comuna de Valparaíso. En este paisaje del relieve costero se presentan diferencias tanto desde el punto de vista geográfico físico, como del nivel de consolidación urbana de los barrios y del nivel socioeconómico de sus habitantes. El crecimiento urbano formal e informal se ha consolidado en las quebradas, la que junto a las condiciones topográficas propias y características de Valparaíso, acrecientan la sensibilidad al riesgo de remoción en masa. La presencia de remociones en masa es el resultado de las condiciones de inestabilidad de las laderas frente a procesos hidrometeorológicos extremos y sísmicos que provocan rupturas de equilibrio de las formas de relieve existentes. Se definieron los factores condicionantes de los procesos de remociones en masa y se aplicaron dos modelos cuantitativos a través de una modelación de SIG y terreno, que permitió identificar las áreas sujetas a los distintos niveles de amenaza de remoción. También se incorporó un modelo para evaluar las condiciones de vulnerabilidad de la población de la comuna, con la finalidad de evaluar el riesgo.

Palabras claves: Amenaza, riesgo, evaluación multicriterio, modelo morfométrico, remociones en masa, índice de vulnerabilidad social.

Summary

In this research, the exposure and sensitivity conditions associated with mass removal processes in the Cabritería micro-basin of the Valparaíso commune are identified and analyzed. In this landscape of the coastal relief there are differences both from the physical geographical point of view, as well as the level of urban consolidation of the neighborhoods and the socioeconomic level of its inhabitants. Formal and informal urban growth has been consolidated in the ravines, which, together with the topographic conditions typical of Valparaíso, increase sensitivity to the risk of mass removal. The presence of mass removals is the result of the unstable conditions of the slopes in the face of extreme hydrometeorological and seismic processes that cause equilibrium ruptures of the existing landforms. The conditioning factors of the mass removal processes were defined and two quantitative models were applied through GIS and terrain modeling, which allowed the identification of areas subject to different levels of removal threat. A model was also incorporated to evaluate the conditions of vulnerability of the population of the commune, with the purpose of evaluating the risk.

Keywords: Threat, risk, multicriteria evaluation, morphometric model, mass removals, social vulnerability index.

Dedicatoria

Dedico esta tesis a una persona muy importante en mi vida, la cual partió de este mundo sin darme el tiempo de despedirme y sin poder mostrarle el resultado final de mis años de estudios, pero tengo claro que la Tía Rosa estaba orgullosa de lo que había logrado hasta el momento, sin tener mi título aún. Demore demasiados años en terminar o mejor dicho realizar mi tesis, pero ahora que estoy logrando cerrar el proceso o carrera que inicie en 2006, cuando mi tía me mandaba comida congelada para la semana que estaba acá en Valparaíso, muy preocupada que no fuera pasar hambre ni penurias. Por eso sé que estas en algún lugar mirando este logro.

A mis padres Heriberto y Luisa, hermanos Claudio, Ana y María Isabel, mi tío Negro, por ser parte también de esta larga carrera, de la cual ya estoy llegando a la meta.

Para Antonella mi mujer amada a la cual agradezco estar aquí en este mundo, ya que en gran medida le debo mi vida por cuidarme y preocuparse de mi cuando estuve gravemente internado en el hospital, nunca me dejo solo aún en esas dos semanas en coma y siempre se preocupó de mi salud en esos momentos tristes teniendo siempre palabras alegres para salir adelante.

A mis queridos hijos Anastasia y Emiliano, quienes son mi alegría, mis pequeñas ratitas a las que amo con toda mi vida.

Agradecimientos

En primer lugar quiero agradecer a la Ilustre municipalidad de Valparaíso por brindar la información y material necesario para el desarrollo de la investigación.

Quiero agradecer especialmente al asesor urbano y encargado del departamento SIG Patricio Tapia López por la ayuda brindada, por su paciencia y apoyo.

Al docente Dr. Hermann Manríquez Tirado por aceptar ser el profesor guía de esta tesis, por sus consejos vía telemática en pandemia, que permitieron concluir este proceso iniciado en 2006.

A todos y todas las personas que se preocuparon y me dieron ánimos para terminar la tesis, especialmente a mis ex compañeros y amigos Manuel Bascuñan y Jorge Rivera.

A todos ellos gracias totales.

Contenido

Resumen ..... - 3 -

Summary ..... - 4 -

Dedicatoria ..... - 5 -

Agradecimientos ..... - 6 -

1. INTRODUCCIÓN ..... - 10 -

1.1 Naturaleza del problema. ..... - 11 -

1.2 Objetivos 20

1.2.1 General. 20

1.2.2 Específicos. 20

1.3 Alcances de la investigación. 21

2. MARCO CONCEPTUAL. 23

2.1 Marco legal y normativo. 24

2.2 El riesgo y sus factores. 28

2.3 Desastres Naturales en la ciudad de Valparaíso. 31

2.4 Factores que actúan en el proceso de remoción en masa. 33

3. ÁREA DE ESTUDIO 37

3.1 Localización del área de estudio. 38

3.2 Antecedentes geográficos físicos. 40

3.2.1 Clima comuna de Valparaíso. 40

3.2.2 Geología y Geomorfología. 43

3.2.3 Vegetación. 48

3.3 Antecedentes Demográficos. 52

3.3.1 Caracterización de la población. 53

3.4 Antecedentes históricos de remociones en masa. 55

4 METODOLOGÍA 58

4.1 Variables utilizadas en la determinación de la amenaza 60

4.1.1 Modelo de Evaluación Multicriterio..... 60

4.1.1.2 Pendiente. 60

4.1.1.3 Orientación de laderas. 62

4.1.1.4 Litología. 63

4.1.1.5 Cobertura vegetal. 64

4.1.2 Modelo de evaluación Morfométrico. 65

4.1.2.1 Densidad de la disección. 66

4.1.2.2 Profundidad de la disección. 67

4.1.2.3 Energía del relieve..... 67

4.1.2.4 Índice de erosión total. 68

4.2 Variables utilizadas en la determinación de la vulnerabilidad..... 69

4.3 Procesamientos mediante SIG..... 70

4.3.1 Modelo de Evaluación multicriterio..... 71

4.3.2 Modelo Morfométrico..... 76

4.3 Exposición y sensibilidad..... 78

5 APLICACIÓN DE LOS MODELOS PARA LA DETERMINACIÓN DEL RIESGO. 81

5.1 Modelo de cálculo Evaluación Multicriterio como indicador de amenaza de remociones en masa. 83

5.1.1 Evaluación de la amenaza modelo evaluación multicriterio. 93

5.2 Modelo de cálculo Morfométrico como indicador de amenaza de remociones en masa. . 96

5.2.1 Evaluación de la amenaza modelo Morfométrico. 104

5.3 Determinación de la vulnerabilidad. 107

5.4 Evaluación del riesgo. 113

5.5 Aplicación de los modelos EMC y Morfométrico en la evaluación del riesgo. 114

5.5.1 Evaluación el riesgo Modelo Evaluación Multicriterio. 115

5.5.2 Evaluación el riesgo Modelo Morfométrico. 117

6 RESULTADOS 119

6.1 Análisis comparado de la amenaza y el riesgo frente a la exposición y sensibilidad de la población. 120

6.1.1 Análisis de exposición a la amenaza modelos de evaluación multicriterio y modelo morfométrico. 120

6.1.2 Análisis de sensibilidad al riesgo modelos de evaluación multicriterio y modelo morfométrico. 128

7 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 133

7.1 Conclusiones. 134

7.2 Limitaciones del estudio. 137

7.3 Recomendaciones 138

7.3.1 Código Qr y Link áreas de riesgo remociones en masa. 139

7.3.2 Código Qr y Link áreas de riesgo remociones en masa. 139

7.4 Bibliografía. 140

7.5 Referencias electrónicas. 146

8 ANEXOS 147

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Naturaleza del problema.

La comuna de Valparaíso posee una población total de 296.655 habitantes, con una densidad de 935,33 hab/km^2. La cantidad de viviendas censadas corresponde a 117.196 con una medición del 12% de viviendas desocupadas, un 7% de hacinamiento y acceso a red pública de agua del 98%, contabilizando 101.236 hogares con 47 % de jefatura femenina y un 2% de viviendas con más de un hogar. Mientras que la ciudad de Valparaíso concentra el 85% de los habitantes de la comuna, con 253.284 habitantes (Censo 2017).

Los orígenes de la ciudad de Valparaíso datan del año 1536 cuando don Diego de Almagro realiza la primera expedición del Perú hacia Chile, expedición en la cual el capitán don Juan de Saavedra y un sub alterno que lo acompañaba fueron los primeros en descubrir la bahía de Alimapu en la que desembocaba el valle de Quintil, donde hoy se ubica la Plaza Echaurren, periodo hasta 1790 donde se observa una estructura mono nucleada en torno al Borde Mar -puerto, como zona urbana, un lento crecimiento poblacional, con una tasa anual de crecimiento de 17 habitantes (Ilustre Municipalidad de Valparaíso 2018). Se configura en primera instancia un tipo de ciudad consolidada entorno a las mesetas y el centro urbano del plan, con escaza superficie plana habitada, principalmente hasta la cota 45.

Entre 1810 y 1822 la población de la ciudad aumento de 5.500 a 16.000 habitantes, con una población flotante de más de 3.000 marinos nacionales y extranjeros, llegando a 40.000 en 1842 (Sánchez et al 2009). Se acelera rápidamente la tasa de crecimiento a 826 habitantes anuales, se construyen en el plan 200 nuevas construcciones de 2 y 3 pisos, el emplazamiento de la mancha urbana se encuentra centrada en la parte baja, se mantiene la cota 45 como límite al crecimiento urbano (Ilustre Municipalidad de Valparaíso 2018).

El periodo de 1855 a 1930 se integra Puerto y Almendral, se gana terreno al mar en sector portuario, donde hacia 1897 la tasa de crecimiento es de 1.925

habitantes al año, con el programa de saneamiento de quebradas y esteros se consolidan las primeras áreas verdes, quedando la cota 45 como una situación intermedia, debido a que comienza a consolidarse los nuevos centros urbanos hacia los cerros con un sistema multinuclear, principalmente las mesetas con pendientes suaves, como Playa Ancha, Barón y Esperanza llegando a la década de 1930 a una tasa de crecimiento de 1964 habitantes al año, se llega a la cota 300, gracias al sistema del Lago Peñuelas que da solución al problema del agua (Ilustre Municipalidad de Valparaíso 2018).

El periodo de 1986 al año 2016 se crece irregularmente en la parte alta de los cerros de la ciudad, habitando sectores de riesgo, llegando a un record nacional (2° lugar) en números de campamentos, la tasa de crecimiento es de 1244 habitantes al año (Ilustre Municipalidad de Valparaíso 2018).

El aumento de población entre 1822 y el año 2002 es de 58.930 personas, configurando un patrón de crecimiento urbano en la parte alta de la ciudad, en los cerros de Valparaíso, los que a su vez poseen características urbanas y sociales disímiles unos de otros, propiciando realidades diversas en cuanto a la ocupación del territorio, habitándolo en ocasiones en zonas expuestas a la ocurrencia de desastres, acrecentando la exposición al riesgo de sus habitantes. (Gutiérrez 2016).

El crecimiento urbano de la ciudad en los cerros de Valparaíso, favorece que sus habitantes estén expuestos a la amenaza de remociones en masa, muestra de ello es el registro histórico de 97 eventos (ver Tabla N°3), a lo largo de los años, principalmente debido a reblandecimiento del terreno producto de las lluvias. (ONEMI 2017).

En razón del crecimiento de la ciudad hacía la parte alta de los cerros de Valparaíso y su exposición a la amenaza, con un crecimiento irregular de asentamientos precarios, contabilizando 67 campamentos en la ciudad, de los cuales el 7% se emplazan en la micro cuenca Cabritería (Departamento de

desarrollo comunal, Municipalidad de Valparaíso 2021), se hace preciso investigar sobre el fenómeno de ocurrencia de remociones en masa, proceso geomorfológico controlado por la acción directa de la fuerza de gravedad, influyendo fuertemente factores como la pendiente, tipo de cubierta del terreno, orientación y profundidad de la ladera, morfología, litología e intervención antrópica, al mismo tiempo con un efecto desencadenante (como un sismo y/o lluvia intensa), que ocasiona un deslizamiento de una parte del material superficial de una ladera provocando daños en la población, viviendas, equipamiento e infraestructura y en algunas ocasiones pérdidas de vidas humanas.

El propósito del estudio es aplicar dos modelos que evalúen el riesgo de remociones en masa en la micro cuenca Cabritería, para ello debemos tener en conocimiento las siguientes consideraciones.

El primer modelo a desarrollar es uno normativo estándar, utilizado ampliamente en los instrumentos de planificación territorial para definir áreas de riesgo, la Evaluación Multicriterio (EMC), utilizada debido a que provee una justificación para las decisiones políticas, es decir los métodos EMC ofrecen resultados basados siempre en el punto de vista que asuma el ente decisor (Gómez y Barredo 2006), clasificando de acuerdo a la norma urbana que establecen los instrumentos de panificación territorial tales como el Plan Regulador Intercomunal (PREMVAL) y el Plan Regulador Comunal (PRC) los valores de cada rango o nivel interno de cada factor de sus variables, a fin de obtener el nivel de amenaza, ponderando mediante juicio de experto el peso de cada variable utilizada.

El segundo modelo tiene sustento conceptual de corte científico con la utilización de herramientas modernas, como lo son los sistemas de información geográficos (SIG) en la línea de la geo información y el análisis geomorfométrico ya que el SIG se puede plantear como un modelo informatizado del mundo real,

descrito en un sistema de referencia ligado a la tierra establecido para satisfacer necesidades de información específicas respondiendo a un conjunto de preguntas concretas (Rodriguez 1993). Modelo que tiene relación con el análisis físico del territorio utilizando valores morfométrico para evaluar mediante un análisis cuantitativo de las características geométricas y topográficas del relieve aplicando algoritmos de interpolación de datos, utilizando variables de altimetría, pendiente del terreno y densidad del drenaje para describir la amenaza de la micro cuenca Cabriteria.

En la Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones (OGUC), artículo 2.1.17, se indica que los Planes Reguladores, podrán definir áreas restringidas al desarrollo urbano, por constituir un peligro potencial para los asentamientos humanos. Dichas áreas se denominarán **"zonas no edificables"** o bien, **"áreas de riesgo"**, según sea el caso. 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 (Ordenanza General de la Ley General de Urbanismo y Construcciones 2022).

En razón de lo establecido en la Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones, es necesario que ambos modelos desarrollados nos entreguen como resultado áreas de amenaza de remociones en masa, que posteriormente con el índice de vulnerabilidad social permitirá conocer las áreas de riesgo de la micro cuenca Cabritería. Para realizar los procesos de cálculo se utilizará sistema de información geográfica (SIG), específicamente Arcgis 10.6, logrando espacializar los resultados, elaborar cartografías de amenaza y riesgo.

De acuerdo a lo expresado anteriormente el estudio es necesario de realizar debido que han ocurrido una serie de eventos que en algunas ocasiones

han significado la pérdida de vidas humanas. El evento más reciente fue el registrado el 13 de agosto 2019 donde producto de una remoción de terreno una casa se derrumbó sobre la escalera peatonal Munich y un estacionamiento de vehículos, provocando la muerte de al menos 4 personas, el hecho se registró en calle Huito con Aldunate, a una cuadra y media de la Plaza Victoria (figura N°1), otro evento registrado es el ocurrido el 30 de agosto de 1930 donde fueron aplastadas una mujer y su hija, producto de un desprendimiento de rocas que se deslizó después de intensas lluvias en Avenida Colón (entre las calles San Ignacio y Avenida Francia), donde sus familiares colocaron una grutita recordatoria, sin embargo, con los años la grutita se transformó en lugar de devoción popular cuando los parientes de los enfermos del Hospital Carlos Van Buren le pedían por la salud de sus seres queridos y las animitas cumplían (figura N°2).



Figura N°1: Antes y después del evento, fuente: El Desconcierto, publicado el 15.08.2019.



Figura N°2: Animita en lugar de remoción en masa, fotografía propia, fuente: Bio Bio Chile.cl publicado el 04-09-2017.

Las remociones en masa han ocurrido en diferentes cerros y sectores de la comuna de Valparaíso afectando a población de diferentes condiciones socioeconómicas, donde los asentamientos humanos precarios se han ido emplazando progresivamente en los cerros que configuran el anfiteatro porteño (Sánchez et al 2009), **considerando que sobre la cota 100 existe una variabilidad respecto del nivel de consolidación urbana de los barrios, así como también del nivel socioeconómico de sus habitantes**, es sobre esta cota donde hay que profundizar la investigación, pues los registros históricos de remociones en masa nos dan cuenta que el 52% de los eventos han ocurrido sobre la cota 100.

También encontramos vulnerabilidad respecto de las quebradas o fondos de quebradas, cuyos cauces de agua varían considerablemente en las distintas estaciones del año, coincidentes en ser los receptores de agua lluvia que escurre a través de las laderas de los cerros, sumado a la pendiente, orientación de las laderas y profundidad de la cuenca, pueden llegar a ser una amenaza para la población, exponiendo al riesgo de remoción en masa a sus habitantes. No

obstante muchos de estos cursos se mantienen como áreas verdes naturales, ya que bajo la cota 100 estos cauces se encuentran abovedados (Barrales 2017).

Considerando la amenaza y vulnerabilidad de los habitantes de la micro cuenca Cabritería es importante contar con un adecuado análisis del territorio que permita identificar, considerar los riesgos naturales - antrópicos, mediante análisis cuantitativos y cualitativos integrando múltiples factores que nos permita realizar un diagnóstico de las características, tendencias y potencialidades del área de estudio, profundizando en el análisis del riesgo cuyos resultados favorecen identificar áreas restringidas al desarrollo urbano, por constituir un peligro potencial para los asentamientos humanos.

Considerando el potencial peligro de los asentamientos humanos que conducen a un desmejoramiento de la calidad urbana de Valparaíso, la preocupación de las autoridades y vecinos de cautelar el desarrollo armónico en materia morfológica en los sectores cuya normativa urbana presenta indefiniciones que generan vacíos entre sus parámetros. Mediante el decreto alcaldicio Nº 949 de 28 de abril de 2017 se aprobó la elaboración de un estudio para la modificación del Plan Regulador Comunal de Valparaíso en el sector urbano correspondiente a las partes altas entre los cerros Florida y Esperanza, mientras se desarrolla el proceso de modificación anteriormente indicado, resulta necesario postergar los permisos de edificación para la totalidad del área de estudio (Diario Oficial 2017. N° 41.819).

La situación antes descrita eventualmente puede generar desequilibrios que atentan contra los patrones de asentamientos, niveles de ocupación el suelo, saturación de servicios, se elaboró un estudio de modificación parcial al Plan Regulador Comunal, con el objeto del resguardo de los atributos urbanos que caracterizan la parte alta de la ciudad. Esta modificación parcial denominada ***"Identificación de recursos de valor patrimonial cultural sectores altos, cerros de Valparaíso"*** (ordenanza local Julio 2018), entra en vigencia en Julio

del año 2018 (Diario Oficial 2018. N° 42.117), normando aquellas indefiniciones urbanas anteriores, poniendo restricciones al crecimiento en altura y el resguardo de los atributos urbanos que caracterizan la parte alta de la ciudad. Es relevante para esta investigación mencionar que la micro cuenca Cabritería tiene un 66% de su superficie en el área de la modificación parcial del Plan Regulador Comunal (2018). (Figura N° 1).

Se pretende que los resultados de este trabajo apoyen los estudios de gestión del riesgo en la ciudad de Valparaíso en la perspectiva de la planificación de una ciudad mejor preparada para enfrentar este tipo de riesgo y así contribuir a mejorar la toma de decisiones en relación a la mitigación de los impactos asociados a las remociones en masa.

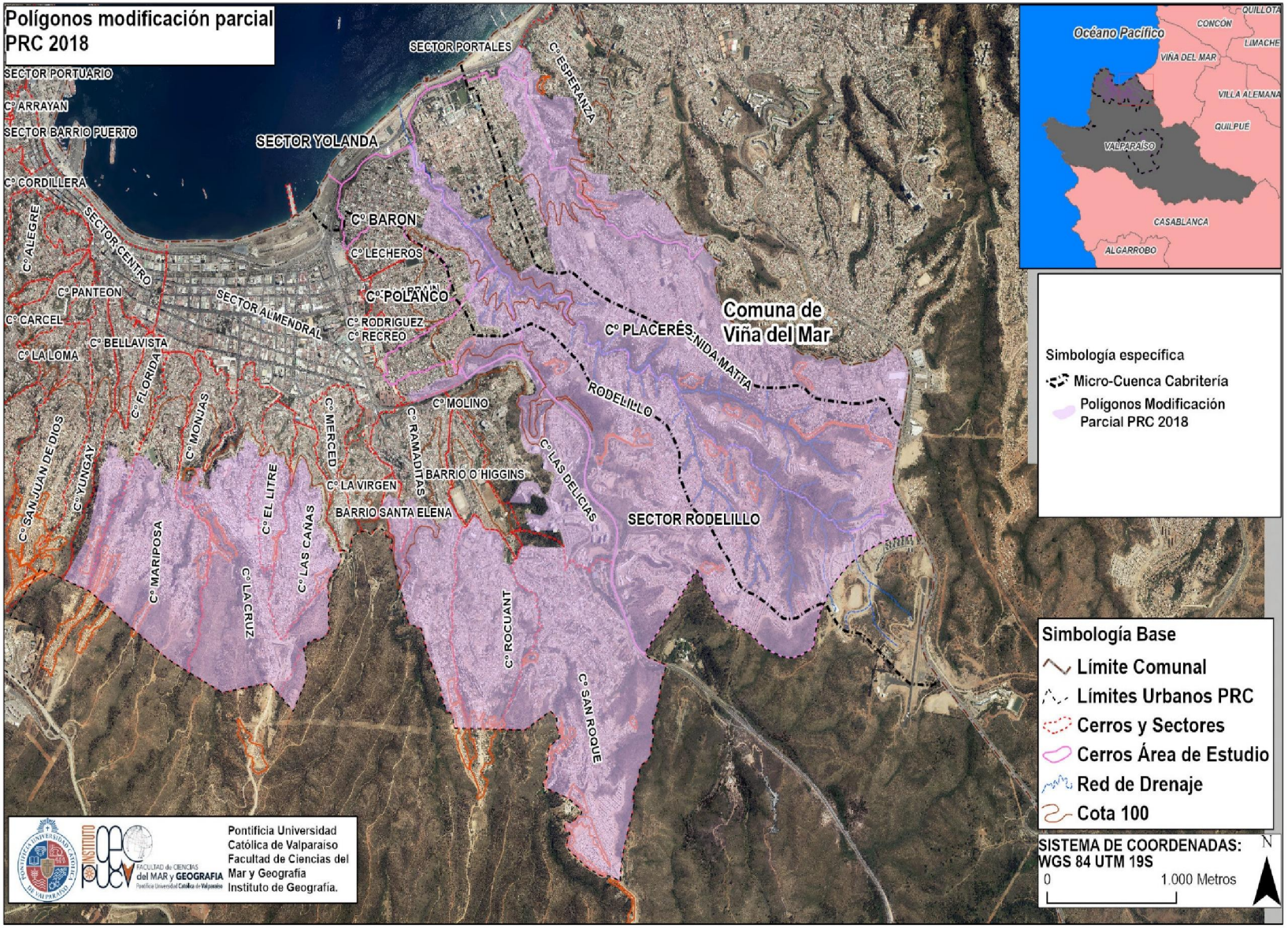


Figura N°3 Polígonos Modificación Parcial PRC 2018. Fuente Elaborado en base a Memoria explicativa PRC “Identificación de recursos de valor patrimonial cultural sectores altos, cerros de Valparaíso”.

1.2 Objetivos

1.2.1 General.

Evaluar el riesgo de remociones en masa en la micro cuenca Cabritería de la comuna de Valparaíso mediante la aplicación de un modelo multicriterio y un modelo morfométrico.

1.2.2 Específicos.

- Determinar las variables específicas que serán utilizadas para la aplicación de los modelos en la evaluación de la amenaza de remoción y de las condiciones de vulnerabilidad de la población.
- Utilizar un SIG para el manejo, administración y procesamiento de información geoespacial del medio físico y humano, para la aplicación de los modelos para la determinación de la amenaza y vulnerabilidad.
- Comparar los resultados de los modelos multicriterio y morfométrico frente a la exposición a la amenaza y sensibilidad al riesgo de la población por manzana censal INE como unidad de análisis.
- Comparar los resultados de los modelos multicriterio y morfométrico frente a la sensibilidad al riesgo de los asentamientos humanos precarios localizados sobrepasando la cota 100 de la micro cuenca Cabritería.

1.3 Alcances de la investigación.

La amenaza de remoción en masa y su relación con el índice de vulnerabilidad social permitirá evaluar el nivel de riesgo de los habitantes de la micro cuenca Cabritería, el estudio pone de manifiesto la necesidad de abordar las condiciones topográficas de Valparaíso mediante un análisis morfométrico detallado que enfrente el modelo de Evaluación Multicriterio (normativo) para evaluar el riesgo, entendiendo que la metodología de evaluación multicriterio ofrece resultados basados siempre en el punto de vista que asuma el planificador (Gómez y Barredo 2006), mientras que el modelo morfométrico (científico) tiene relación con el análisis físico del territorio utilizando valores morfométrico para evaluar la amenaza, sin el sesgo u orientación del planificador.

Para el análisis morfométrico los datos utilizados corresponden a restituciones aerofotogramétricas a escala 1:5.000 (SAF 2019), ya que para el análisis del área de estudio esta escala tiene mejor nivel de precisión, fineza y calidad en los resultados, a través de un mejor nivel de detalle en superficies pequeñas de análisis, permitiendo clarificar o eliminar aquellos datos que no se utilizarán. Así mismo la topografía definida a través de la restitución a este nivel de detalle permite obtener curvas de nivel cada 5 metros de altitud, con lo que se obtiene un detalle único de la morfología y configuración del relieve, permitiendo una mejor precisión en el modelo aplicado (morfométrico), por consiguiente resultados más precisos incidiendo en su calidad, conclusiones y recomendaciones finales.

El reconocimiento de las áreas de riesgo permitirá extrapolar cada nivel de riesgo (leve, moderado, alto y muy alto) con el sitio donde se emplazan las construcciones, puesto que el patrón de crecimiento urbano de la ciudad evidencia el poblamiento en áreas propensas al riesgo de remoción en masa en la parte alta de la micro cuenca Cabritería, en razón de lo anterior es necesario espacializar los grupos etarios sensibles a la amenaza y su grado de

vulnerabilidad, debido a que permitirá evidenciar aspectos sociales que amplían el grado de riesgo de remoción en masa de sus habitantes, permitiendo tener un enfoque más preciso de la amenaza y del riesgo de los habitantes de la micro cuenca Cabritería. Por consiguiente nos ayudará a enriquecer la investigación con resultados a escala de manzana censal con resultados más finos y precisos, conclusiones y recomendaciones orientadas por las características físicas de la micro cuenca, como también de la norma urbana aplicada en el modelo de evaluación multicriterio.

2. MARCO CONCEPTUAL.

2.1 Marco legal y normativo.

En nuestro país la construcción, consolidación, actualización del marco legal y normativo respecto del riesgo responde más a un carácter reactivo, ya que se ha ido consolidando una vez ocurridos grandes eventos desastrosos, por ejemplo el terremoto de 1928 dio origen a la ley de Urbanismo y Construcciones, el terremoto y tsunami de 1960 dan origen a la Oficina Nacional de Emergencias (ONEMI), los registros e información obtenida del terremoto de 1985 se utilizaron para modificar la norma de diseño sísmico de edificios (NCh 433) y las consecuencias del terremoto y tsunami del 27 de Febrero del año 2010 abre la discusión sobre un nuevo Sistema de Nacional de Emergencia y Protección Civil (DIPECHO 2011-2012).

La Constitución Política de la República de Chile (2005) en su Artículo 1°, inciso 5°, señala que ***"Es deber del Estado dar protección a la población y a la familia".*** Con el objetivo de asegurar dicha garantía constitucional se han asignado y otorgados competencias y facultades a numerosos órganos de Administración del Estado.

El primer nivel de acción, principios y bases respecto a la planificación urbana, urbanización, construcción y las Ordenanza que sobre la materia dicte el Presidente de la República, regirá en todo el territorio nacional la Ley General de Urbanismo y Construcciones (2022) (L.G.U.C.), la cual contiene los principios, atribuciones, potestades, facultades, responsabilidades, derechos, sanciones y demás normas que rigen a los organismos, funcionarios, profesionales y particulares en las acciones de planificación urbana, urbanización y construcción (Art. 2° L.G.U.C.).

El Artículo 60 de la Ley General de Urbanismo y Construcciones menciona que ***"El Plan Regulador señalará los terrenos que por su especial naturaleza y ubicación no sean edificables. Estos terrenos no podrán subdividirse y***

sólo se aceptará en ellos la ubicación de actividades transitorias, manteniéndose las características rústicas del predio".

El segundo nivel de acción, disposiciones y reglamentaciones derivadas de la L.G.U.C. es la Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones (2022) (O.G.U.C.), que contiene las disposiciones reglamentarias de esta Ley y regula el procedimiento administrativo, el proceso de planificación urbana, urbanización y construcción, los estándares técnicos de diseños y construcción exigibles en los dos últimos (Art. 2° L.G.U.C.).

Artículo 2.1.17 (O.G.U.C.) En los **Planes Reguladores** podrán definirse áreas restringidas al desarrollo urbano, por constituir un peligro para los asentamientos humanos.

Dichas áreas se denominarán "zonas no edificables" o bien "áreas de riesgo", según sea el caso, como se indica a continuación:

Por **"zonas no edificables"** se entenderán aquellas que por su especial naturaleza y ubicación no son susceptibles de edificación, en virtud de lo preceptuado en el inciso primero del artículo 60º de la Ley General de Urbanismo y Construcciones. En estas áreas sólo se aceptará la ubicación de actividades transitorias.

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.

Los instrumentos de planificación urbana tienen por objetivo definir los destinos en los usos de suelo, considerando en su **zonificación, áreas de riesgo y de restricciones para edificaciones**, estableciendo el Plan Regulador Metropolitano de Valparaíso en el Artículo 47°: Áreas de riesgo en terrenos en

pendiente (AR NP). El área de riesgo corresponde a los territorios que presentan pendientes superiores al 40%.

En materia normativa, **el primer proceso importante de consolidación urbana es el Plan Regulador del año 1984**, que planificó el crecimiento de la ciudad, determinando nuevas zonificaciones, como las industriales y las habitacionales, reconociendo miradores e incorporando las áreas de extensión urbana, si bien estaba constituido principalmente por normas genéricas, como las referidas a la altura y la subdivisión y usos del suelo, resulta consecuente con la morfología de los cerros de la ciudad de Valparaíso (PLADECO 2020-2030).

El Plan Regulador Comunal de Valparaíso (2010), en el Artículo 21° establece restricciones para edificaciones en terrenos con pendientes mayores a 30%, en zonas urbanas, se exigirá para la aprobación y recepción de los proyectos de edificación, subdivisión y loteo, la presentación de proyectos específicos de obras de contención del suelo, canalización de aguas lluvias y cálculo de estructuras de cada uno de dichos proyectos, todo ello en conformidad al Artículo 134º de la Ley General de Urbanismo y Construcciones, será responsabilidad del proyectista, acompañar a cada solicitud de permiso una carta simple declarando que los terrenos donde se emplaza el proyecto, son mayores o menores al 30% a los que alude este artículo.

La legislación y normativa vigente, respecto de la planificación urbana chilena, involucra diversas instituciones en los procesos de gestión del riesgo según sea su competencia, por lo que a continuación en la tabla N°1 se muestra una síntesis de los marcos normativos para la reducción del riesgo por desastres, respecto de la investigación.

Tema	**Instrumento / Marco Legal**	**Consideraciones para la reducción del riesgo de desastres**	**Nivel**
Protección	Constitución Política de la República de Chile.	Es deber del Estado dar protección a la población y a la familia.	Nacional
Amenazas Naturales	Ley y Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones, Decretos Supremos 458 y 47.	Esta ley establece los instrumentos de planificación territorial, que en su elaboración exigen estudios de riesgo, los que dependiendo de la peligrosidad de amenazas naturales deben proponer zonas no edificables o de edificación restringida.	Nacional
Terrenos en Pendiente	PREMVAL: Art 47;1	Zona de riesgo en terrenos con pendientes superiores al 40%	Intercomunal

Terrenos en Pendiente	PRCV: Art 21	Establece restricciones para edificaciones en terrenos con pendientes mayores al 30% en zona urbana.	Comunal

Tabla N°1 Síntesis de los marcos normativos para la reducción del riesgo por desastres. Elaboración Propia 2022.

2.2 El riesgo y sus factores.

Chile por sus características geográficas y geológicas lo convierten en un territorio expuesto a diversas amenazas de origen natural, tales como terremotos, tsunamis, erupciones volcánicas, precipitaciones intensas, sequías (eventos que serán cada vez más severos producto del cambio climático), eventos que pueden ocasionar inundaciones, procesos de remociones en masa en algunas ocasiones. Acontecimientos que se han manifestado con el transcurso del tiempo, provocando grandes daños a equipamientos e infraestructura, viviendas y efectos en la actividad económica. En el periodo de los años 1980 -2011 Chile en promedio registro pérdida cercanas al 1,2% de su PIB debido a desastres de origen natural, además el 54% de su población y el 12,9% de su superficie total está expuesta a tres o más tipos de estas amenazas (ONEMI 2020). Chile es considerado un país vulnerable al cambio climático, cumpliendo con la mayoría de los nueve criterios de vulnerabilidad de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático, destacando el criterio de poseer un **territorio susceptible a desastres naturales** (Plan de acción Nacional de cambio Climático 2017-2022), estimándose que por su condición de alta vulnerabilidad al cambio climático tenga pérdidas ambientales, sociales y económicas por este fenómeno significativas, alcanzando el 1,1 % anual del PIB al año 2100 (Plan de acción Nacional de cambio Climático 2017-2022).

Considerando las amenazas que presenta el territorio Nacional es esencial comprender el riesgo como el resultado de la interacción de diferentes variables, vinculadas a procesos de desarrollo que pueden ser territoriales (uso, ocupación y transformación del territorio) y procesos sectoriales productivos (creación de bienes y servicios, aprovechamiento de recursos naturales, disposición de residuos) (UNESCO 2012). Procesos relacionados directamente con la **exposición a las amenazas** ya sean de origen natural o antrópicas, incidiendo también de forma directa la **vulnerabilidad**.

La **amenaza**, peligro o peligrosidad son un fenómeno, sustancia, actividad humana o condición peligrosa que puede ocasionar la muerte, lesiones, u otros impactos a la salud, al igual que daños a la propiedad, pérdida de medios de sustento y servicios, trastornos sociales y económicos, o daños ambientales y pueden ser de origen natural, socio-naturales, antrópicas o tecnológicas (UNISDR, 2009).

La **vulnerabilidad** surge de la interacción de una serie de factores que confluyen en una comunidad y territorio, resultando en la predisposición a ser afectado negativamente. La vulnerabilidad comprende una variedad de conceptos y elementos que incluyen la sensibilidad o susceptibilidad al daño y la falta de capacidad de respuesta y adaptación (IPCC, 2014, p.5).

El **riesgo** a menudo se caracteriza por la referencia a posibles eventos, consecuencias (impactos), la probabilidad asociada y la interacción de la vulnerabilidad (Billi et al 2021), entendiendo el resultado de la interacción de las diferentes variables:

$$R = A * V.$$

Donde:

R= Riesgo A= Amenaza V= Vulnerabilidad.

En Chile el riesgo es asumido respecto de la norma urbana y es la Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones que en su artículo 2.1.17 establece que los planes reguladores definan las áreas restringidas al desarrollo urbano, por constituir peligro a los asentamientos humanos, regulando que en las áreas de riesgo se limite determinando tipo de construcciones por razones de seguridad ante desastres naturales. Las áreas de riesgo se determinaran en base a las siguientes características:

1. Zonas inundables o potencialmente inundables, debido entre otras causas a maremotos o tsunamis, a la proximidad de lagos, ríos, esteros, quebradas, cursos de agua no canalizados, napas freáticas o pantanos.

2. Zonas propensas a avalanchas, rodados, aluviones o erosiones acentuadas.

3. Zonas con peligro de ser afectadas por actividad volcánica, ríos de lava o fallas geológicas.

4. Zonas o terrenos con riesgos generados por la actividad o intervención humana.

Para autorizar proyectos a emplazarse en áreas de riesgo, se requerirá que se acompañe a la respectiva solicitud de permiso de edificación un estudio fundado, elaborado por profesional especialista y aprobado por el organismo competente, que determine las acciones que deberán ejecutarse para su utilización, incluida la Evaluación de Impacto Ambiental correspondiente conforme a la Ley 19.300 sobre Bases Generales del Medio Ambiente (Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones 2022).

2.3 Desastres Naturales en la ciudad de Valparaíso.

La comuna de Valparaíso en la zona central de Chile, posee condiciones morfoclimáticas que son favorables al desarrollo de procesos de remociones en masas. No obstante se debe considerar también que una parte importante de nuestro territorio está situado en la zona de convergencia de las placas tectónicas Sudamericana y de Nazca, que forma parte del margen oriental del Cinturón de Fuego del Pacifico, presentando la más alta actividad volcánica y sísmica del mundo. En este sentido, a este marco sismotectónico y volcánico de Chile, se agregan las características climáticas y meteorológicas, expresadas en eventos hidrometeorológicos que causan inundaciones por desborde de cauces, debido a eventos de precipitaciones intensa. El contexto geomorfológico caracterizado por una topografía con bruscos cambios de pendientes y la existencia de numerosas quebradas que atraviesan el **área urbana de la ciudad de Valparaíso**, configuran un territorio bajo amenaza de remoción en masa, donde la ocupación urbana de los sectores altos, sobre la cota 100 ha significado el aumento de los riesgos socionaturales de la ciudad (Delgado 2011).

Los eventos hidrometeorológicos registrados en la ciudad de Valparaíso durante el periodo de los años 1900 a 2003 corresponden a 73, causando inundaciones de los lechos, deslizamientos de las laderas y derrumbes que afectaron las casas, murallas y vehículos (Delgado 2011). Las remociones en masas producto de las inundaciones ocurridas en la ciudad de Valparaíso corresponden a 17 (ONEMI 2017), mayoritariamente ente los meses de Junio y Julio, coincidentemente meses de mayor precipitación de los últimos 47 años (ver gráfico N° 1).

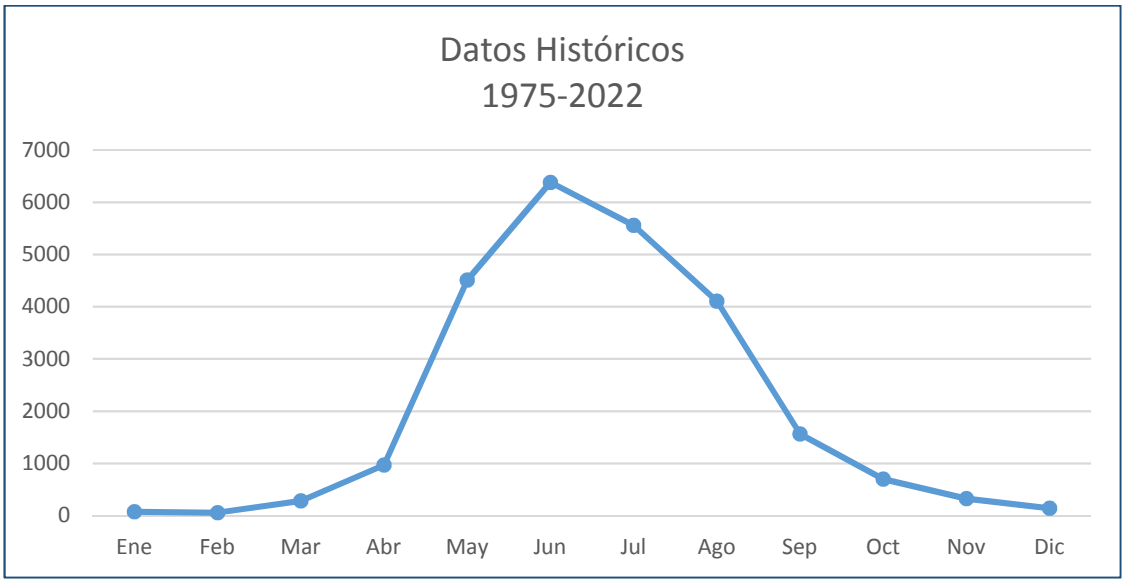


Gráfico N° 1: Distribución invernal de las precipitaciones. Fuente: Estación pluviométrica Rodelillo, Ad. (330007). Dirección Meteorológica de Chile - Servicios Climáticos.

Respecto al impacto de los terremotos a lo largo de la historia de la ciudad, podemos describir los 3 más destructores y que se tiene registros históricos en el Servicio Sismológico de Chile (ver tabla N° 2).

Los datos históricos nos remontan al año 1822 donde alrededor de 22:30 horas un fuerte terremoto azoto la zona central de Chile con una duración de aproximadamente 40 segundos dejando un saldo de 66 personas muertas en Valparaíso, entre ellos 12 párvulos, 110 personas heridas, cuantiosos daños a edificios públicos, fortalezas y templos, destacando la iglesia La Matriz que perdió su torre (Palacios 2016). A comienzos del siglo XX al atardecer del 16 de agosto de 1906 un movimiento sísmico de 7,9° de magnitud superficial provoco una catástrofe horrorosa en la ciudad de Valparaíso, los efectos del terremoto destruyeron el 90% de los edificios de la parte central de Valparaíso, el fuego destruyó en su totalidad los edificios de la Avenida Brasil y todos los almacenes de la calle Blanco, entre la avenida Errazuriz y la calle Pudeto, el mar se retiró más de media cuadra del malecón, el cual volvió tranquilo a cubrir el lecho que había abandonado (Palacios 2016). El número oficial de víctimas fue calculado en 3.800 personas y los daños a la propiedad por 100 millones de dólares de la

época (Gil 2017). El terremoto del 03 de Marzo de 1985 se produjo en la zona central de Chile, al sur de la ciudad de Valparaíso, en una zona de fuerte y continua actividad sísmica que empezó en los años 50, en el momento que aparecían las primeras estaciones digitales de banda ancha (Madariaga 1998), lo que permitió un estudio bastante detallado de la ruptura, en donde sus registros e información obtenida se utilizaron para modificar la norma de diseño sísmico de edificios NCh 433. Las consecuencias del terremoto a nivel nacional fueron 979.792 afectados, 180 muertos y daños por 1.500.000 millones de dólares (DIPECHO 2011-2012). En cuanto al registro histórico de ONEMI (2017) de remociones en masa, solo se reconocen 2 eventos como factor sísmico desencadenante en la ciudad de Valparaíso.

N°	Fecha	Hora Local	Magnitud Ms	Magnitud Mw
1	19/11/1822	22:30	8,5	-
2	16/08/1906	19:48	7,9	8,2
3	03/03/1985	19:46	7,8	8.0

MS: Magnitud superficial, Mw: Magnitud de momento. Tabla N°2 Registro Histórico sismos más destructivos en la ciudad de Valparaíso. Fuente: Servicio sismológico de Chile

2.4 Factores que actúan en el proceso de remoción en masa.

El elemento que caracteriza el crecimiento urbano de la ciudad de Valparaíso corresponde a un patrón de asentamiento que se ha adaptado a la geomorfología local, con un crecimiento a mayor densidad en sectores planos de la ciudad y una extensión de su periferia y sectores altos (Plan Maestro para la Gestión del Riesgo de Incendio Valparaíso 2018), correspondiente a los cerros, ubicados en el límite sur de El Plan de Valparaíso, donde comienzan las variaciones geomorfológicas formando las micro cuencas de la ciudad. Su crecimiento urbano está asociado a la ocupación y construcción irregular del territorio, el que progresivamente ha sido formalizado por el Estado (PNUD 2014).

Los procesos de remoción en masa están condicionados por factores como la gravedad, las características estructurales, el estado de conservación de las rocas y la existencia de un desnivel topográfico (Hauser, 1993). Entre los factores desencadenantes se encuentra la lluvia y los eventos sísmicos, según Hauser (1993) las pendientes iguales o superiores a 25º, tanto en laderas como canales de drenaje son un factor esencial para el desarrollo de flujos de detritos.

La **topografía escarpada** y **ángulos altos de pendientes de laderas** son factores geomorfológicos a considerar, siendo propicios principalmente para la generación de flujos, deslizamientos y derrumbes, mientras el ángulo de la pendiente se incrementa, también lo hace la tensión del suelo o el material no consolidado (Albornoz 2018).

SERNAGEOMIN, (2004), realizando un estudio sobre los factores condicionantes al desarrollo de remociones en la Región de Valparaíso, indica que la **orientación de las laderas**, la incidencia del sol sobre las superficies y la actuación directa de los agentes de meteorización especialmente sobre las laderas de exposición Norte (solana), no permiten el crecimiento denso de vegetación que actúa como una cubierta protectora del suelo y de las laderas, significando por ello una mayor vulnerabilidad a los procesos de meteorización y erosión, podemos destacar que la información general de eventos históricos de remociones en masa de ONEMI (2017), para la ciudad de Valparaíso registra un total de 45,9% de eventos de remociones en laderas de exposición norte, noreste y noroeste, a continuación en tabla N° 3 el detalle.

Orientación de la ladera	Número de eventos	Porcentaje
Norte	17	17,6
Noreste	11	11,2
Noroeste	17	17,3
Oeste	13	13,2
Este	18	18,3
Sur	4	4,0
Sureste	9	9,2
Suroeste	9	9,2
Total	98	100

Tabla N°3 Eventos históricos de remociones en masa de acuerdo a orientación de laderas. Fuente: "Plan específico de emergencia por variable de riesgo Remoción en Masa, ONEMI 2017".

Los factores condicionantes dependen de la propia naturaleza, estructura y forma del terreno, características propias del sitio que configuran una situación potencialmente inestable y que interactúan para favorecer la ocurrencia de fenómenos de remoción en masa (SERNAGEOMIN 2004), estos factores son tres, los cuales pueden ser cartografíales y por lo tanto ser usados como variables en los modelos de ocurrencia de un proceso de remoción en masa.

El factor **geomorfológico** dice relación con las condiciones del terreno que pueden tener injerencia en la generación, transporte y depositación de remociones en masa, (ONEMI 2017), la existencia de pendientes sobre 25° tanto en laderas como en canales de drenaje es un factor esencial para el desarrollo de flujos de detritos (SERNAGEOMIN 2004).

La **litología**, que en términos de tipo de materiales y texturas, influyen en el comportamiento físico o químico de rocas y suelo (SERNAGEOMIN 2004). Es así como ciertas condiciones del terreno que inducen susceptibilidad al movimiento en masa, por ejemplo: los suelos arcillosos y saturados de agua; los suelos sueltos con estructura particular y baja resistencia al corte; fracturamiento intenso en roca; rocas sedimentarias alternadas con estratos paralelos a la pendiente de la ladera; rocas metamórficas de estructura muy esquistosa; rocas

metamórficas muy alteradas; existencia de fallas o fracturas interceptando la ladera, entre otras, lo que finalmente, se traduce en estabilidad de la ladera.

La **vegetación** es un condicionante que contribuye en la estabilidad de las pendientes y protege contra la erosión, mediante el sistema de raíces aumenta considerablemente la resistencia al corte y mediante la creación de una presión de poros negativa aumenta la cohesión del suelo, reduciendo también la acción de los agentes climáticos, protegiendo las laderas del sol, viento, lluvia, etc. (SERNAGEOMIN 2004).

3. ÁREA DE ESTUDIO

3.1 Localización del área de estudio.

La micro cuenca Cabriteria alcanza una superficie de 4,7 km^2, correspondiente al 1,5% del territorio comunal, se localiza en el sector noroeste del área urbana de la ciudad de Valparaíso, en el límite con la comuna de Viña del mar. Se encuentra entre los 33°2´59,7121", de latitud sur y los 71°34´51,7693"de longitud oeste y se extiende desde la ruta 68, Variante Agua Santa, hasta calle Yolanda, abarcando los cerros Placeres, Rodelillo, Polanco, Barón, en la parte baja el sector Yolanda y forma parte del régimen hídrico de la sub cuenca Lago Peñuelas (Figura n°4).

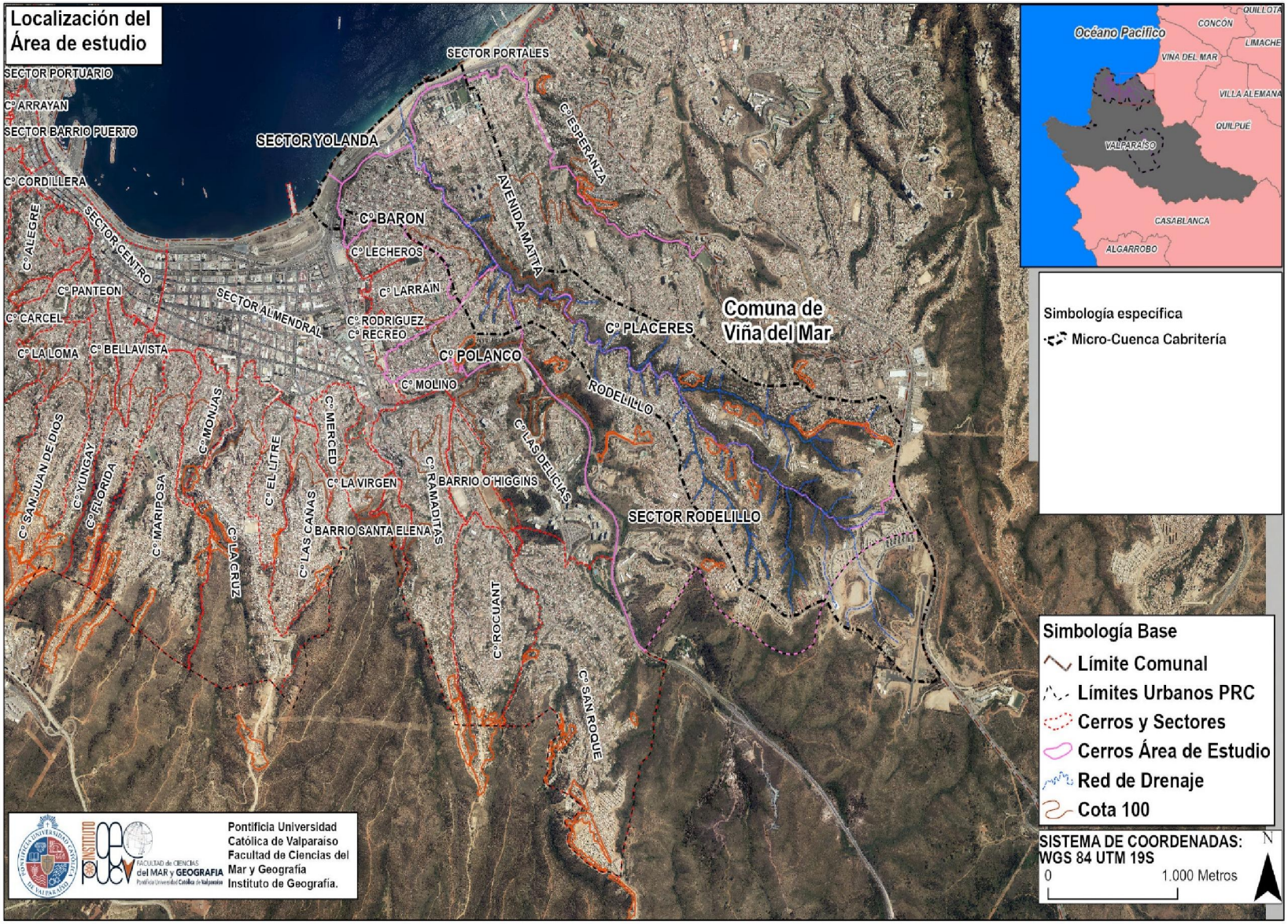


Figura N°4 Localización del área de estudio. Elaboración propia 2022.

3.2 Antecedentes geográficos físicos.

3.2.1 Clima comuna de Valparaíso.

La comuna de Valparaíso se emplaza dentro del contexto climático de Chile central, constituyéndose como el eje central de la región geográfica denominada como “Secano Costero perteneciente al “Bioclima Costero”, el cual se caracteriza por un clima mediterráneo costero que se presenta en toda la costa de la región de Valparaíso y su influencia llega hasta el interior por medio de los valles. Las variaciones de temperaturas son menores por el influjo del océano, siendo más parejas durante el año con un promedio anual de 14°C y una humedad relativa con un 75%. A raíz de esto se adquieren las condiciones climáticas imperantes en el territorio comunal, las que corresponden a un marcado régimen estacional de precipitaciones y temperatura asociado a una estación fría y húmeda en invierno y una estación cálida y seca en verano Además, la variabilidad de las temperaturas se encuentra afectada por la influencia costera y la Corriente de Humboldt (Luebert y Pliscoff, 2012).

El clima local en la comuna de Valparaíso varía de acuerdo con la exposición de laderas, donde las exposiciones norte (solana) presentan mayor insolación y por lo tanto mayor evapotranspiración, y un balance hídrico más negativo que las exposiciones de laderas sur (umbría) (PLISCOFF 2002), donde la fisionomía y composición de la vegetación es más xerofítica en solana y más ombrofítica en laderas de exposición sur. En cuanto a la distribución invernal de las precipitaciones con datos del periodo de 1975 al año 2022, de la estación pluviométrica de Rodelillo, que es la estación ubicada dentro de la micro cuenca Cabritería, en la tabla N° 4 se puede observar que el año 1984 fue la más lluvioso con 2875,3 mm de agua caída en el periodo de los meses de Junio a Septiembre, y el mes con mayor precipitación del periodo corresponde al mes de Junio con 6381,1 mm (gráfico N° 2).

Años	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Total distribución invernal
2022	91,3	145,1	66,7	7	2332,1
2021	44,3	13,3	50,1	38,3	2167
2020	228	112,8	41,3	3,7	2405,8
2019	85,6	8,4	0,4	1,5	2114,9
2018	88,2	89,1	13,3	16,3	2224,9
2017	212	50,3	132,7	22,9	2434,9
2016	45,8	125,8	0,2	3,5	2191,3
2015	1	68,7	226,2	99,2	2410,1
2014	165	45,4	78,8	53,4	2356,6
2013	90,8	19,4	29,8	0,1	2153,1
2012	187,1	0,4	102,7	7,9	2310,1
2011	120,5	104,2	94,3	0	2330
2010	151,6	54,1	2,9	33,1	2251,7
2009	228,3	19	179,1	9,2	2444,6
2008	107,1	109,2	201,3	3,1	2428,7
2007	57,4	49,8	59,6	2,3	2176,1
2006	216,3	163,3	55,9	19,5	2461
2005	110,6	62,1	141,5	33,5	2352,7
2004	127,4	189,6	94,3	25,8	2441,1
2003	43,8	78,2	22	42,1	2189,1
2002	311,9	158,5	235,8	16,2	2724,4
2001	2	528,2	127,3	21,6	2680,1
2000	612,5	10,4	8,9	166,7	2798,5
1999	112,9	54,7	130,3	206	2502,9
1998	53,8	0	0	20,6	2072,4
1997	444,9	113	170,5	112,1	2837,5
1996	71,3	161,5	112,4	1,2	2342,4
1995	134,1	154,8	77	7,7	2368,6
1994	71	101,7	68,2	28,7	2263,6
1993	123,7	99,7	43,9	4,6	2264,9
1992	321,4	4	229,1	62,3	2608,8
1991	307,8	101,1	14,3	107,8	2522
1990	2,4	83,5	26,3	43,8	2146
1989	44,4	141,1	135,8	1,5	2311,8
1988	37,6	91,5	163,4	17,2	2297,7
1987	31,8	494,2	310	44,8	2867,8
1986	131,2	9,1	153,7	1,5	2281,5
1985	62,3	83,7	0	22,4	2153,4

1984	76,9	612	110,3	92,1	2875,3
1983	152,3	171,9	149,1	21,6	2477,9
1982	529,6	232,4	93,3	37,1	2874,4
1981	69,1	28,5	94,6	18	2191,2
1980	183,6	205,5	10,3	82,1	2461,5
1979	Sin datos	Sin datos	Sin datos	0,4	1979,4
1978	Sin datos	Sin datos	Sin datos	Sin datos	1978
1977	Sin datos	Sin datos	Sin datos	Sin datos	1977
1976	Sin datos	Sin datos	Sin datos	Sin datos	1976
1975	90,5	411,2	47,3	0,8	2524,8
Total	6381,1	5560,4	4104,9	1561,2	113535,6

Tabla N° 4 Distribución invernal de las precipitaciones. Fuente: Estación pluviométrica Rodelillo, Ad. (330007). Dirección Meteorológica de Chile - Servicios Climáticos.

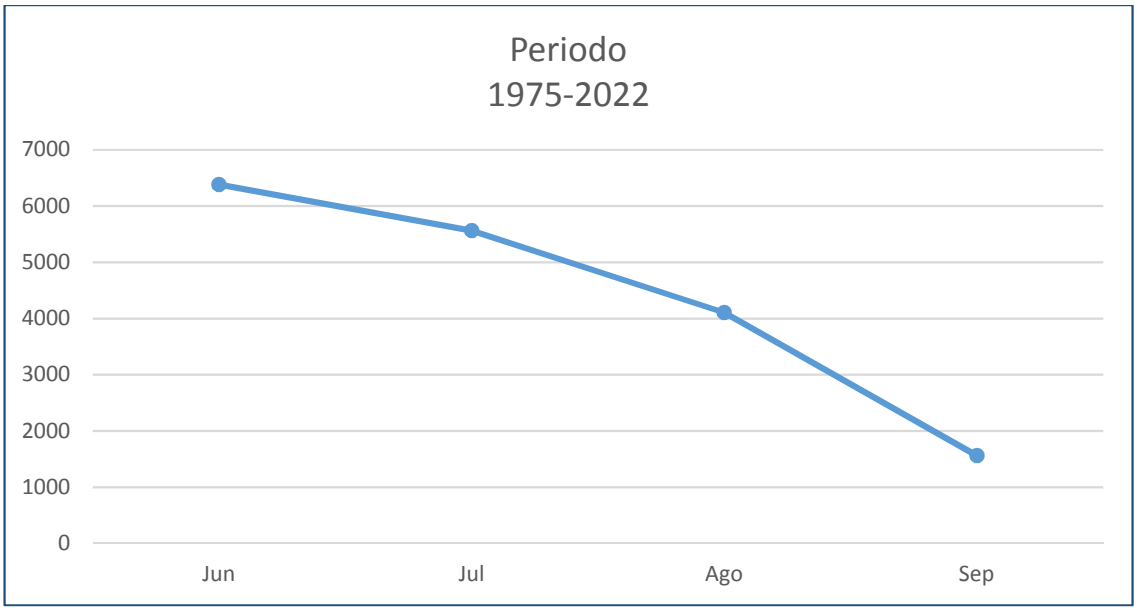


Gráfico N° 2: Distribución invernal de las precipitaciones. Fuente: Estación pluviométrica Rodelillo, Ad. (330007). Dirección Meteorológica de Chile - Servicios Climáticos.

Las causas meteorológicas de los procesos de remoción en masa están relacionado fundamentalmente con el volumen, intensidad y distribución de las precipitaciones y con el régimen climático, las precipitaciones de corta duración

y gran intensidad actúan como gatillante en aquellos sectores donde existen condiciones geológicas y geomorfológicas favorables, como por ejemplo, zonas cubiertas por depósitos no consolidados, materiales de alteración e incluso sectores de antiguos deslizamientos (SERNAGEOMUIN 2004), considerándose un factor desencadénate importante en los procesos de remoción en masa.

3.2.2 Geología y Geomorfología.

Geología

Permite el reconocimiento de la naturaleza, edad, estado de conservación de los materiales, junto con identificar las fallas y lineamientos presentes en el área. Para el estudio es importante conocer la geología del lugar, para tener más detalle de la composición, estructura interna de la tierra, los procesos por los cuales ha ido evolucionando, para luego realizar el mapa geológico respectivo y ser utilizado como variable en los modelos de ocurrencia en un proceso de remoción en masa.

El área de Valparaíso se caracteriza por la presencia de rocas intrusivas, metamórficas, sedimentarias y en pequeña proporción secuencias volcanosedimentaria[1]. La estructuración del marco geológico se efectúa con el fin de determinar las características litológicas generales más importantes y está basado en el mapa geológico de Chile (SERNAGEOMIN 2003), el cual contempla la micro cuenca Cabritería y se observan alrededor de 2 unidades geológicas (Figura N° 5).

Dentro de las unidades litológicas se encuentran:

Jurásico Medio-Superior (180-142 Ma) (Jsg): Roca Intrusiva Se constituye de monzodioritas cuarcíferas, dioritas y granodioritas de biotita, piroxeno y

[1] Las Rocas volcanosedimentaria son flujos volcánicos en donde el material es de origen volcánico que a medida avanza, puede incorporar material sedimentario. Estos flujos se conocen como oleadas piroclásticas, surges y, cuando decanta el material en suspensión del aire, tobas.

hornblenda. En la Cordillera de la Costa, regiones I a VI; en la Cordillera Principal, regiones X y XI: Plutón Panguipulli y borde oriental del Batolito Norpatagónico; en la península Antártica, **ambiente plutónico**. Presente en las ciudades de Valparaíso y Viña del Mar (SERNAGEOMIN 2003).

Carbonífero-Pérmico (328-235 Ma) (CPg): Roca intrusiva. Se constituye de granitos, granodioritas, tonalitas y dioritas, de hornblenda y biotita, localmente de muscovita Batolitos compuestos, 'stocks' y cuerpos hipabisales (Sierra Moreno, Cordillera de Domeyko, Batolito Elqui-Limarí); en la Cordillera Principal, regiones X y XI: Batolito Panguipulli-Riñihue y 'Stock' Leones, **ambiente plutónico**. Presente en las ciudades de Valparaíso y Viña del Mar (SERNAGEOMIN 2003).

Depósitos litorales y eólicos actuales (Qe): Pleistoceno-Holoceno. Roca sedimentaria. Se constituye de sedimentos de playa no consolidados, conformados por arenas y gravas de bolones bien redondeados, estratificación planar y cruzada, **ambiente sedimentario continental**. Se presentan en las ciudades de Valparaíso y Viña del Mar (SERNAGEOMIN 2003).

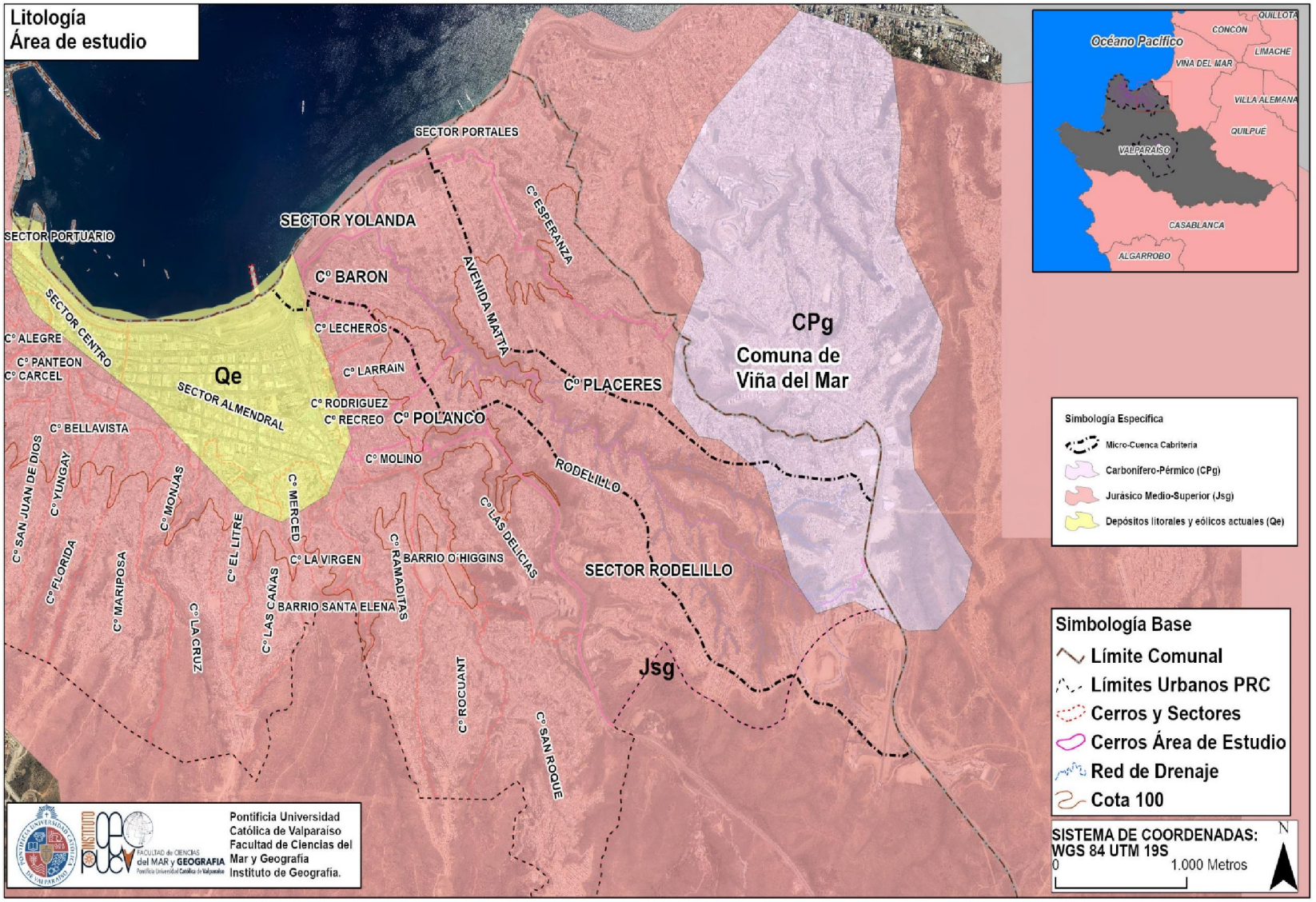


Figura N° 5 Unidades litológicas del área de estudio, Fuente: Elaboración propia, en base a archivo digital (shape) SERNAGEOMIN 2003.

Geomorfología

Las unidades geomorfológicas presentes en el área de Valparaíso corresponden a litoral rocoso, litoral arenoso (playas de Laguna Verde, Las Torpederas y San Mateo), laderas de cerros y quebradas costeras, la Cordillera de la Costa, donde este sistema de relieve aparece en el sector occidental del valle del Aconcagua con altitudes que alcanzan los 2.000 m.s.n.m. destacándose los cerros Chache con 2.333 m.s.n.m., El Roble con 2.222 m.s.n.m. y La Campana con 1.812 m.s.n.m. de altura, todo enmarcado en una cordillera alta y bien conformada a unos 35 a 40 km del litoral (Ministerio de Agricultura 2017).

La ciudad de Valparaíso se emplaza sobre una sucesión de terrazas de abrasión marina, donde la zona más baja conforma el “Plan” de la ciudad, planicie artificial formada a partir de relleno, en tanto que la terraza superior es drenada por numerosas quebradas conformando una serie de sub cuencas que fragmentan la superficie del territorio (FOCO 2015). La altura del área de estudio varía desde los 0 y 340 metros sobre el nivel del mar, con una extensión de 5 kilómetros (figura N° 6), donde la micro cuenca Cabritería y su red de drenaje constituyen una condicionante tanto para el desarrollo urbano como para la distribución de la biodiversidad en el territorio, que dependiendo de su posición y pendiente se relacionan en sub sistemas interdependientes del gran sistema geográfico (Opazo 2016). La micro cuenca, moldeada en relación a la red hídrica, presenta diversas unidades geomorfológicas menores que abarcan todo el territorio de la gran terraza litoral. Entre los elementos del relieve que se distinguen, se encuentra el litoral rocoso, litoral arenoso, quebradas costeras, laderas interiores de exposición norte y laderas interiores de exposición sur, los cuales integran un complejo sistema de relaciones paisajísticas que dan sustento un escenario heterogéneo y diverso ambientalmente (Gutiérrez 2016).

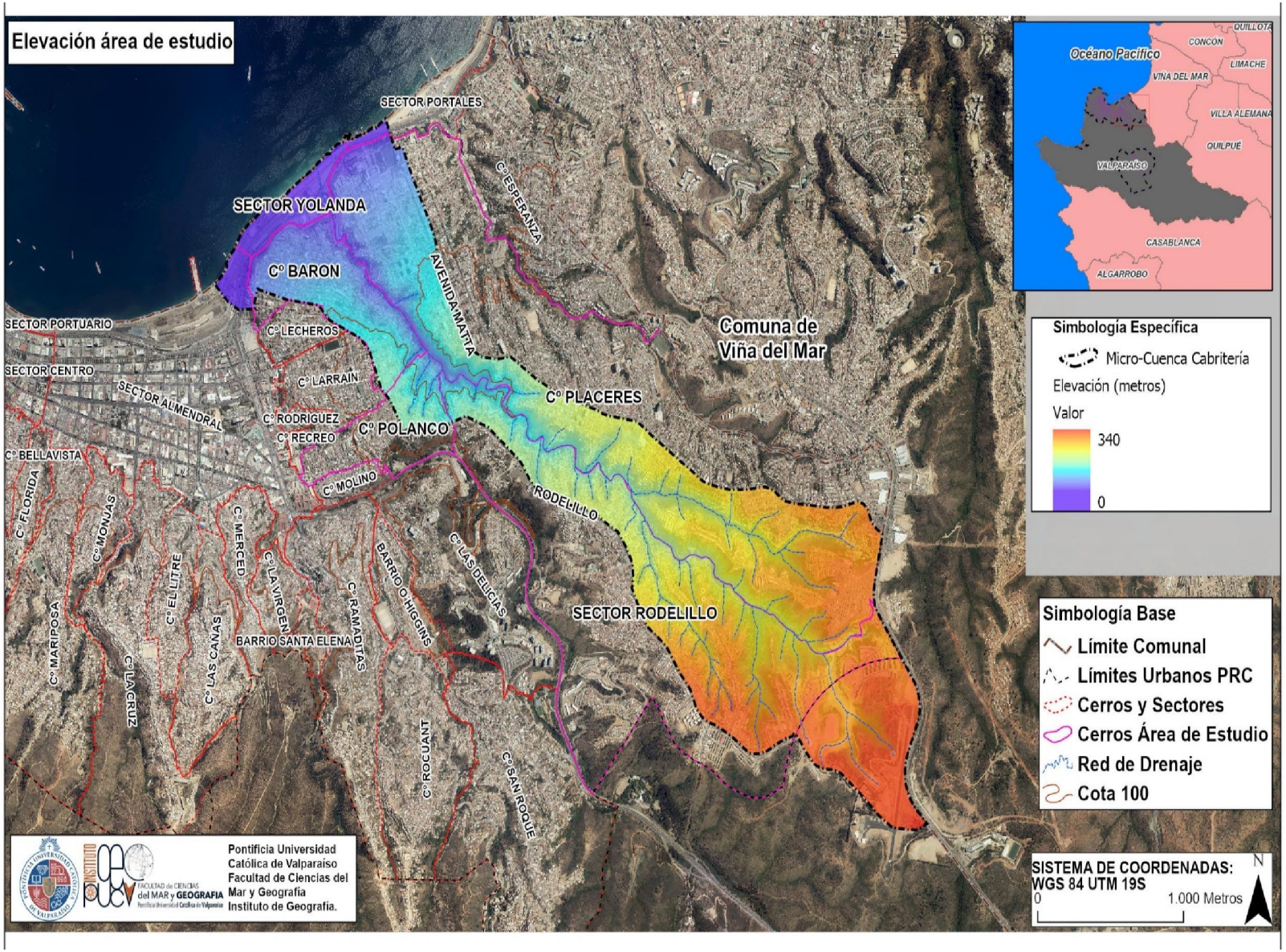


Figura N° 6 Elevación área de estudio. Elaboración propia 2022.

3.2.3 Vegetación.

En la zona costera se puede encontrar vegetación asociada a un matorral arbustivo costero formado por especies como el peumo, boldos, maitenes, junto a hierbas y gramíneas. En las áreas más húmedas como fondos de quebradas se pueden encontrar litres, quilas, pataguas. Sobre los 400 y 1.000 m.s.n.m., existe el denominado bosque esclerófilo. Este bosque está formado por especies arbóreas como quillay, litre, molle, belloto, boldo y peumo (Estudio Básico Diagnóstico para Micro proyectos de Riego en Regiones de Coquimbo y Valparaíso).

La comuna de Valparaíso se ubica dentro de la Región de Matorral y Bosque Esclerófilo (Gajardo, 1994), la que se caracteriza por la presencia de formaciones vegetales de bosque esclerófilo costero, relacionado con especies como el peumo, boldo, litre, y la presencia de especies como el espino, chagual, lúcumo chileno y la palma chilena, entre otras, predominando los siguientes pisos vegetacionales:

1. Bosque esclerófilo mediterráneo costero de *Lithrea caustica* (Litre) y Cryptocarya alba (Peumo).

2. Bosque esclerófilo mediterráneo costero de *Cryptocarya alba* (Peumo) y Peumus boldus (Boldo).

Respecto a la cobertura vegetal, (distribución espacial de los distintos tipos de vegetación) en la comuna se reconoce la presencia de 3 tipos de vegetación (ver figura N°8), las cuales se subdividen en 10 sub tipos (Hernández et al 2016). La cobertura vegetal con mayor superficie comunal corresponde al tipo matorrales con 150,3 km^2, la de menor superficie corresponde a pastizales con 13,1 km^2 y la cobertura bosques se distribuye por 113,9 km^2 del territorio comunal (ver tabla N°5).

Tipo de cobertura	Subtipo de cobertura	Superficie tipo (km^2)	Superficie subtipo (km^2)
Pastizales	Pastizales áridos	13,1	1,7
	Praderas		0,6
	Otros pastizales		10,7
Matorrales	Matorrales	150,3	146,0
	Matorrales arborescentes		3,0
	Plantación de matorrales		0,2
	Otros matorrales áridos		1,1
Bosques	Nativo de hoja ancha	113,9	28,1
	Plantación de coníferas		34,4
	Plantaciones de hoja ancha		51,4

Tabla N°5 Tipos cobertura vegetal comuna de Valparaíso. Fuente: Hernández et al 2016.

La micro cuenca Cabritería reúne atributos ecológicos en su estructura ambiental que permiten la existencia de un bosque endémico, correspondiente al 60,7% del total de este tipo de vegetación dentro del área urbana de la ciudad de Valparaíso (tabla N° 6) con gran presencia de flora y fauna nativa (figura N° 7) cuya característica identitaria es que albergar en la parte baja algunas especies de flora autóctona como espinos, Tabaco del Diablo, Chilcas y Palma chilena o jubaea chilensis (Navarro 2018), y que en la actualidad se encuentra en estado crítico en cuanto a su preservación, debido entre otros factores, a presiones antrópicas, desencadenadas por el acelerado proceso de urbanización

experimentado durante las últimas tres décadas especialmente en los cerros Los placeres y Rodelillo (Gutiérrez 2016), donde la superficie urbana ocupada en la micro cuenca Cabritería corresponde al 21% respecto de la ciudad de Valparaíso (CIREN 2013).

Sub Uso	Superficie km^2 Micro cuenca Cabriteria	Porcentaje respecto del total comunal	Porcentaje respecto del total Área Urbana ciudad de Valparaíso
Áreas Urbanas Ocupadas	5,6	2,2	21 %
Matorral arborescente	0,8	3,8	57,3%
Nativo	0,5	1,4	60,7%
Plantaciones	0,2	0,8	26,7%
Praderas	0,1	7,0	25,1%

Tabla N°6 Sub usos vegetal. Fuente: Catastro Bosque nativo, CIREN 2013.



Figura N° 7: Fotografía vegetación microcuenca Cabritería. Fuente: Vuelo dron realizado el 17/12/2021.

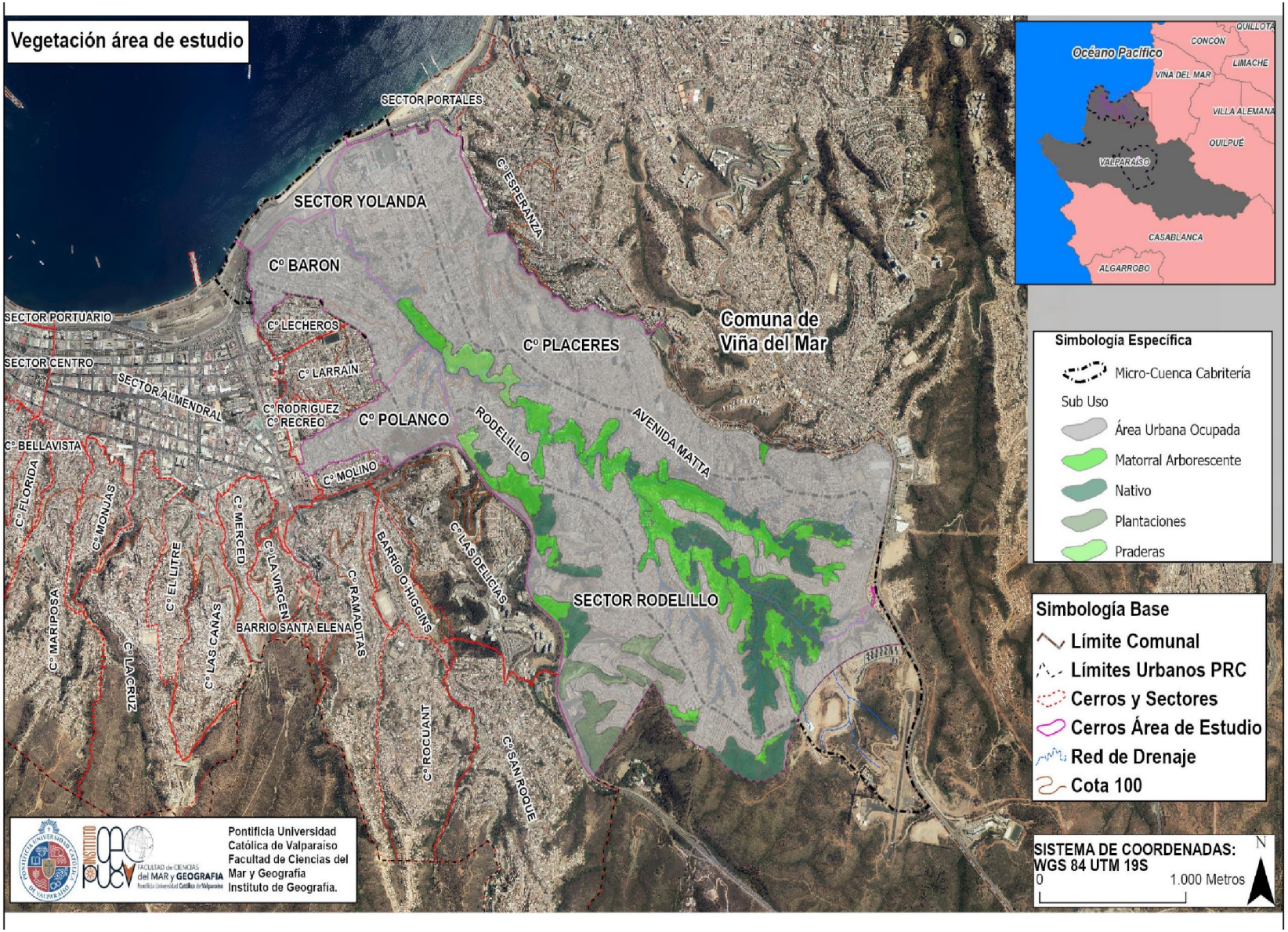


Figura N°8 Sub uso vegetal micro cuenca Cabritería. Fuente: Catastro Bosque nativo, CIREN 2013.

3.3 Antecedentes Demográficos.

La población total del país de acuerdo a datos del censo de población y viviendas 2017 es de 17.574.003 personas. La región de Valparaíso representa el 10.3 % del total nacional con 1.815.902 habitantes. Mientras que la comuna de Valparaíso ostenta una población total de 296.655 habitantes (ver tabla N°7), con una densidad de 935,33 Hab/ km^2. Respecto a la dependencia demográfica se establecen dos grupos con los siguientes valores; de 0 a 14 años representando al 25,9% y personas mayores a 65 años con un 19,5 %.

La comuna presenta tres áreas pobladas continentales y una zona insular que considera la isla San Félix y San Ambrosio (Islas desventuradas) correspondiente al distrito N° 24 del censo 2017, que están bajo administración comunal.

Sector	Total Personas
Islas Desventuradas	27
Laguna Verde	3.913
Placilla de Peñuelas	39.431
Valparaíso	253.284
Total	296.655

Tabla N°7 Antecedentes demográficos. Fuente: Elaboración propia con datos Censo INE 2017.

La cantidad de viviendas en la micro cuenca Cabritería es de 14.550 con una cantidad de 36.309 personas (INE 2017), equivalente al 12,2% del total comunal, habitando principalmente el cerro Placeres (tabla N° 8), mientras que la parte baja de la micro cuenca es la que concentra menos habitantes (Sector Yolanda). Respecto de la infraestructura consolidada de la orto fotointerpretación

del vuelo SAF 2019 se detectaron 7577 polígonos relacionados a techos con su respectiva altura.

Cerros	Personas	Viviendas
Barón	4.818	2.132
Placeres	23.525	9.788
Polanco	1.332	442
Sector Rodelillo	6.553	2.148
Sector Yolanda	81	40
Total	36.309	14.550

Tabla N°8 Habitantes y viviendas área der estudio. Fuente: Elaboración propia en base a datos Censo INE 2017.

3.3.1 Caracterización de la población.

La micro cuenca Cabritería tiene una población de 36.309 habitantes y una superficie de 4,7 km^2 con una densidad de 7.676,4 Hab/ km^2. En el sector alto de la micro cuenca existen radicados nueve asentamientos humanos precarios con 152 familias y un total de 672 personas habitando las laderas de los cerros Placeres y Rodelillo (Departamento de desarrollo comunal, Municipalidad de Valparaíso 2021). Los equipamiento de servicios existente en el área de estudio es de 134 organizaciones comunitarias, 10 establecimientos educacionales, se localiza el consultorio Barón y el centro de salud familiar (CESFAM) Padre Damián de Molokai. En equipamiento de seguridad encontramos la Tercera Comisaria Norte de Valparaíso y el Retén Cabo1°Juan Carlos Silva Toro, la décimo cuarta y décimo quinta compañías de bomberos de Valparaíso (Figura N°9).

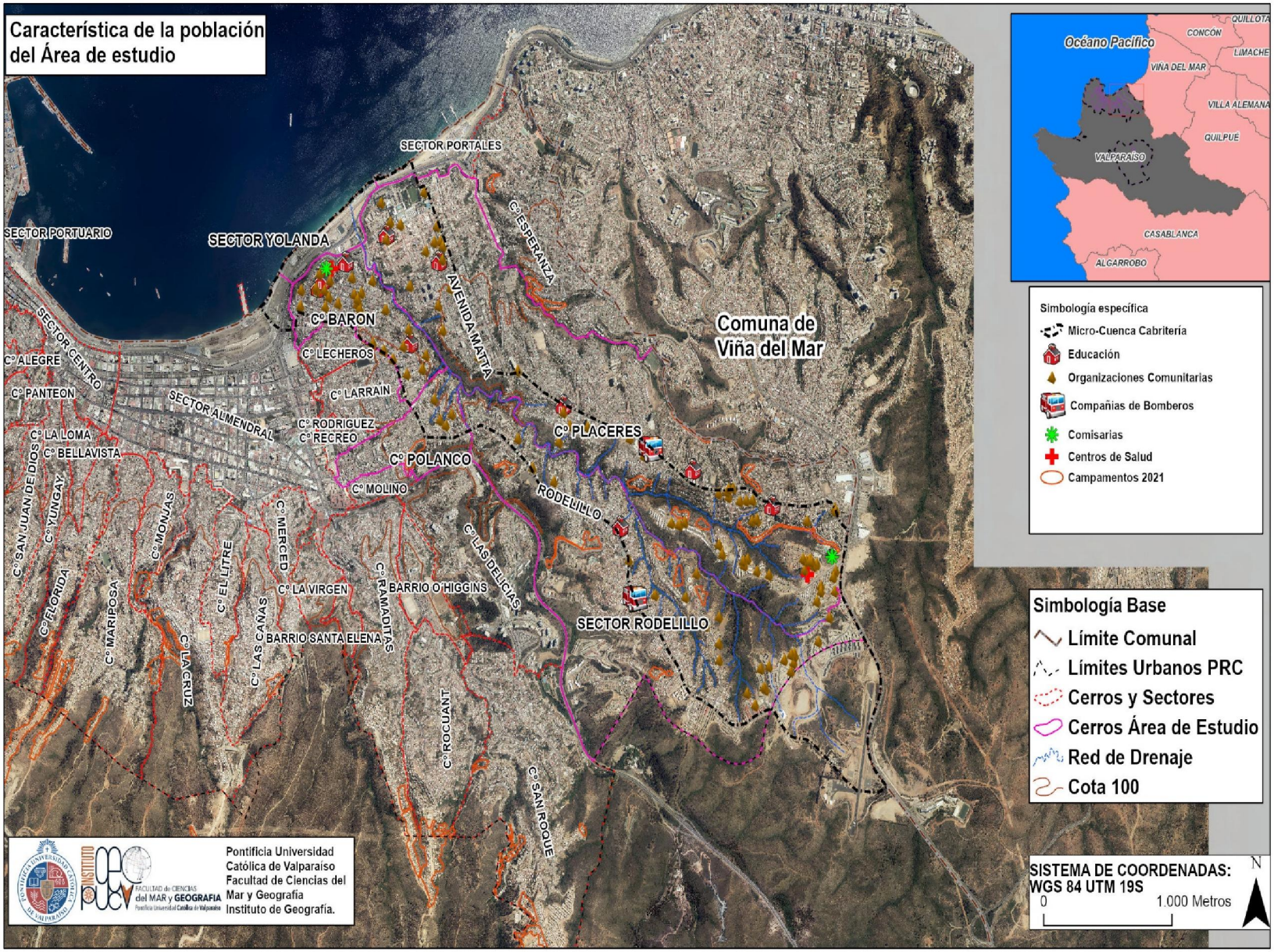


Figura N° 8 Características de la población del área de estudio. Elaboración propia 2022.

3.4 Antecedentes históricos de remociones en masa.

Los registros o antecedentes históricos de remociones que han afectado a la comuna de Valparaíso corresponden a 97 eventos (ONEMI 2017), con un 68% de deslizamientos destaca el Cerro Ramaditas que ha registrado 31 acontecimientos de remociones en masas a lo largo de los años, principalmente debido a reblandecimiento del terreno producto de las lluvias. En la micro cuenca Cabritería solo se registran dos eventos, el primero por tipo caída y el segundo por deslizamiento con el factor común desencadénate de precipitación, las remociones tienen registro de fecha del evento entre el 11 y 27 de Agosto del año 2002 (ONEMI 2017), identificadas en ladera nor poniente del Cerro Barón (Figura N°10).

Cerros o Sector	Deslizamientos	Caídas	Derrumbe	Desprendimientos	Flujo	N° Eventos
Cº Alegre	3	0	0	2	0	5
Cº Barón	1	1	0	0	0	2
Cº Bellavista	0	0	1	0	0	1
Cº Cárcel	1	0	0	1	0	2
Cº Cordillera	3	0	0	0	0	3
Cº El Litre	1	0	0	0	0	1
Cº La Cruz	6	1	0	1	1	9
Cº La Loma	2	0	0	0	0	2
Cº La Virgen	6	0	0	0	0	6
Cº Larraín	2	0	0	0	0	2
Cº Las Cañas	4	2	0	0	1	7

Cº Las Delicias	1	0	0	0	0	1
Cº Mariposa	3	0	0	0	1	4
Cº Merced	3	0	0	0	0	3
Cº Molino	0	0	0	0	1	1
Cº Monjas	1	0	0	0	0	1
Cº Playa Ancha	1	0	0	0	0	1
Cº Ramaditas	17	5	0	0	9	31
Cº Rocuant	5	0	0	0	1	6
Cº San Juan de Dios	2	0	0	0	0	2
Cº San Roque	2	0	0	0	1	3
Cº Toro	0	0	0	0	1	1
Sector Almendral	2	0	0	1	0	3
Sector Laguna Verde	1	0	0	0	0	1
Total	67	9	1	5	16	98

Tabla N°9 Información general de eventos históricos de remociones en masa. Fuente: Elaborado en base a “Plan específico de emergencia por variable de riesgo Remoción en Masa, ONEMI 2017”.

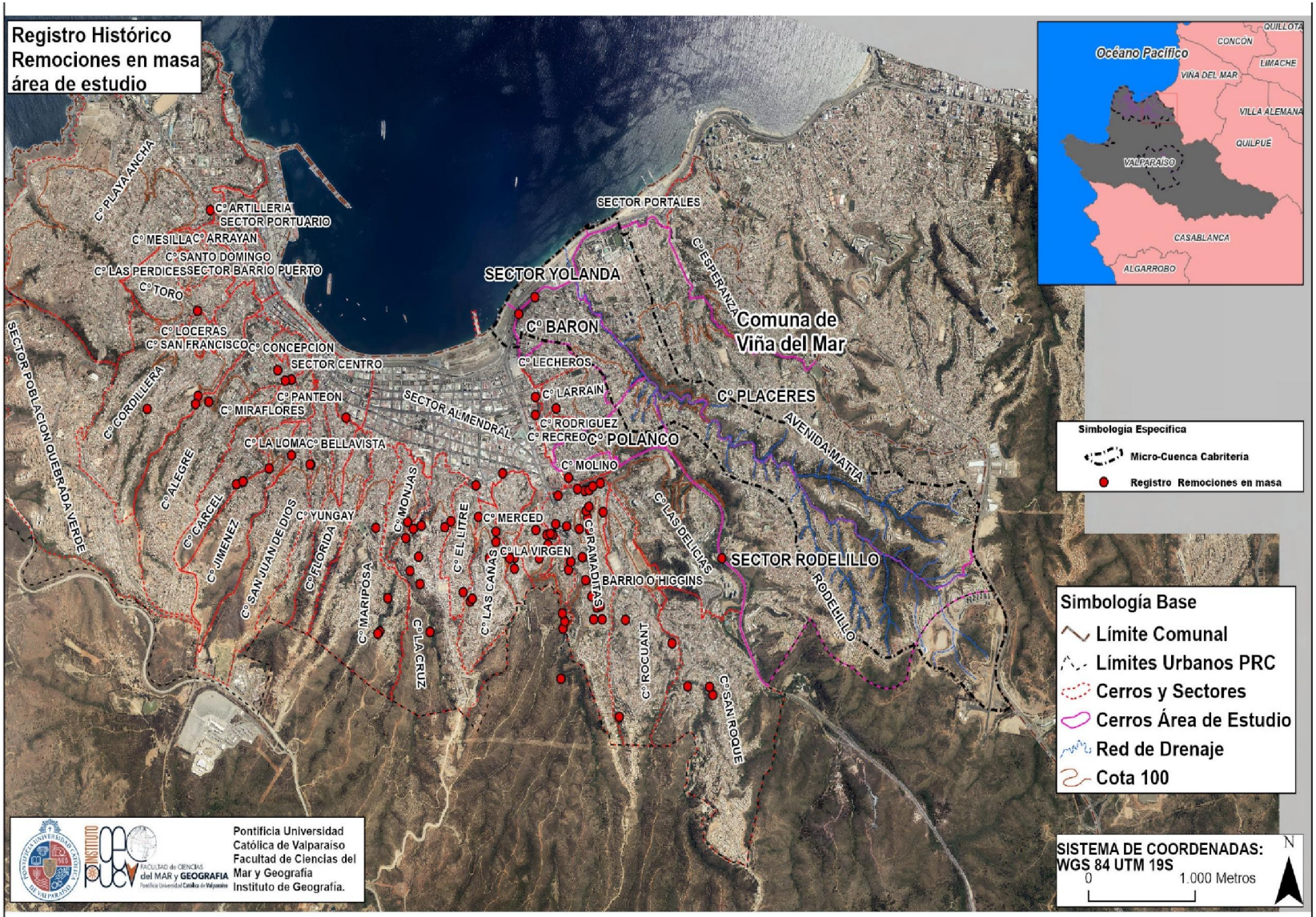


Figura N°10 Registro histórico de remociones en masa. Fuente: Elaborado en base a “Plan específico de emergencia por variable de riesgo Remoción en Masa, ONEMI 2017”.

4 METODOLOGÍA

La metodología considera los diversos factores y características que componen la **amenaza, vulnerabilidad y riesgo**, ofreciendo un diagnóstico territorial que puede transformarse en una herramienta para identificar y determinar áreas de riesgo por remociones en masas, aportando al estudio fundado de riesgo del plan regulador comunal (PRC) y principalmente al estudio de factibilidad de recuperación Quebrada Cabritería, enmarcado dentro de uno de los **ejes estratégicos del PLADECO 2019-2030** de la comuna de Valparaíso.

Para desarrollar la investigación se utilizará sistemas de información geográfica (SIG), ya que se pueden definir como una tecnología integradora que une varias disciplinas con el objetivo común del análisis de datos y simulación de escenarios urbanos, ya que permite resolver problemas espaciales determinados, estableciéndose soluciones a través del SIG (Gómez y Barredo 2006).

Los estudios relacionados con fenomenologías naturales, especialmente aquellos que se desarrollan en áreas urbanas y que repercuten en la calidad de vida de los seres humanos, como es el caso de estudios de eventos de remociones en masas, buscan alternativas metodológicas que permitan disminuir o solucionar tales desajustes, cuyos resultados en la mayoría de los casos se traducen en mapas de zonificaciones de procesos naturales (Barrantes y Quezada 2017), los que logran ser óptimas herramientas para la planificación territorial local.

El tipo de investigación expresa la oportunidad de llevar a cabo una indagación más completa respecto de un contexto particular, identificar variables promisorias, establecer prioridades para futuras investigaciones, lo que nos familiarizará con un fenómeno físico, las remociones en masa que se transforma en factor de riesgo cuando amenaza a la población, que su contexto normativo lo regula la Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones (OGUC), estableciendo en su artículo 2.1.17, que los Planes Reguladores, podrán definir

áreas restringidas al desarrollo urbano, por constituir un peligro potencial para los asentamientos humanos.

Desde la geografía los estudios se aproximan más al urbanismo y la configuración de las ciudades. La visión holística de la geografía permite establecer relaciones entre el desarrollo urbano y la utilización del espacio de uso público en la configuración espacial, las características socio económicas de la población y la estratificación social de esta misma.

4.1 Variables utilizadas en la determinación de la amenaza

Las variables utilizadas y relacionadas entre sí, permitirán evaluar la **amenaza** y su relación con el **índice de vulnerabilidad social** permitirá conocer el nivel de **riesgo de la población**. Una adecuada selección de variables permitirá un análisis equilibrado de los antecedentes, otorgando un grado de representatividad a cada uno de los modelos propuestos (EMC y modelo morfométrico).

Para entender los ámbitos de acción de los modelos aplicados es esencial considerar las siguientes variables utilizadas para la evaluación de la amenaza:

4.1.1 Modelo de Evaluación Multicriterio.

Permite definir alternativas jerarquizando las problemáticas y obtener un análisis equilibrado del problema investigado, combinando las distintas variables y dimensiones ofreciendo resultados basados siempre en el punto de vista que asuma el planificador (Gómez y Barredo 2006).

4.1.1.2 Pendiente.

La **pendiente** es considerada debido a que los procesos de remoción en masa están condicionados por la gravedad, ya que el ángulo de inclinación condicionara el descenso de materiales, y con ello las modificaciones a la forma

del paisaje y es considerada la variable de mayor ponderación en el modelo de cálculo de evaluación multicriterio, debido a que los procesos de remociones en masas están condicionados por factores como la gravedad y la existencia de un desnivel topográfico (Hauser, 1993). El ángulo de inclinación, condicionará el descenso de materiales y con ello la exposición a la amenaza, siendo la pendiente el primer factor geomorfométrico a considerar, también es uno de los factores inherentes más importantes para muchos autores, mientras el ángulo de la pendiente aumenta también incrementa la tensión en el suelo o el material no consolidado (Yamin 2013). Para la valoración de la variable pendiente se utilizará lo establecido en los instrumentos de planificación territorial para definir áreas de riesgo o de no edificación explicado en la tabla N° 10.

Valor	Rango de pendiente	Instrumento de planificación territorial
1	0-30%	Plan Regulador Comunal de Valparaíso.
2	31-40%	Plan Regulador Comunal de Valparaíso.
3	>40%	Plan Regulador Metropolitano de Valparaíso.

Tabla N° 10 Valoración de variable pendiente. Elaboración propia basada en instrumentos de planificación territorial vigentes

Señalar que de acuerdo al registro histórico de ONEMI (2017) en la ciudad de Valparaíso las remociones según los grados de pendientes corresponden a lo expresado en la tabla N° 11, la pendiente >40% registra 40 eventos y 28 de ellos fueron producto de deslizamientos de terreno (ONEMI 2017).

Rango de pendiente	Número de eventos
0-30%	38
31-40%	20
>40%	40

Tabla N° 11 Cantidad de remociones según grado de pendiente. Fuente: “Plan específico de emergencia por variable de riesgo Remoción en Masa, ONEMI 2017”.

4.1.1.3 Orientación de laderas.

Variable considerada para el modelo de evaluación multicriterio, debido a que la orientación de las ladera y la incidencia del sol sobre la superficie y junto con ello la actuación directa de agentes de meteorización permitirá que en las laderas que presentan exposición Norte (solana) sean más susceptibles al no permitir el crecimiento denso de vegetación debido a la mayor insolación y por ende, mayor vulnerabilidad a los agente erosivos y de meteorización de los materiales (SERNAGEOMIN, 2004). Enfatizar que la información general de eventos históricos de remociones en masa de ONEMI (2017), para la ciudad de Valparaíso se registra un total de 55,9% de eventos de remociones en laderas de exposición **norte, noreste y noroeste**, mientras que el restante 54,1% de los eventos registrados han ocurrido en laderas de orientación **Este-Sur-Oeste-Sureste y Suroeste** (detalle tabla N° 3). El SIG al entregar el resultado lo hace en relación al azimut que es la expresión en grados de los puntos cardinales, en relación a esto se les asignara un valor a cada orientación de laderas, lo que se detalla en la tabla N°12.

Valor	Orientación de laderas
1	Este-Sur-Oeste-Sureste-Suroeste
2	Noreste-Noroeste
3	Norte

Tabla N° 12 Valorización de variable Orientación de laderas. Elaboración propia.

4.1.1.4 Litología.

La litología es una variable relacionada con la geología y el estudio entrego que hay un predominio de rocas intrusivas, pertenecientes a la unidad Jurásico Medio-Superior (Jsg) que alcanza una superficie de 4 km^2 lo que implica el 85% de la superficie de la micro cuenca Cabritería, por el contrario, los Depósitos litorales y eólicos actuales (Qe) abarcan una menor superficie con un 2,2% del total del área. La variable será utilizada en el modelo de cálculo evaluación multicriterio, a causa de que existen ciertas condiciones del terreno que inducen susceptibilidad a eventos de remociones en masa, por ejemplo: los suelos arcillosos y saturados de agua; los suelos sueltos con estructura particular y baja resistencia al corte; fracturamiento intenso en roca; rocas sedimentarias alternadas con estratos paralelos a la pendiente de la ladera; rocas metamórficas de estructura muy esquistosa; rocas metamórficas muy alteradas; existencia de fallas o fracturas interceptando la ladera, entre otras (ONEMI 2017). Para efecto de la investigación su valoración es la que muestra la tabla N° 13.

Valor	Unidad Litológica
1	Carbonífero-Pérmico (CPg)
2	Jurásico Medio-Superior (Jsg)
3	Depósitos litorales y eólicos actuales (Qe)

Tabla N° 13: Valorización de la variable litología. Elaboración propia.

Las cantidades de remociones ocurridas de acuerdo al registro histórico de ONEMI (2017) en la ciudad de Valparaíso corresponden a las expuestas en la tabla N° 14.

Unidad Litológica	Número de eventos
Jurásico Medio-Superior (Jsg)	93
Depósitos litorales y eólicos actuales (Qe)	5

Tabla N° 14 Cantidad de remociones según litología. Fuente: “Plan específico de emergencia por variable de riesgo Remoción en Masa, ONEMI 2017”.

4.1.1.5 Cobertura vegetal.

Variable utilizada en método de cálculo evaluación multicriterio, en razón de la distribución espacial de la vegetación puede ser un factor mitigador para la ocurrencia de remociones en masa, su eliminación puede propiciar condiciones para la generación de estos eventos, siendo los suelos desnudos los más propensos a desarrollar procesos de remociones en masa debido a la exposición superficial del terreno (ONEMI 2017). Para la valorización de la variable cobertura vegetal se utilizará imagen Land Cover Chile (2014) del catastro de vegetación para el área de Valparaíso, valorizando de acuerdo a la cobertura espacial de la vegetación sobre la micro cuenca Cabritería (tabla N° 15).

Valor	Cobertura vegetal
1	Cultivos
2	Matorrales y Pastizales
3	Bosques y Suelos desprovistos de vegetación

Tabla N° 15 Valorización de variable cobertura vegetal. Elaboración propia en base a imagen Land Cover Chile (2014).

Las cantidades de remociones ocurridas de acuerdo al registro histórico de ONEMI (2017) en la ciudad de Valparaíso corresponden a las expuestas en la tabla N° 16.

Cobertura vegetal	Número de eventos
Cultivos	1
Matorrales	28
Pastizales	10
Bosques	2
Suelos desprovistos de vegetación	57

Tabla N° 16 Cantidad de remociones según cobertura vegetal. Fuente: “Plan específico de emergencia por variable de riesgo Remoción en Masa, ONEMI 2017”.

4.1.2 Modelo de evaluación Morfométrico.

Permite definir alternativas de acuerdo al análisis cuantitativo de la superficie terrestre, sus características geométricas y topológicas propias de la forma del relieve del área de estudio, ofreciendo resultados basados en la aplicación de algoritmos de interpolación de datos (Barrantes y Quesada 2017). Utiliza cuatro variables morfométricas que son calculadas y estandarizadas por medio de un algoritmo simple a través del SIG con Arcgis 10.6 para hacerlos comparables entre sí.

La utilización del modelo Morfométrico surge de la necesidad de **comparar sus resultados con el modelo de evaluación multicriterio (EMC)**, debido a que el modelo EMC utiliza variables físicas como por ejemplo la litología, que es una variable relacionada con la geología del área de análisis, que para el caso de este estudio utiliza información a escala 1:1.000.000 (SERNAGEOMIN 2003) por consiguiente puede homogenizar los resultados y no tener precisión a la hora de definir el riesgo de remociones en masa en el área de análisis, también a que la EMC ofrece resultados basados siempre en el punto de vista que asuma el planificador (Gómez y Barredo 2006) a diferencia del modelo Morfométrico que ofrece resultados provenientes del análisis cuantitativo de la superficie terrestre a través de la aplicación de algoritmos de interpolación de datos que para el presente estudio se trabajan a una escala de 1:5.000, otorgando mayor precisión de manera que ofrece mayor fidelidad en el análisis del riesgo para la microcuenca Cabritería.

El modelo Morfométrico tiene aplicaciones realizadas en zonificación de procesos de laderas en Latinoamérica, destacando México donde la geomorfométrica ha sido aplicada en las últimas décadas con una importante producción de tesis de grados y múltiples artículos científicos (Barrantes y Quesada 2017).

4.1.2.1 Densidad de la disección.

Variable que calcula la concentración de cauces fluviales en un área específica y tiene como objetivo establecer zonas de mayor o menor concentración de cursos fluviales y por ende la mayor erosión fluvial, entre las variables que condicionan el parámetro esta la pendiente y cobertura de vegetación del terreno, se determina trazando toda la red de drenaje del área de estudio, para posteriormente calcular la concentración de la red de drenaje por unidad mínima de análisis de 10.000 m^2 (Barrantes y Quesada 2016). Para su valoración se expresa la densidad del drenaje por unidad de área que permite realizar inferencias de mayor o menor erosión fluvial. Su método de cálculo se presenta en la siguiente expresión:

$$D = L/A$$

Siendo:

D= Densidad de la disección (m/km^2)

L: Longitud de los cauces y drenes (m)

A: Área de la unidad mínima de análisis (cada celda de 10.000 m^2).

La valoración de la variable densidad de la disección se realizara respecto de una estandarización de los m/km^2 de superficie en la micro cuenca Cabritería, obtenidos mediante procesamiento SIG (tabla N° 17).

Valor	Estandarización	Unidad
1	≤ 547	m/km^2
2	547,1 - 1219	m/km^2
3	> 1219	m/km^2

Tabla N° 17 Valorización variable densidad de la disección. Elaboración propia.

4.1.2.2 Profundidad de la disección.

Mide la capacidad o actividad erosiva de las quebradas en la vertical, ya que analiza las superficies donde la erosión fluvial ha sido más o menos intensa a través del tiempo y proporciona una relación indirecta de los parámetros que permiten que la disección aumente como la litología y la pendiente.

Se calcula a partir de la distancia que existe entre el talweg[2] y la ruptura de pendiente más próxima y representativa de la ladera inferior de la micro cuenca Cabritería (Barrantes y Quesada 2016). La valoración de la variable profundidad de la disección se realizara respecto de una estandarización de los metros de profundidad de la ladera respectiva en la micro cuenca Cabritería, obtenidos mediante procesamiento SIG (tabla N° 18).

Valor	Estandarización	Unidad
1	≤72	metros de profundidad de la ladera
2	72,1 - 120	metros de profundidad de la ladera
3	> 120	metros de profundidad de la ladera

Tabla N° 18 Valorización variable profundidad de la disección. Elaboración propia.

4.1.2.3 Energía del relieve.

Determina la diferencia máxima de la altura relativa en metros en un área específica y representa el potencial erosivo favorecido por el relieve y representa la riguridad del terreno (Barrantes y Quesada 2016). Se calcula al obtener la diferencia entre la mayor y menor altitud para cada unidad mínima de análisis (celda de10.000 m^2). La valoración de la variable energía del relieve se realizará

[2] Talweg: Es la línea que une los puntos de menor altura en un valle o en el cauce de un río y donde la corriente, si la hay, es más rápida.

respecto de una estandarización de las diferencias de altitud respectiva de cada celda expresada en metros mediante procesamiento SIG (tabla N° 19).

Valor	Estandarización	Unidad
1	≤ 20	Diferencia de altitud en metros
2	20,1 - 37	Diferencia de altitud en metros
3	> 37	Diferencia de altitud en metros

Tabla N° 19 Valorización variable energía del relieve. Elaboración propia.

4.1.2.4 Índice de erosión total.

Las curvas de nivel registran la huella de los distintos agentes que modelan el territorio, a mayor intensidad y permanencia de un determinado proceso erosivo, mayor densidad de curvas (Barrantes y Quesada 2016). Para esta investigación debido a que las curvas de nivel cada 5 metros a escala 1:5.000 permiten trabajar con un buen nivel de precisión se ajustara el índice de erosión total utilizando la pendiente media de cada área mínima de análisis. Su método de cálculo se presenta en la siguiente expresión:

IET= (Pm/A)*100

Siendo:

IET= Erosión total

Pm: Pendiente media (m)

A: Área de la unidad mínima de análisis (cada celda de 10.000 m^2).

La valorización del índice de erosión total se realizará mediante procesamiento SIG y su estandarización es la indicada en la tabla N°20.

Valor	Estandarización
1	≤ 12,3
2	12,4 – 13,4
3	> 13,4

Tabla N° 20 Valorización variable índice de erosión total. Elaboración propia.

4.2 Variables utilizadas en la determinación de la vulnerabilidad

Para poder evaluar el riesgo se construirá un índice que actué como criterio de evaluación de las condiciones de vulnerabilidad social a la que está sometida la población. El **Índice de vulnerabilidad social (IVS),** permitirá estimar la cantidad de población del área de estudio que tiene esta condición.

El Índice está construido con seis variables de tipos sociales y económicos, contenidas en el Registro Social de Hogares (RSH), indicadas en la tabla N°21.

N°	Variables
1	Hogares tramo 40, caracterización socioeconómica registro social de hogares
2	Hogares con situaciones de dependencia y/o adultos mayores
3	Estado de la vivienda (viviendas precarias).
4	Hogares sin servicios básicos
5	Hacinamiento medio a critico (de 2, 5 a más personas)
6	Hogares con jefatura femenina con primera infancia

Tabla N° 21 Variables para construir Índice de Vulnerabilidad Social Fuente: Registro Social de Hogares 2020.

El registro social de hogares (RSH) surge como una herramienta actualizada para la evaluación socioeconómica de los postulantes a los diversos programas del gobierno. Tal como ocurre con la inversión pública, los fondos destinados a diversas acciones sociales son limitados, por lo cual, en el contexto de proporcionar estos recursos a los hogares de mayores carencias, el RSH debe discriminar a quiénes se destinará un subsidio o beneficio específico, de tal forma de lograr una mayor equidad social.

El RSH entrega puntajes en deciles, esto es, divide la serie de puntajes en 10 tramos, donde cada tramo representa un 10% del total de la distribución, no obstante no hace distinción en los primeros 4 deciles, con lo cual entrega evaluaciones a partir del 40%, es decir, los cuatro primeros deciles no presentan distinción, esto debido a que son considerados grupos igualmente carenciados. A partir de esto, el RSH presenta puntajes socioeconómicos que son clasificados en los tramos 40, 50, 60, 70, 80, 90 y 100, siendo los 4 primeros los grupos más carentes. En la comuna de Valparaíso, el RSH en su última evaluación de inicios de 2021 indica que el 64,9% de la población entrevistada se encuentran en el percentil 40. Al considerar el alto número de registros que mantiene el RSH, esto es 237.989 personas, de las cuales 154.445 se encuentran bajo el tramo 40 (Departamento SIG, Ilustre Municipalidad de Valparaíso).

4.3 Procesamientos mediante SIG.

La investigación se desarrollará utilizando un modelo de análisis multicriterio de las variables geográfico físicas y un modelo de análisis geomorfométrico de la micro cuenca Cabritería, cuyos resultados permitirán calcular eventos de remociones en masas en las diversas condiciones morfométricas del territorio, permitiendo orientar acciones destinadas a la mitigación del riesgo, mediante la planificación territorial.

El proceso de aplicación de los modelos para definir los eventos de remoción en masa en la micro cuenca Cabritería, se desarrolló aplicando el software Arcgis 10.6 como instrumento de trabajo, ya que ofrece una vía tangible para la valoración de las variables, sus procesamientos y análisis holísticos en el desarrollo de las técnicas de la investigación (Gómez y Barredo 2006).

Para el desarrollo de la investigación se realizarán análisis cuantitativos, ya que expresa la necesidad de desarrollar un conjunto de procesos secuenciales y probatorios para desarrollar el objetivo de la investigación, midiendo o ponderando las variables con métodos estadísticos-matemático (Modelo Morfométrico) y evaluación multicriterio, los productos de estos análisis serán mapas de amenaza de remoción en masa, los cuales serán utilizados para la evaluación del riesgo al ser integrados conjuntamente y analizados con la vulnerabilidad de la población, finalizando con una serie de conclusiones de los datos medidos.

4.3.1 Modelo de Evaluación multicriterio.

El primer modelo a desarrollar busca identificar las áreas de amenaza de remoción en masa mediante la evaluación multicriterio, donde cada variable es ponderada de acuerdo al factor condicionante que actúan en los procesos y los roles que ellos cumplen, clasificando algunas de las variables de acuerdo al marco normativo respecto del riesgo consideradas en los planes de planificación territorial competentes en la comuna.

Para la construcción de la variable **pendiente** se utilizará un dem[3] de 5 metros de pixel construido con curvas de nivel cada 5 metros restituidas de vuelo SAF escala 1:5.000 año 2019 sobre la comuna de Valparaíso.

Para la elaboración del DEM lo primero que haremos será convertir las curvas de nivel en una red irregular de triángulos (TIN), que es una superficie basada en vectores utilizada para representar la morfología de la superficie, esto se realiza con la herramienta Create TIN de Arcgis 10.6 (Figura N°11),

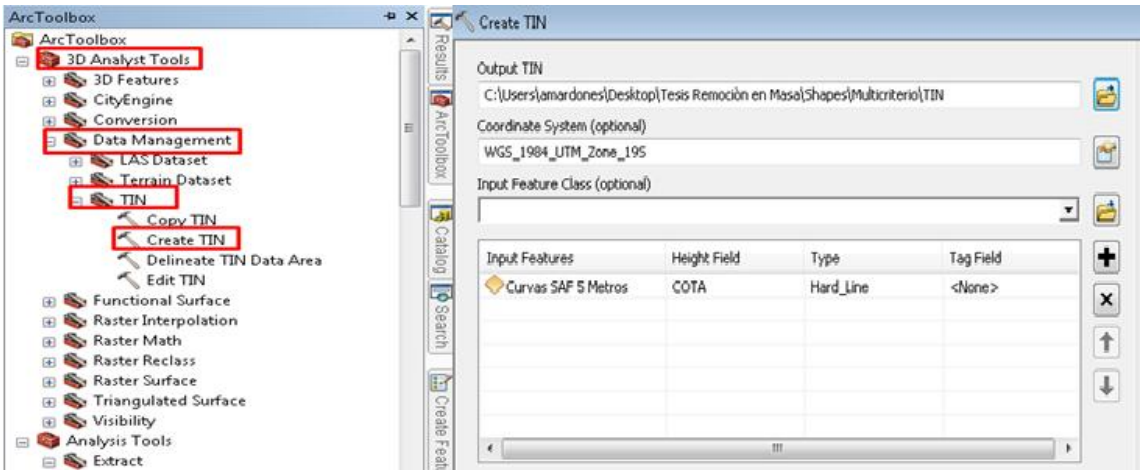


Figura N° 11 Creación del TIN con Arcgis 10.6.

Una vez generado el TIN, lo siguiente que se realiza es convertirlo a Modelo Digital de Elevaciones (DEM), con la herramienta TIN to Raster (Figura N° 12).

[3] DEM: Modelo digital de elevación es una representación visual y matemática de los valores de altura con respecto al nivel medio del mar, que permite caracterizar las formas del relieve y los elementos u objetos presentes en el mismo.

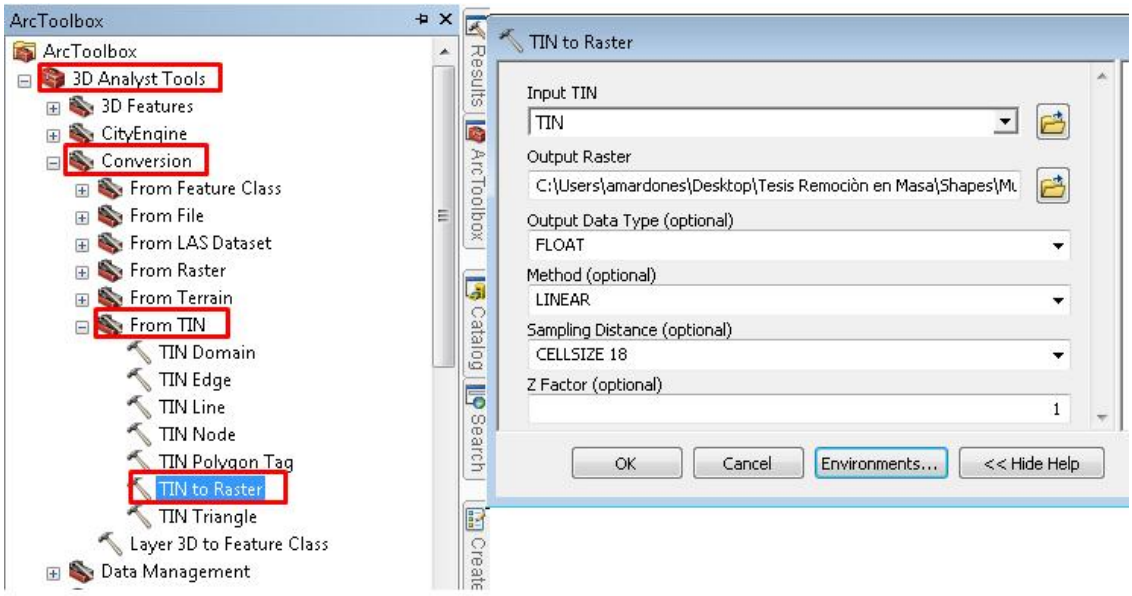


Figura N° 12 Creación del Modelo Digital de Elevación (DEM).

Realizado nuestro DEM estamos en condiciones de obtener la pendiente del área de estudio, para ello utilizaremos la herramienta SLOPE de Arcgis10.6, se trabajará en porcentaje. (Figura N° 13).

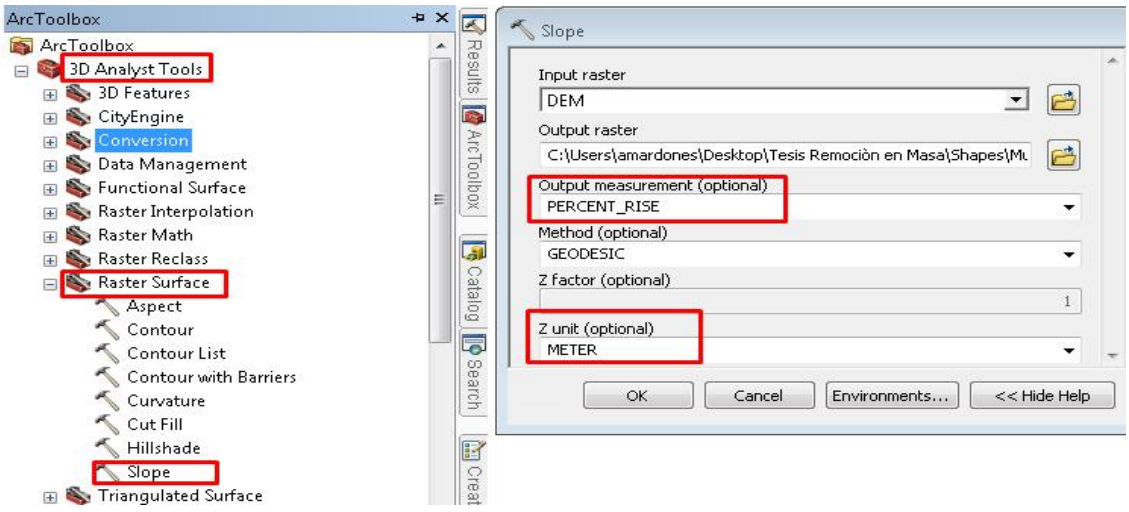


Figura N° 13 Creación de la pendiente del área de estudio.

El siguiente paso es reclasificar la pendiente en 3 valores (Figura N° 14), para jerarquizar su incidencia en el proceso de remociones en masa, los nuevos

valores están clasificados respecto a los instrumentos de planificación territorial (IPT) que consideran:

Artículo 47 PREMVAI: áreas de riesgo en terrenos en pendiente AR NP. El área de riesgo corresponde a los territorios que presentan pendientes superiores al 40%.

PRCV: ART 21; Establece restricciones para edificaciones en terrenos con pendientes mayores a 30%, en zonas urbanas.

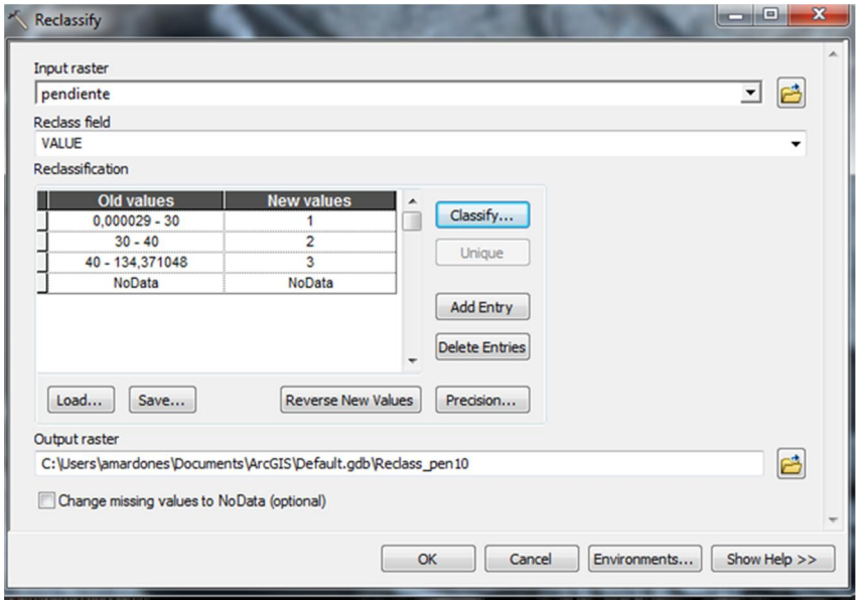


Figura N° 14 Reclasificación de la pendiente ajustando a norma urbana.

Una vez terminado los geo procesos tenemos la variable pendiente en condiciones para ser evaluada en el modelo multicriterio. Para ello se genera un nuevo campo en la tabla de atributos el cual categorizará cada rango de pendientes según la normativa respecto de los IPT (Ver tabla N° 10).

La segunda variable considerada es la **orientación que adoptan las laderas**, estas tendrán mayor o menor exposición al sol contribuyendo a las variaciones de humedad de la misma, es por esto que laderas de exposición Norte corresponden a aquellas de mayor exposición solar y por ende, mayor vulnerabilidad a los agente erosivos y de meteorización de los materiales,

posibilitando remociones en masa. Para obtener la orientación de las laderas en el área de estudio, utilizaremos el DEM construido anteriormente, con la herramienta aspect, que determina la orientación de las laderas de la micro cuenca Cabritería. (Figura N° 15).

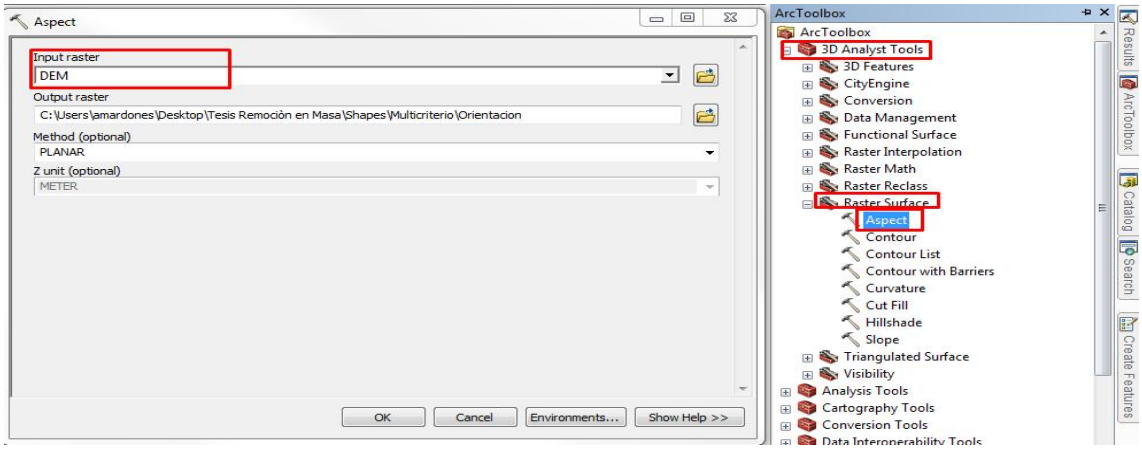


Figura N° 15 Determinación de la orientación de las laderas en el área de estudio.

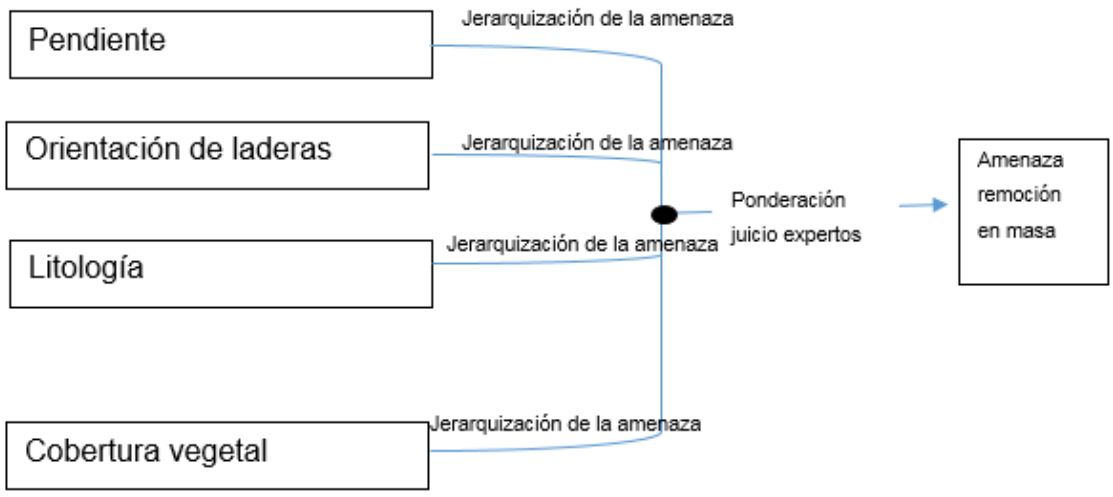
Ahora que tenemos la orientación de las laderas de la micro cuenca Cabritería el siguiente paso es reclasificar para categorizar según la incidencia de la exposición respecto de la condición atenuante en el proceso de remoción (Ver tabla N° 12).

La tercera variable utilizada en la evaluación multicriterio es la **litología** de la unidad geológica, debido a que existen ciertas condiciones (ONEMI 2017) del terreno que inducen susceptibilidad a eventos de remociones en masa, por ejemplo: los suelos arcillosos y saturados de agua; los suelos sueltos con estructura particular, etc. Para categorizar esta variable se utilizó la información en formato vectorial del mapa geológico de Chile 1:1.000.000 (SERNAGEOMIN 2003) (Ver tabla N° 13).

La cuarta y última variable a considerar en el modelo de evaluación multicriterio tiene relación con la **cobertura vegetal**, debido a que se considera un factor mitigador para la ocurrencia de remociones en masa y su eliminación

puede propiciar condiciones para la generación de estos eventos, (ONEMI 2017). Se categorizo en razón de la cobertura espacial de la vegetación sobre el área de estudio (Ver tabla N°15).

Diagrama de flujo modelo evaluación multicriterio.



4.3.2 Modelo Morfométrico

El segundo modelo para identificar áreas de amenazas de remociones en masa consiste en la aplicación del modelo morfométrico, que consiste en el análisis cuantitativo de la superficie terrestre, sus características geométricas y topológicas de las formas del relieve (Barrantes y Quesada 2016). Los pasos a seguir son:

1. Levantamiento de cauces y drenes
2. Utilización del DEM
3. Construcción de una cuadricula con la unidad mínima de análisis
4. Cálculo de cada variable
5. Interpolación de los valores de cada variable
6. Estandarización de las variables para su combinación

Para su aplicación se considera la utilización de curvas de nivel a escala 1:5.000, el modelo digital de elevación (DEM utilizado anteriormente) y la red de drenaje del área de estudio.

Para realizar el modelo morfométrico lo primero fue ajustar la red de drenaje a la topografía de Valparaíso mediante una interpolación con el DEM, ya que nos permite tener la distancia real de su longitud considerando la topografía del área de estudio. Se utilizó información vectorial de la red de drenaje grabada en PREMVAL, los cauces que no incluía el instrumento de planificación fueron digitalizados a partir de la cartografía base escala 1:5.00 incluyendo toda la red de drenaje del área de estudio. Para el análisis digital con SIG se debe utilizar la red de drenaje en formato Raster, por lo que se debe transformar el archivo vectorial de acuerdo a la longitud del cauce (SLength).

Las variables físicas a considerar en análisis morfométrico son: la densidad de la disección (D), la profundidad de la disección (P), la energía del relieve (E) y el índice de erosión total (IET). El cálculo de cada variable se realiza con la herramienta Arcgis 10.6 mediante la creación de una cuadrícula de 100x100 metros (10.000 m^2) a partir de las curvas de nivel escala 1:5.000 de vuelo SAF octubre 2019.

Para el desarrollo de las variables del modelo morfométrico se trabaja con las estadísticas de la tabla utilizando la herramienta Zonal Statstics as Table guardándolas sobre la cuadricula de 10.000M^2 (Figura N° 16), permitiendo la interpolación de los valores de cada variable con el dem.

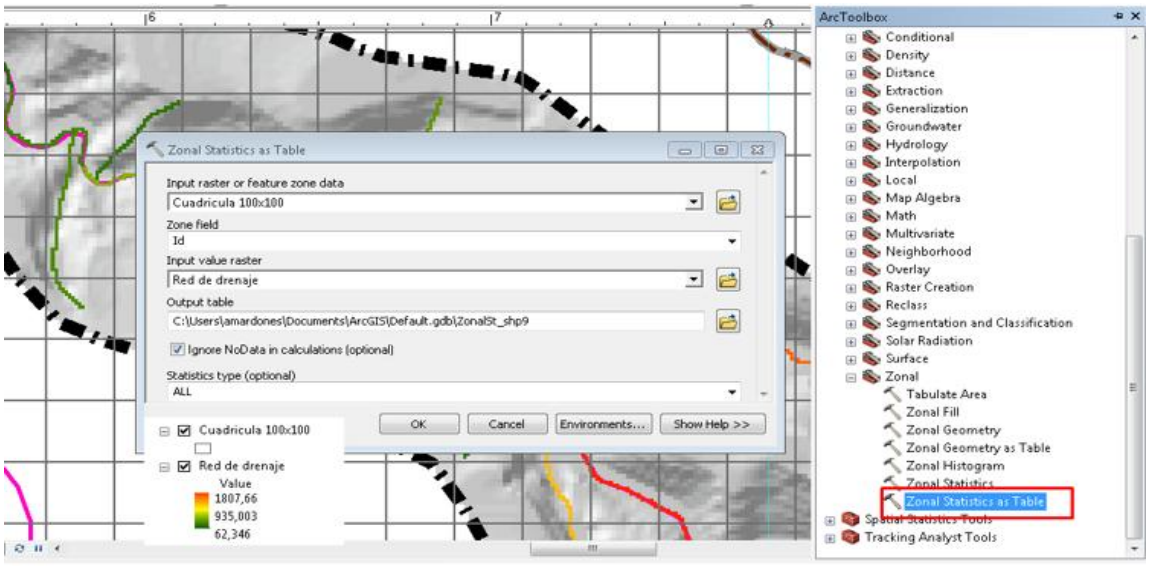
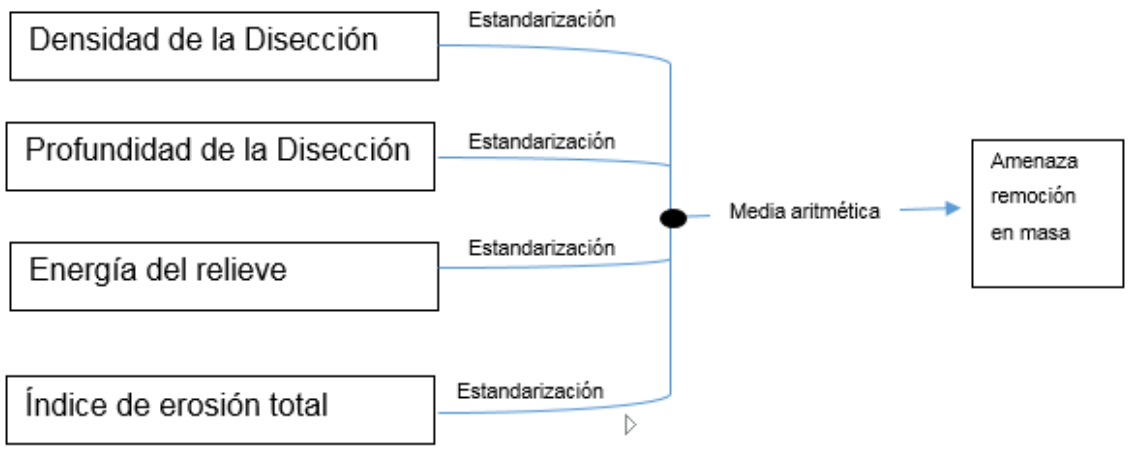


Figura N° 16 Calculo de estadísticas de la tabla para modelo morfométrico.

Diagrama de flujo modelo morfométrico.



4.3 Exposición y sensibilidad

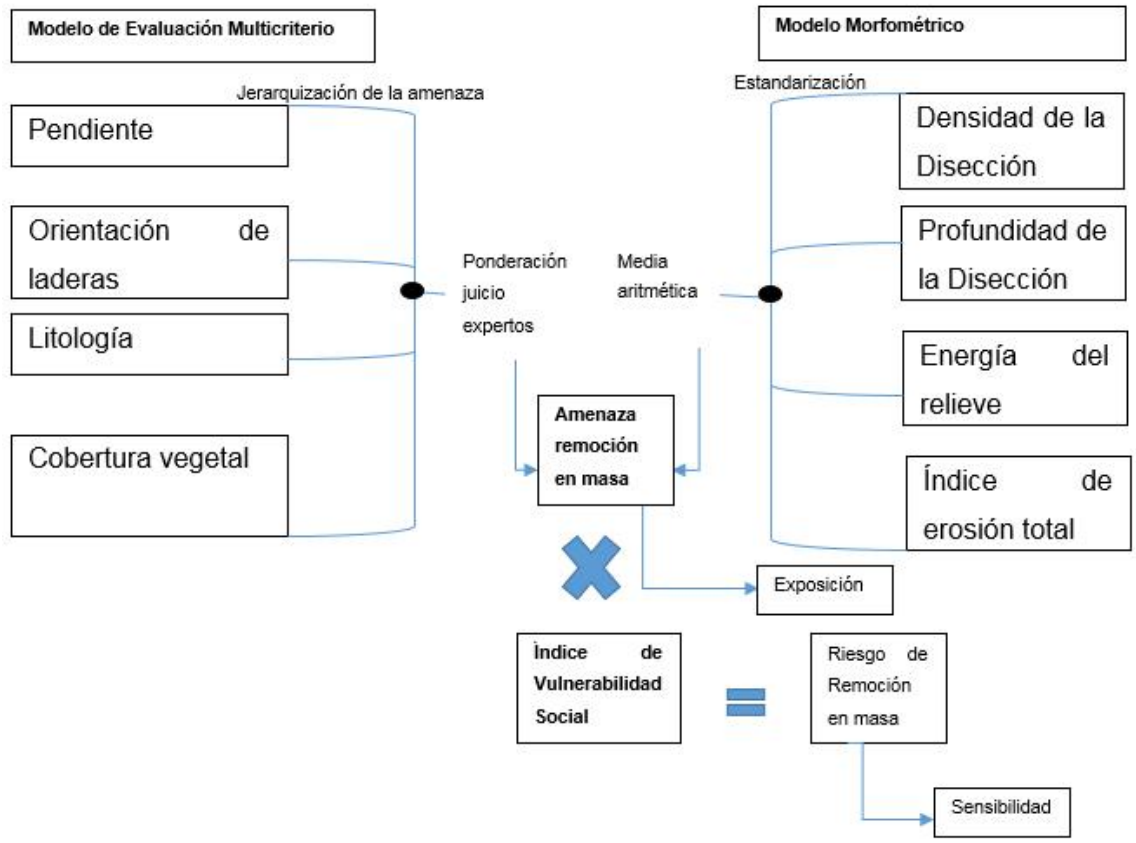
Los resultados de la aplicación de los modelos EMC y morfométrico para **la determinación del riesgo** se analizan respecto de la **exposición a la amenaza de la población, la superficie de la micro cuenca Cabritería y su infraestructura**. Se considera que mientras mayor es el número de habitantes

presente en la unidad territorial, mayor es su exposición debido al potencial efecto de la amenaza sobre la mayor cantidad de personas.

En esa misma línea, también se realiza un **análisis de sensibilidad de la población total,** para determinar cuáles son los parámetros más sensibles a variaciones en los valores de los rangos de los modelos de evaluación del riesgo de remoción conjuntamente con la **sensibilidad poblacional etaria**, proporción de personas mayores de 65 años y menores de 14 años (fuente del dato, Censo 2017), que habitan áreas de riesgo, adicionalmente se evaluara la **sensibilidad al riesgo de la población de los asentamientos humanos precarios** que habitan sobrepasando la cota 100 de la micro cuenca Cabritería.

El análisis de exposición a la amenaza y sensibilidad al riesgo de la población utilizará como unidad de análisis la manzana censal INE, puesto que permite un estudio detallado de los datos de población y vivienda del censo 2017 de la micro cuenca Cabritería, integrando en el análisis del riesgo los asentamientos humanos precarios localizados sobre la cota 100 de la micro cuenca Cabritería.

Diagrama de flujo Metodológico.



El procedimiento metodológico para evaluar el riesgo de remociones en masa en la micro cuenca Cabritería de la comuna de Valparaíso mediante la aplicación de un modelo multicriterio y un modelo morfométrico, enfrenta ambos modelos y da a conocer cada una de las variables utilizadas para determinar la amenaza y la exposición de la población a estas misma. La relación de la amenaza de ambos modelos con el índice de vulnerabilidad social permitirá evaluar el riesgo de remociones en masas y la sensibilidad de la población al riesgo en la micro cuenca Cabritería.

5 APLICACIÓN DE LOS MODELOS PARA LA DETERMINACIÓN DEL RIESGO.

La investigación a desarrollar sugiere la utilización de datos digitales para su desarrollo, siendo de gran importancia el modelo digital de elevación (DEM), componente significativo para ejecutar ambos modelos aplicados en el estudio de evaluación del riesgo de remociones en masa ya que de él se obtienen o elaboran variables significativas para ejecutar la metodología, estos componentes esenciales son la pendiente, orientación de laderas utilizados en modelo de evaluación multicriterio, mientras que para la aplicación del modelo morfométrico es esencial contar con el DEM y curvas de nivel para poder ejecutar la metodología de valores matemático-estadísticos sobre las variables físicas del área de estudio. Los resultados de ambos modelos nos entregan datos cuantitativos respecto a la amenaza de remoción en masa y para su análisis estadístico descriptivo sugiere la utilización de tablas con valores y datos de resultados, adicionando el componente espacial o salida gráfica de los modelos traducidos en cartografías de amenaza y riesgo.

Los datos cualitativos del componente antrópico permiten conocer y graficar la condición de vulnerabilidad social de los habitantes del área de estudio teniendo como área mínima de análisis las unidades vecinales de la comuna de Valparaíso, resultados que permitirán ser analizados conjuntamente con los datos de los modelos de amenaza y en su conjunto componer el nivel de riesgo al que se expone la población de la micro cuenca Cabritería.

Para el análisis de resultados se utilizarán datos a nivel de manzana censal del Instituto Nacional de Estadísticas (INE 2017), ya que esta escala corresponde a la menor unidad con mayor información disponible para poder evaluar la amenaza y riesgo de remociones en masa en el área de estudio, así también el grado de sensibilidad de la población.

5.1 Modelo de cálculo Evaluación Multicriterio como indicador de amenaza de remociones en masa.

La Evaluación Multicriterio (EMC) define un número de alternativas, permitiendo jerarquizar las problemáticas y obtener un análisis equilibrado del problema a investigar ya que logra combinar las distintas variables y dimensiones, frente a lo definido para la amenaza por remoción y la vulnerabilidad desde el punto vista integral y territorial.

El modelo EMC considera los siguientes pasos a desarrollar con el Sistema de Información Geográfica (SIG) para determinar la amenaza:

1. Asignación de valor a cada rango o nivel interno de cada factor, a fin de obtener el nivel de amenaza que cada unidad espacial representa.
2. Asignación de un porcentaje relativo a cada variable, considerando observaciones de parte de expertos/tas.
3. Como criterio general, a partir de los procesos SIG sobre cada variable, las ponderaciones altas significarán mayores niveles de amenaza.

Definición de las variables.

Pendiente

La pendiente topográfica es sin duda la principal variable que incide en la desestabilización y remoción en las laderas, ya que es un proceso gravitacional que se asocia a la inclinación de la forma y que puede adoptar variadas características, dinámicas y morfologías. Mientras que la cobertura vegetal, si bien es una variable de importancia en el proceso de remoción, su incidencia está condicionada al porcentaje relativo de esa cobertura y a la pendiente topográfica de la ladera en la que se encuentra. El nivel de amenaza se categorizará respecto de la valorización realizada anteriormente según lo establecido en los instrumentos de planificación territorial para definir áreas de riesgo o de no

edificación (explicado en la tabla N° 10) y su categorías se puede ver en tabla N° 22.

Valor	Rango Pendiente	Amenaza
1	0-30 %	Leve
2	31-40 %	Moderado
3	> 40 %	Alto

Tabla N° 22 Categoría de la amenaza por pendiente de acuerdo a los Instrumentos de Planificación Territorial vigentes (PREMVAL; PRC). Elaboración propia.

En la ciudad de Valparaíso el 38,8% de eventos de remociones han ocurrido en pendientes de 0 a 30%, mientras que en pendientes entre 31 y 40% se registra un 20,4% de remociones y en pendiente sobre 40% de inclinación se contabilizan 40 eventos de remociones según datos de ONEMI (2017) lo que equivale al 40,8% de los eventos históricos registrados (tabla N° 11).

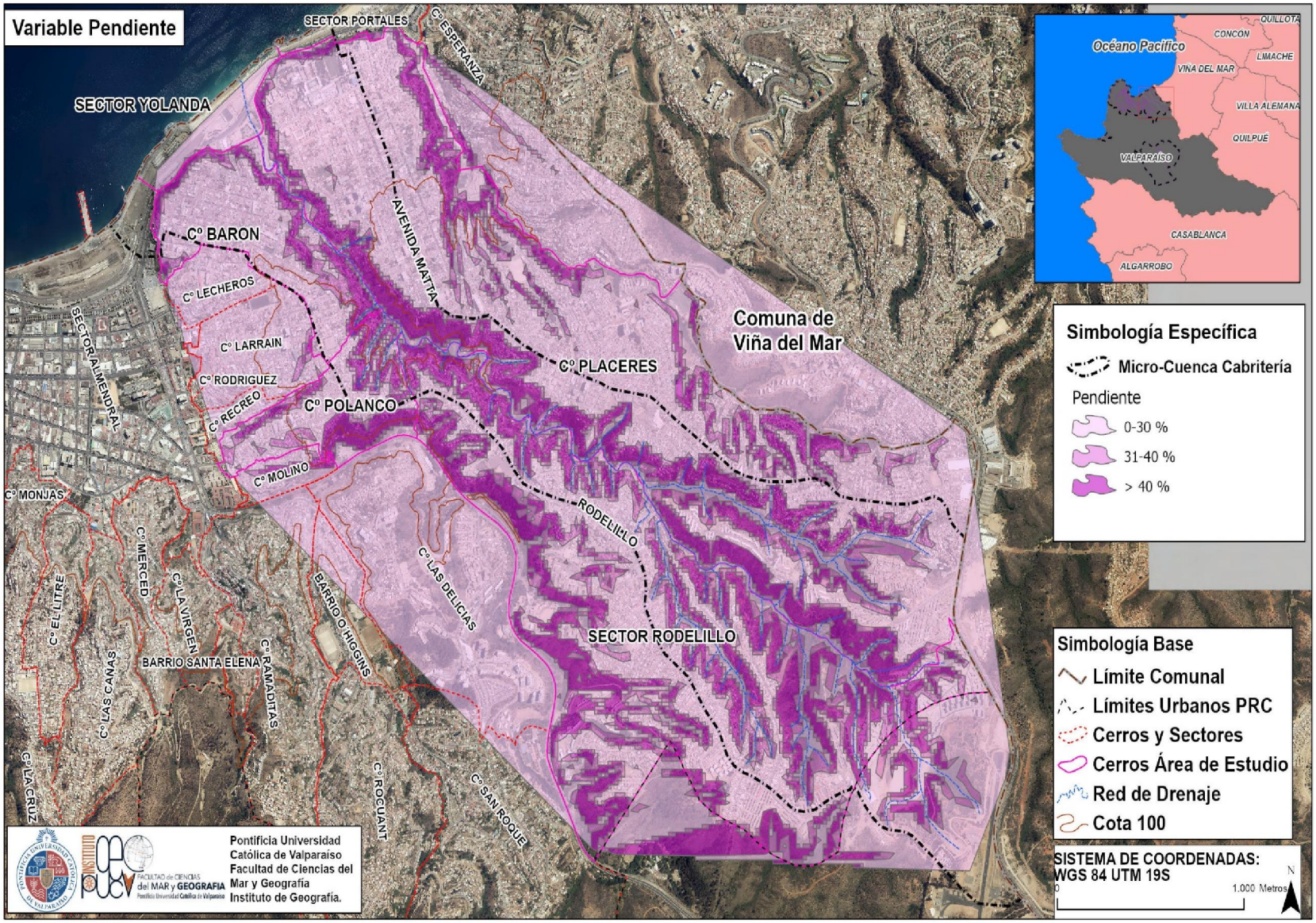


Figura N° 17 Variable Pendiente. Elaboración propia.

Orientación de laderas

Se categorizará en función de la mayor o menor exposición al sol de la superficie y junto con ello la actuación directa de los agentes de meteorización que permitirá que en las laderas que presentan exposición Norte (solana) sean más susceptibles al no permitir el crecimiento denso de vegetación debido a la mayor insolación y por ende, mayor vulnerabilidad a los agente erosivos y de meteorización de los materiales (SERNAGEOMIN, 2004). El nivel de amenaza se categorizara respecto de la valorización realizada anteriormente en tabla N° 12 y responde en relación al azimut, que es la expresión en grados de los puntos cardinales expresados en la tabla N° 23.

Valor	Orientación de Laderas	Amenaza
1	Este-Sur-Oeste-Sureste-Suroeste	Leve
2	Noreste-Noroeste	Moderado
3	Norte	Alto

Tabla N° 23 Categoría de la amenaza por orientación de laderas de acuerdo incidencia de mayor o menor exposición solar. Elaboración propia.

En la ciudad de Valparaíso el 17,3% de eventos de remociones han ocurrido en laderas de orientación norte, mientras que en laderas de orientación noreste-noroeste se registra el 28,6% de remociones y laderas de orientación oeste-este-sur-oeste-sureste y suroeste se contabilizan 53 eventos de remociones según datos de ONEMI (2017) lo que equivale al 54,1% de los eventos históricos registrados (tabla N° 3).

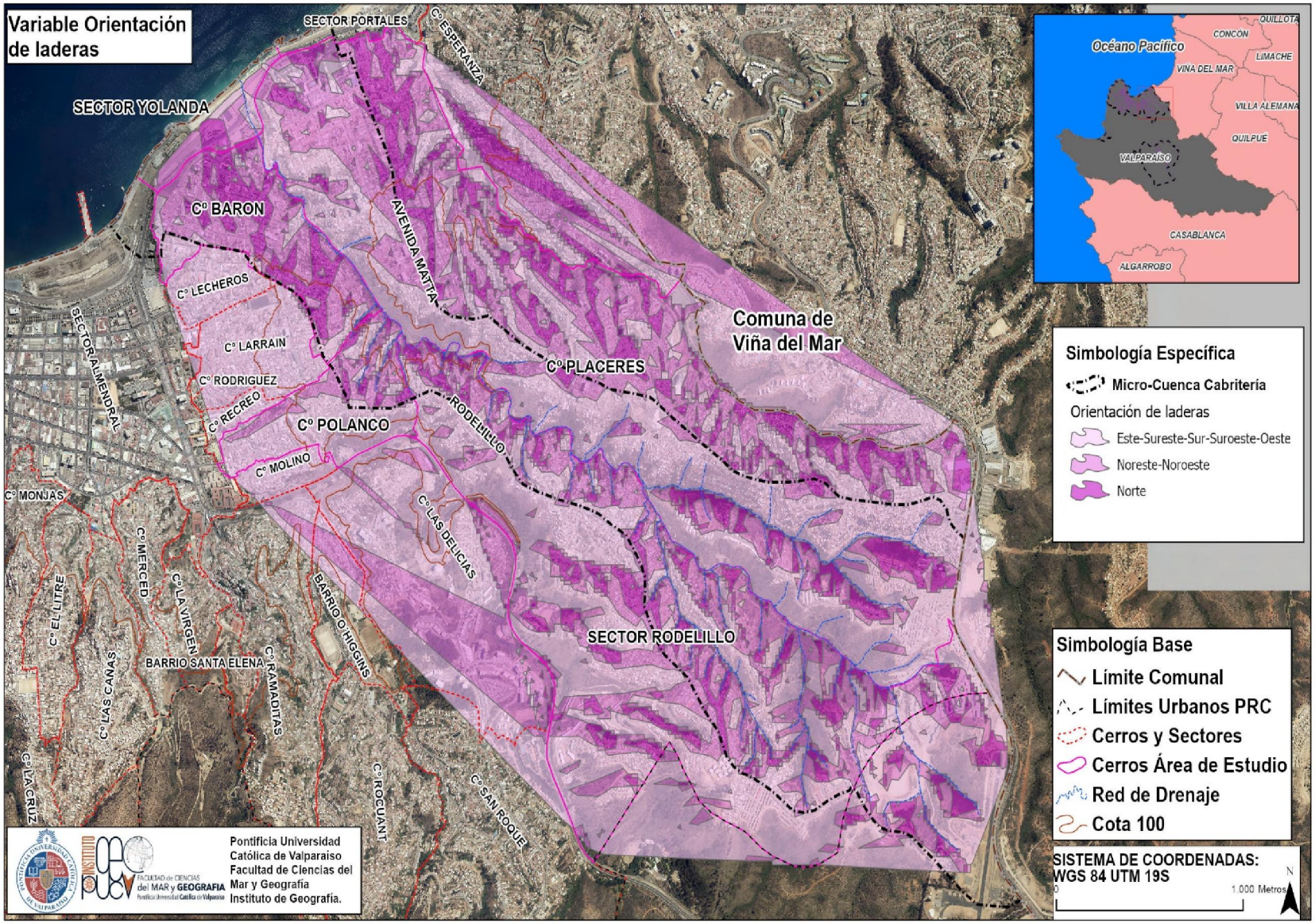


Figura N° 18 Variable Orientación de laderas. Elaboración propia.

Litología

La dinámica intrínseca de las laderas está directamente regulada por la estructura geológica, específicamente en este caso el tipo de roca y su alteración. Existen ciertas condiciones del terreno que inducen susceptibilidad a eventos de remociones en masa, por ejemplo: los suelos arcillosos y saturados de agua; los suelos sueltos con estructura particular y baja resistencia al corte; fracturamiento intenso en roca; rocas sedimentarias alternadas con estratos paralelos a la pendiente de la ladera; rocas metamórficas de estructura muy esquistosa; rocas metamórficas muy alteradas; existencia de fallas o fracturas interceptando la ladera, entre otras (ONEMI 2017). El nivel de amenaza se categorizara respecto de la valorización realizada anteriormente en tabla N° 13 y responde en términos de como el tipo de minerales y textura, influencian el comportamiento físico o químico de rocas y suelos, es así como depósitos caracterizados por baja compactación presentan permeabilidades relativamente altas que facilitan la incorporación de agua al subsuelo, generando inestabilidad en la ladera (Estay 2015).

La cantidad de agua subterránea que puede almacenarse depende de la **porosidad**[4] del material, el **sedimento** es a menudo bastante poroso y los espacios abiertos pueden ocupar entre el 10 y el 50 por ciento del volumen total del sedimento. La mayoría de las rocas **intrusivas y metamórficas**, así como algunas rocas sedimentarias, están compuestas por cristales muy unidos, de manera que los huecos entre los granos pueden ser despreciables (Tarbuck et al 2005), por lo que pueden ser menos permeables.

[4] Porcentaje del volumen total de roca o de sedimento formado por poros.

Valor	Litología	Tipo de roca	Amenaza
1	Carbonífero-Pérmico (CPg)	**Roca intrusiva.** Se constituye de granitos, granodioritas, tonalitas y dioritas, de hornblenda y biotita, localmente de muscovita Batolitos compuestos, 'stocks' y cuerpos hipabisales	Leve
2	Jurásico Medio-Superior (Jsg)	**Roca Intrusiva.** Se constituye de monzodioritas cuarcíferas, dioritas y granodioritas de biotita, piroxeno y hornblenda	Moderado
3	Depósitos litorales y eólicos actuales (Qe)	**Roca sedimentaria.** Se constituye de sedimentos de playa no consolidados, conformados por arenas y gravas de bolones bien redondeados, estratificación planar y cruzada	Alto

Tabla N° 24 Categoría de la amenaza por Litología de acuerdo a permeabilidad de la roca. Elaboración propia.

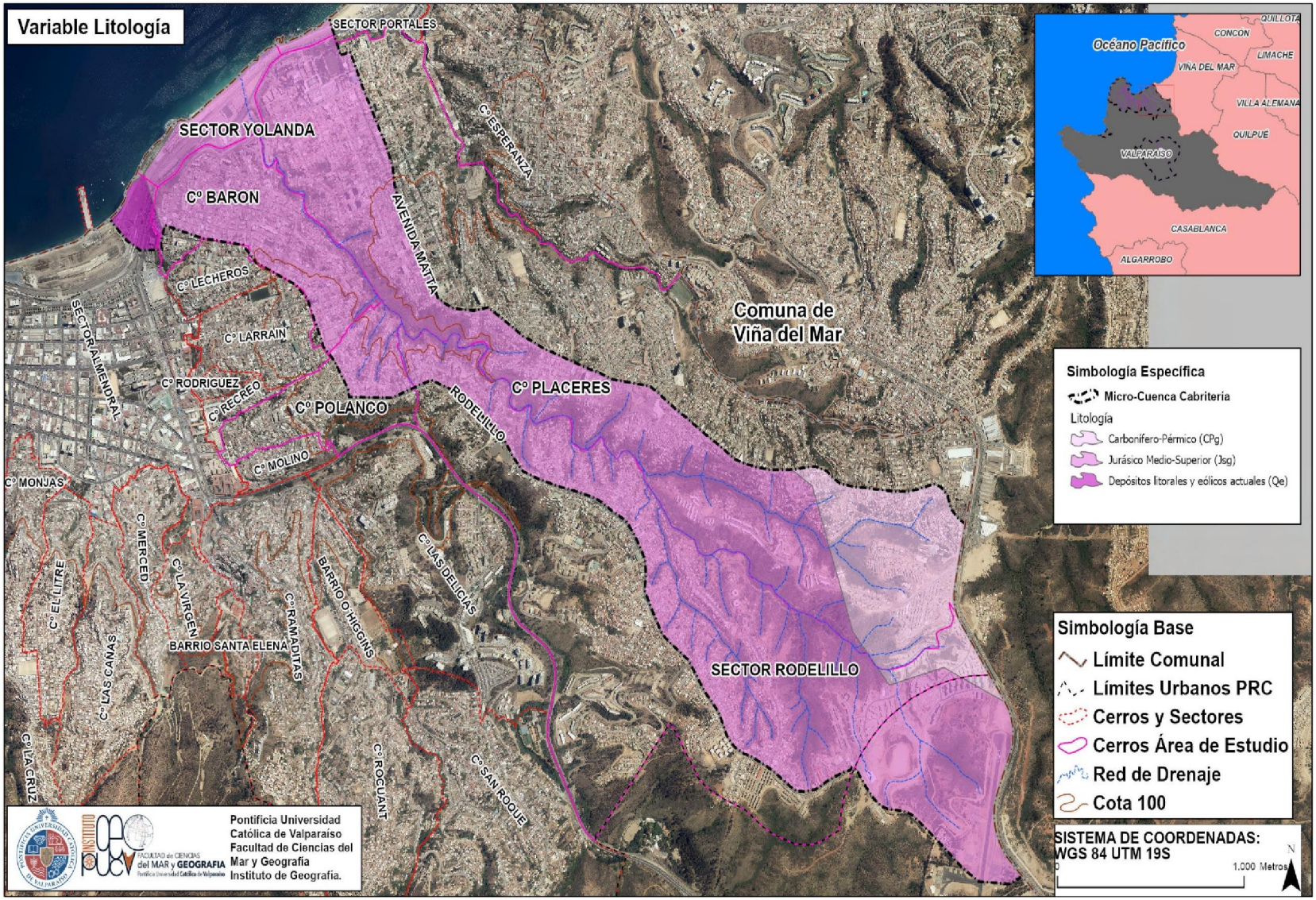


Figura N° 19 Variable Litología. Fuente: Archivo digital (shape) SERNAGEOMIN 2003.

Cobertura vegetal

Variable utilizada en razón que puede ser un factor mitigador para la ocurrencia de remociones en masas, considerando que los suelos desprovistos de vegetación son los más propensos a estos eventos, debido a la exposición superficial del terreno (ONEMI 2017). El nivel de amenaza se categorizará respecto de la valorización realizada anteriormente en tabla N° 15 y responde en relación la distribución espacial de la cobertura vegetal en la micro cuenca Cabritería (tabla N° 25).

Valor	Cobertura vegetal	Amenaza
1	Cultivos	Leve
2	Matorrales y Pastizales	Moderado
3	Bosques y Suelos desprovistos de vegetación	Alto

Tabla N° 25 Categoría de la amenaza por cobertura vegetal de acuerdo a distribución espacial.

En la ciudad de Valparaíso el 60,2% de eventos de remociones han ocurrido en suelos desprovistos de vegetación y bosques, mientras que en áreas de matorrales y pastizales se registra el 38,8% de remociones, en áreas de cultivos se contabiliza un evento solamente de remociones en masa (tabla N° 16), de los registros históricos (ONEMI 2017).

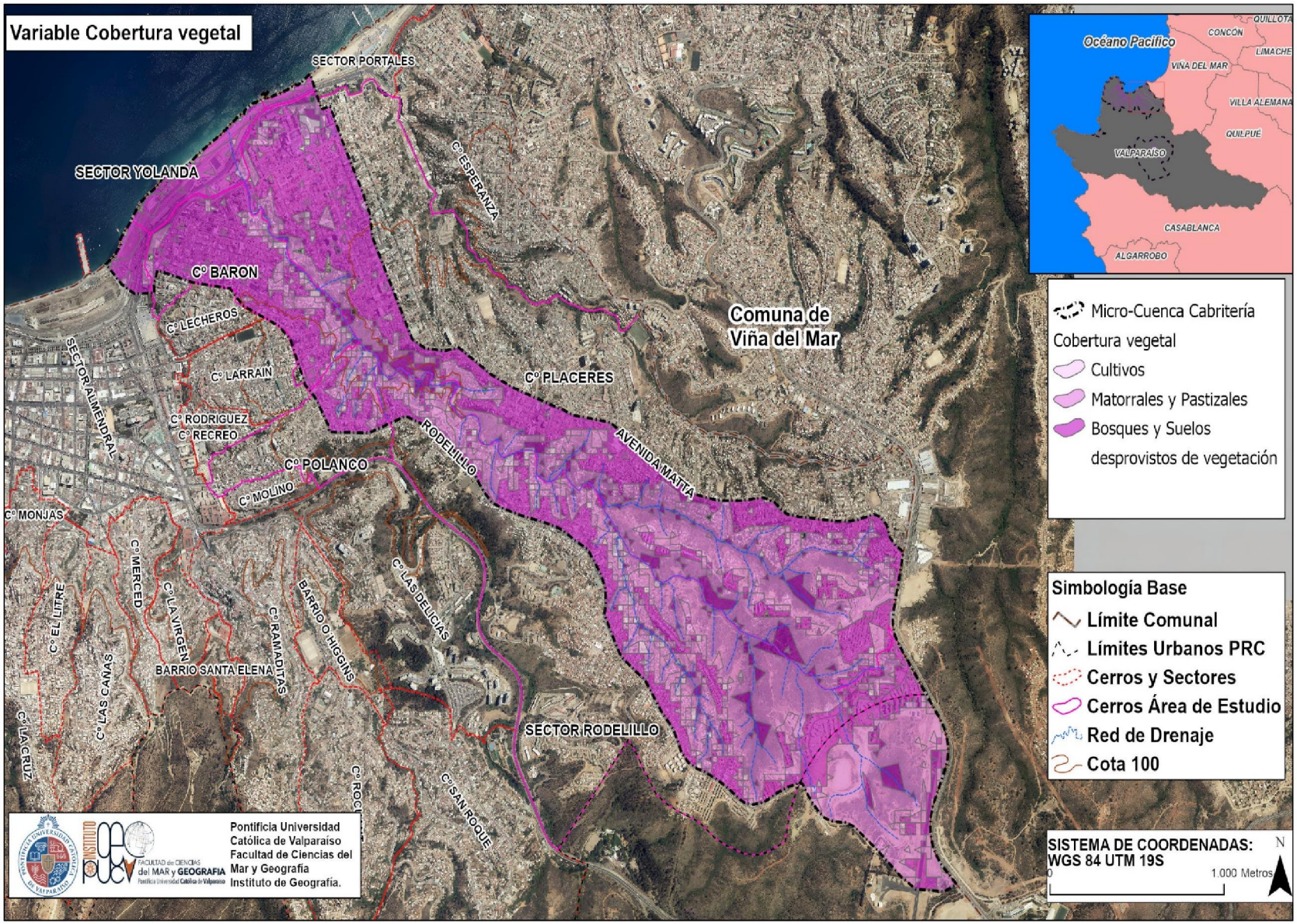


Figura N° 20 Variable cobertura vegetal. Fuente: Hernández et al 2016.

5.1.1 Evaluación de la amenaza modelo evaluación multicriterio.

Definida la amenaza para cada variable, el siguiente paso es ponderarlas de acuerdo a un promedio de valores otorgados por el juicio de expertos (tabla N° 26). La jerarquización fue realizada por un grupo de profesionales, entre los que destacan geógrafos, arquitectos y geólogos, con experiencia en la planificación territorial de los municipios de San Felipe, Valparaíso y Concepción.

Variable	Ponderación % juicio de expertos
Pendiente	40
Cobertura vegetal	30
Orientación de Laderas	20
Litología	10

Tabla N° 26 Ponderación de las variables. Fuente: Elaboración propia en base a juicio de expertos.

De acuerdo a la jerarquización de las variables consideradas, las unidades homogéneas de amenaza por remoción en masa (figura N° 20) resultan de la aplicación de la siguiente relación:

ARM = (P*0.40) + (CV*0.30) + (OL*0.20) + (L*0.10)

Donde:

ARM: Amenaza por remoción en masa

P= Pendiente

CV= Cobertura vegetal

OL= Orientación de Laderas

L= Litología

Considerando que los valores mínimos y máximos extremos de la aplicación de esta relación corresponden a 0,4 y 56,2 respectivamente, se establecen tres niveles de amenaza, los límites de cada rango resultan del método de clasificación por cortes naturales en Arcgis 10.6, (Velázquez y Celemín 2011), ya que las rupturas de las clases se crean de manera que los valores similares se agrupan mejor y se maximizan las diferencias entre clases (tabla N° 27).

Rango	Nivel de Amenaza
0,4 – 10	Leve
10,1 - 35	Moderado
> de 35	Alto

Tabla N° 27 Unidades homogéneas de amenaza por remoción en masa modelo EMC.

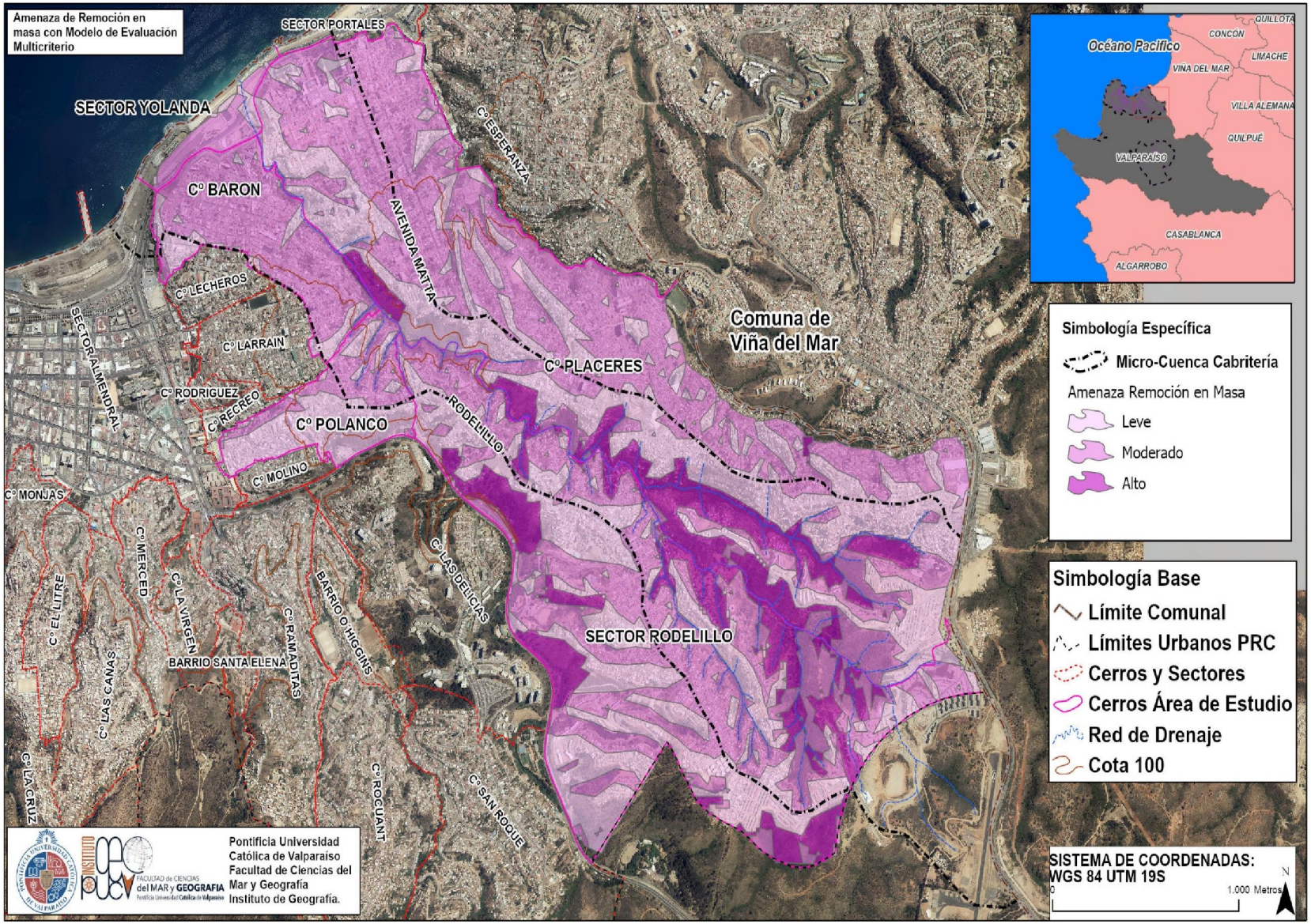


Figura N° 21 Modelo de cálculo amenaza de remoción en masa con evaluación multicriterio. Elaboración propia.

5.2 Modelo de cálculo Morfométrico como indicador de amenaza de remociones en masa.

El modelo morfométrico realizará un análisis cuantitativo de la superficie terrestre para definir el nivel de amenaza, entre las variables utilizadas destaca la altimetría, la pendiente del terreno y la densidad del relieve, las principales variables morfométricas a utilizar son: La diferencia de alturas entre divisorias y cauces **(profundidad de la disección)**, la longitud de cauces fluviales por unidad de superficie **(densidad de la disección)**, la diferencia máxima de altura por unidad de superficie **(energía del relieve)** y las zonas con mayor o menor desgaste del relieve **(índice de erosión total)** (Lugo 2011).

Densidad de Disección (D)

Tiene como objetivo identificar las zonas de mayor o menor concentración de cursos fluviales y por consecuencia la mayor erosión fluvial y expresa la densidad del drenaje por unidad mínima de análisis (Cada celda de 10.000 m^2). El nivel de amenaza se categorizara respecto de la valorización realizada anteriormente en tabla N° 17 utilizando Arcgis 10.6 con el método de cortes naturales para delimitar tres intervalos de amenaza (Velázquez y Celemín 2011), expresando la densidad en metros por km^2 (Tabla N° 28).

Valor	Estandarización	Amenaza
1	≤ 547	Leve
2	547,1 - 1219	Moderado
3	> 1219	Alto

Tabla N° 28 Categoría de amenaza por densidad de la disección expresada en m/ km^2 Elaboración propia.

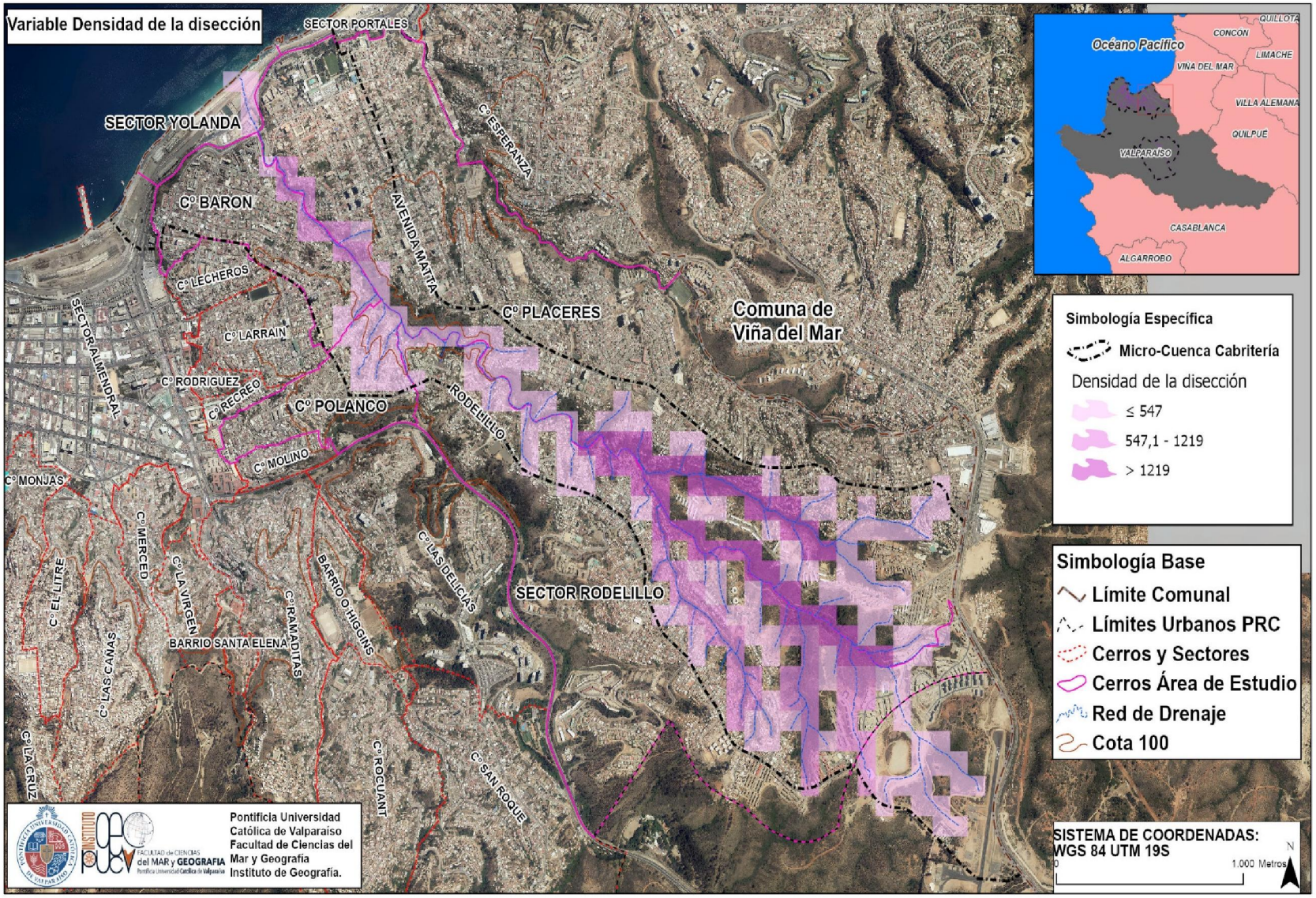


Figura N° 22 Variable Densidad de la disección. Elaboración propia.

Profundidad de la disección (P)

Permite medir la capacidad o actividad erosiva de las quebradas, ya que analiza las superficies donde la erosión fluvial ha sido más o menos intensa a través del tiempo y se explica como la diferencia de altura entre el talweg y la ruptura de la pendiente más representativa y próxima a la ladera inferior de la cuenca por unidad mínima de análisis expresada en metros. El nivel de amenaza se categorizará respecto de la valorización realizada anteriormente en tabla N° 18 utilizando Arcgis 10.6 con el método de cortes naturales para delimitar tres intervalos de amenaza (Velázquez y Celemín 2011), expresando la profundidad en metros (Tabla N° 29).

Valor	Estandarización	Amenaza
1	≤72	Baja
2	72,1 - 120	Moderado
3	> 120	Alto

Tabla N° 29 Categoría de la amenaza por profundidad de la disección en metros. Elaboración propia.

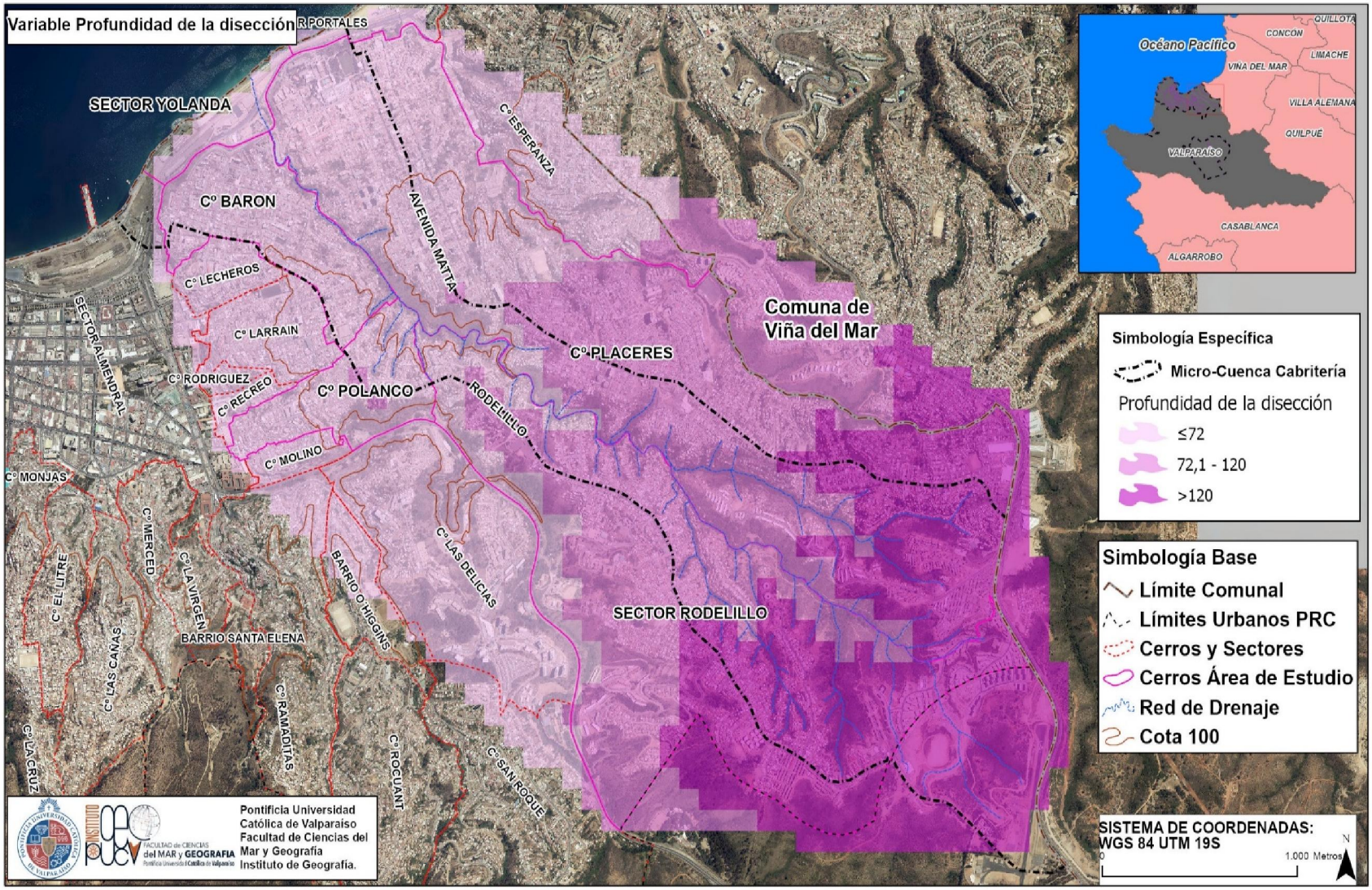


Figura N° 23 Variable Profundidad de la disección. Elaboración propia.

Energía del relieve (E)

Determina la diferencia máxima de la altura relativa en metros en un área específica y representa el potencial erosivo favorecido por el relieve y representa la riguridad del terreno (Barrantes y Quesada 2016). Expresa la diferencia entre la mayor y menor altitud para cada unidad mínima de análisis (celda de10.000 m2). El nivel de amenaza se categorizará respecto de la valorización realizada anteriormente en tabla N° 19 utilizando Arcgis 10.6 con el método de cortes naturales para delimitar tres intervalos de amenaza (Velázquez y Celemín 2011), expresando la energía del relieve en metros (tabla N° 30).

Valor	Estandarización	Amenaza
1	≤ 20	Leve
2	20,1 - 37	Moderado
3	> 37	Alto

Tabla N° 30 Categoría de la amenaza por energía del relieve en metros. Elaboración propia.

.

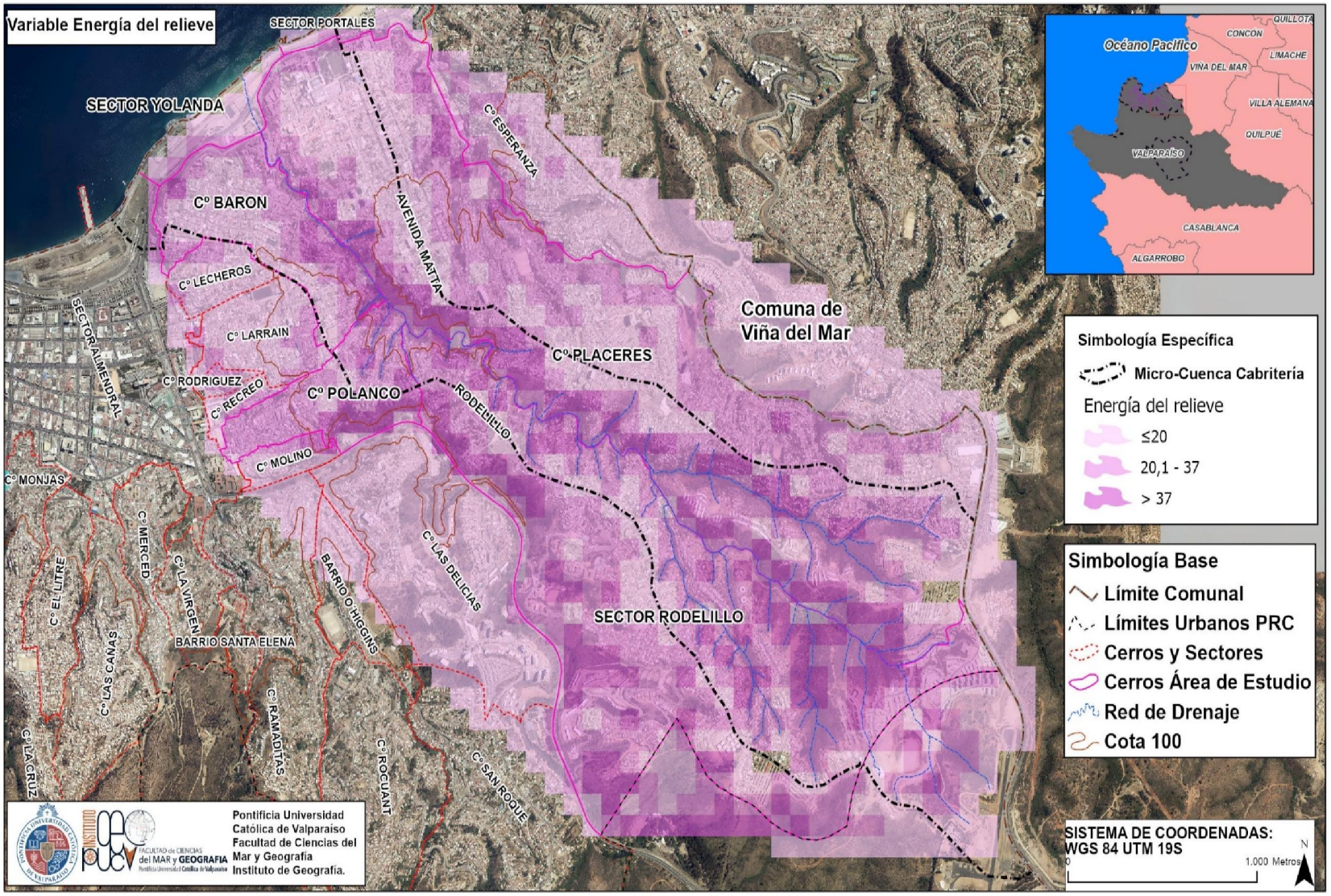


Figura N° 24 Variable Energía del relieve. Elaboración propia.

Índice de erosión total (ET)

Determina las zonas con mayor o menor desgaste del relieve donde las curvas de nivel registran la huella de los distintos agentes que modelan el territorio, a mayor intensidad y permanencia de un determinado proceso erosivo, mayor densidad de curvas (Barrantes y Quesada 2016).). El nivel de amenaza se categorizará respecto de la valorización realizada anteriormente en tabla N° 20 utilizando Arcgis 10.6 con el método de cortes naturales para delimitar tres intervalos de amenaza (Velázquez y Celemín 2011), expresando el índice de erosión total en Tabla N° 31.

Valor	Estandarización	Amenaza
1	≤ 12,3	Leve
2	12,4 – 13,4	Moderado
3	> 13,4	Alto

Tabla N° 31 Categoría de la amenaza por índice de erosión total. Elaboración propia.

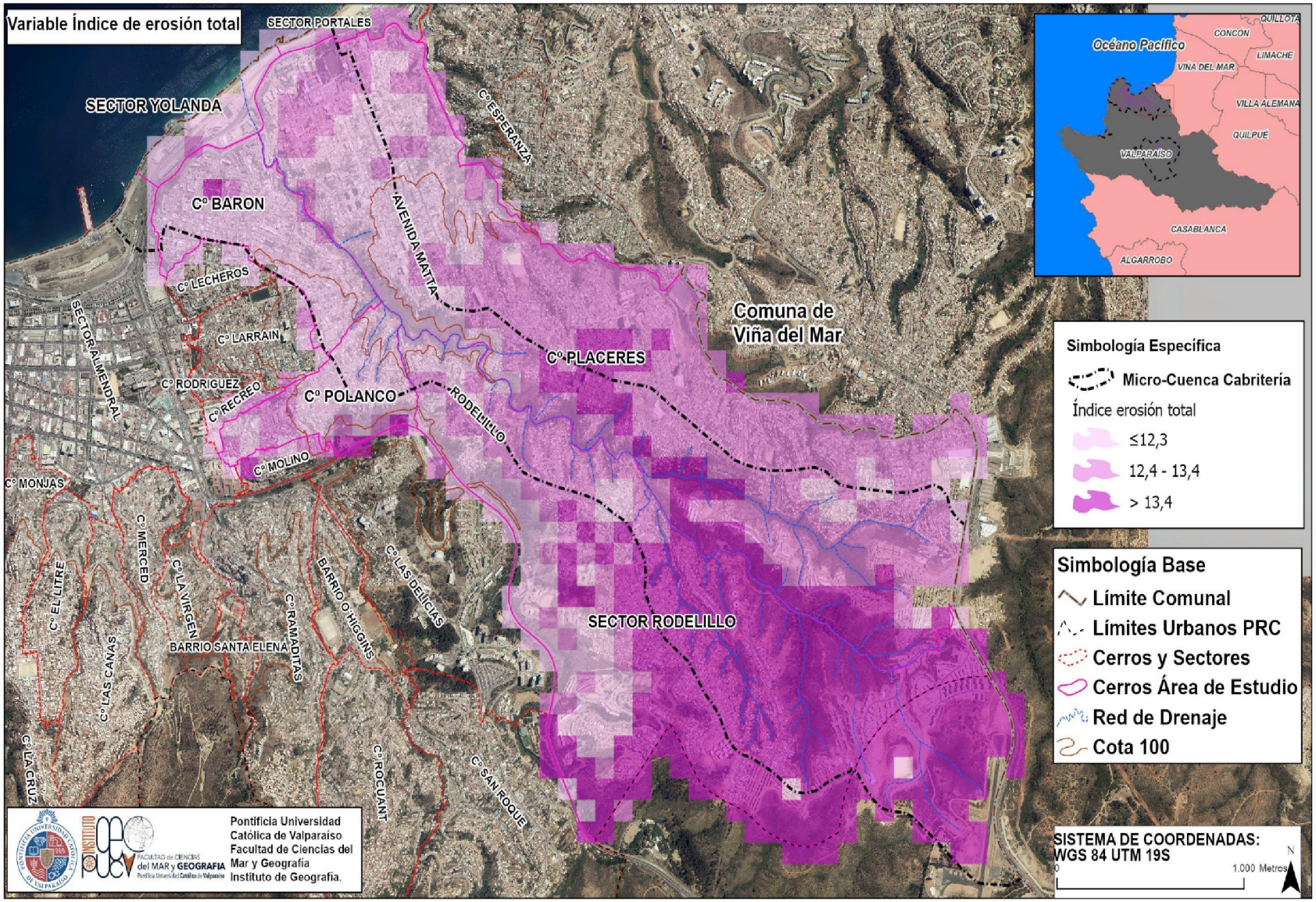


Figura N° 24 Variable Índice de erosión total. Elaboración propia.

5.2.1 Evaluación de la amenaza modelo Morfométrico.

Definidas las variables y la estandarización de los intervalos de amenaza, se procede a realizar el cálculo de la amenaza de remoción en masa expresando la siguiente relación:

MMRM = (D + P + E + IET) / 4

Donde:

MMRM= Modelo morfométrico de cálculo de eventos de remociones en masa.

D = Densidad de la disección

P = Profundidad de la disección

E = Energía del relieve

IET= Erosión total

Considerando que los valores mínimos y máximos extremos de la aplicación de esta relación son 4 y 16 respectivamente, se establecen tres niveles de amenaza, donde los límites de cada rango resultan del método de clasificación por cortes naturales en Arcgis 10.6, (Velázquez y Celemín 2011), ya que las rupturas de las clases se crean de manera que los valores similares se agrupan mejor y se maximizan las diferencias entre clases (tabla N° 32). Dado que el modelo se orienta a su aplicación en proceso de gestión de los riesgos, como lo son el ordenamiento territorial y la prospección del riesgo, este modelo facilitará su interpretación por parte de los gestores del riesgo y de los tomadores de decisiones (Barrantes y Quesada 2017).

Rango	Nivel de Amenaza
4-7	Leve
7,1-10	Moderado
10,1-16	Alto

Tabla N° 32 Unidades homogéneas de amenaza por remoción en masa modelo Morfométrico.

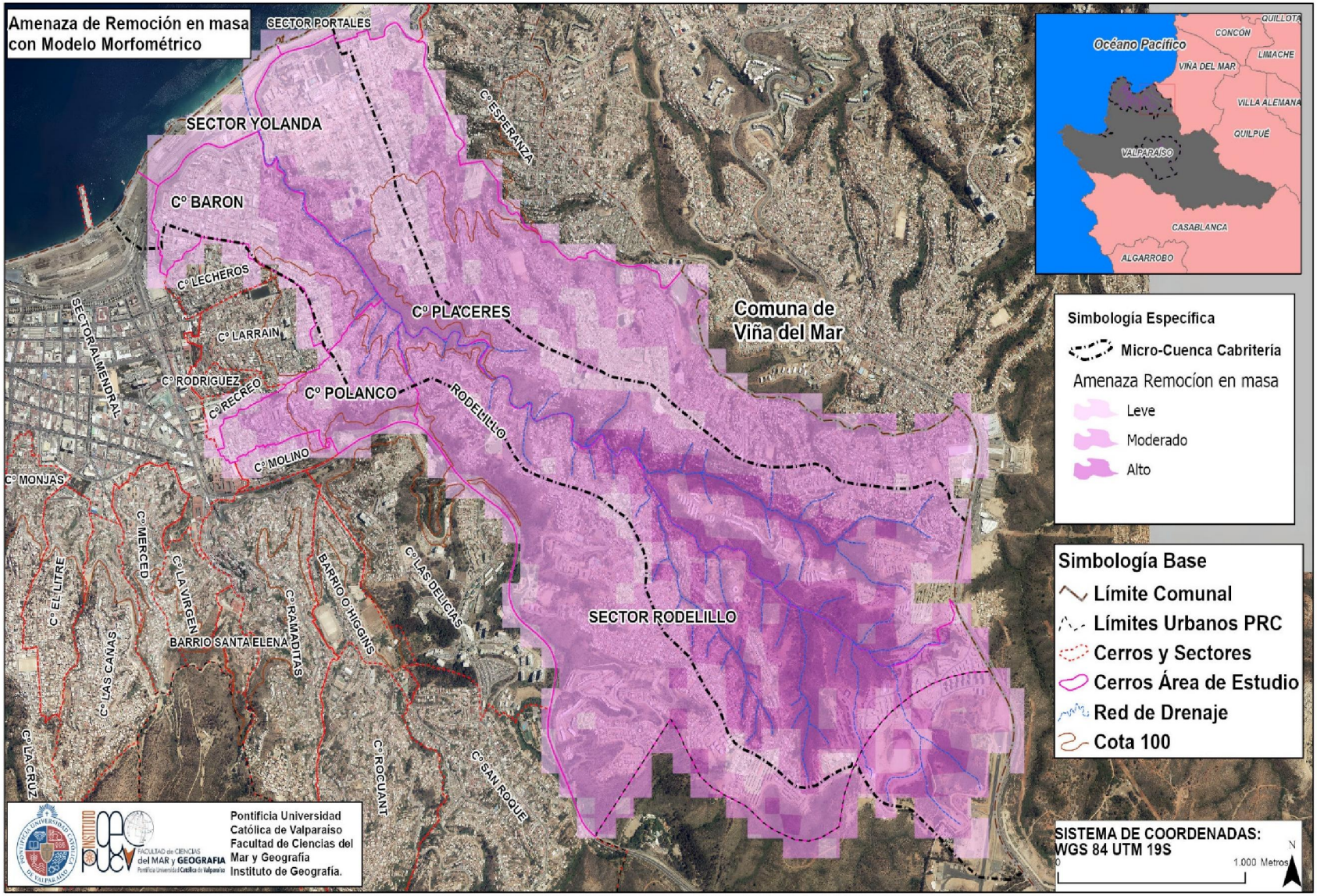


Figura N° 26 Modelo de cálculo Morfométrico de amenaza de remociones en masa. Elaboración propia.

5.3 Determinación de la vulnerabilidad.

Construcción del Índice de Vulnerabilidad Social.

Para el caso de estudio se utilizarán variables que se refieren a las condiciones sociales (socioeconómicas). Para lo cual se propone un indicador de vulnerabilidad social, utilizando variables contenidas en el Registro Social de Hogares (RSH 2020), El RSH se construye en base a la información aportada por una persona del hogar mayor de 18 años y los datos administrativos que posee el Estado, ubicando al hogar en un tramo de Calificación Socioeconómica". (Ministerio de Desarrollo Social, Gobierno de Chile, 2017).

La Calificación Socioeconómica se realiza desde la suma de los ingresos efectivos de las personas que forman parte de un hogar, y son ajustados por el nivel de dependencia de las personas que tiene discapacidad, menores de edad y adultos mayores en el hogar. Por lo tanto, se consideran los activos de las personas, que se refiere al stock o conjunto de recursos acumulados de diversos tipos que posee la población (Tapia 2017).

Como unidad mínima de análisis se consideran las unidades vecinales. La construcción del índice se basa vasa en lo que se conoce como "vector de pesos" y que en síntesis corresponde a un polinomio de forma:

$Y= F1 * X1 + F2 * X2 + F2 * X2 + F3 * X3 +…..FnXn$

Y: corresponde a la variable que queremos evaluar (en este caso el índice de vulnerabilidad social).

Xi: corresponden a las variables utilizadas para evaluar este índice.

Fi: corresponden a los factores asociados a cada variable.

Xi, n: corresponde al número de variables utilizadas para evaluar Y.

Es Decir:

$$Y = \sum_{i=1}^{n} Fi * Xi$$

Para la construcción del Índice de Vulnerabilidad Social (IVS) se utilizarán seis variables contenidas en la RSH, indicadas a continuación.

N°	Variables	Fuente	Puntaje o Factor %
1	Hogares tramo 40, caracterización socioeconómica registro social de hogares	RSH, 2020	30
2	Hogares con situaciones de dependencia y/o adultos mayores		20
3	Estado de la vivienda (viviendas precarias).		15
4	Hogares sin servicios básicos		15
5	Hacinamiento medio a critico (de 2, 5 a más personas)		10
6	Hogares con jefatura femenina con primera infancia		10

Tabla N° 31 Variables IVS con vector de peso. Fuente Registro Social de Hogares 2020.

El porcentaje descrito será utilizado como indicador, tomando como base el total de hogares o viviendas registrados en el censo, como dato oficial, por lo que el Índice de Vulnerabilidad Social estará dado por:

IVS: $\sum_{j=1}^{6} P(Xi) * V(Xi)$

IVS = 0,3*X1 + 0,2*X2+ 0,15*X3 + 0,15*X4 + 0,1*X5 + 0,1*X6

IVS: Índice de Vulnerabilidad Social.

X1 a X1= corresponde a las variables utilizadas para evaluar el índice.

P (Xi)= corresponde a los factores asociados a cada variable.

Aplicando este índice se tienen los resultados del modelo evaluativo, considerando las siguientes variables:

N°	Variables a mapear	Definición
1	Hogares tramo 40, CSE RSH caracterización socioeconómica registro social de hogares (Cartografía en anexo N°1)	La incidencia de la pobreza en una población determinada corresponde al porcentaje de dicha población que viven condición de pobreza, esto es, al porcentaje de personas cuyo ingreso es insuficiente para satisfacer sus necesidades básicas y que corresponde al tramo 1 del RSH
	Hogares con situaciones de dependencia y/o adultos mayores. (Cartografía en anexo N°2)	Dependencia Moderada. El grado I de dependencia moderada es cuando la persona necesita ayuda para realizar varias Actividades Básicas de la Vida Diaria al menos una vez al día o tiene necesidades de apoyo intermitente o limitado para su autonomía personal.

2		Dependencia Severa: Se necesita ayuda para realizar varias actividades básicas de la vida diaria dos o tres veces al día, pero no requiere el apoyo permanente de un cuidador o tiene necesidades de apoyo extenso para su autonomía personal
		Como "Adulto Mayor" se considera la población mayor de 65 años, para comparar con la información otorgada por el Censo.
3	Estado de la vivienda Viviendas precarias. (Cartografía en anexo N°3)	Permite conocer las condiciones materiales de las viviendas de los hogares. Se construye a partir de los materiales predominantes en paredes exteriores, cubierta de techo y pisos. En este caso solo considera la categoría "malo" para muros, techos y piso
4	Hogares sin servicios básicos. (Cartografía en anexo N°4)	Cantidad de viviendas sin servicios básicos
5	Hacinamiento medio a crítico.(Cartografía en anexo N°5)	Índice de Hacinamiento evalúa la calidad de la vivienda en términos de espacio en el hogar disponible para dormitorios. Consiste en la razón entre el número de personas en el hogar y el número de dormitorios en el mismo, considerando piezas de uso exclusivo

6	Hogares con jefatura femenina con primera infancia. (Cartografía en anexo N°6)	Hogares donde el jefe de hogar es de sexo femenino y cuenta con presencia de niño/a de 0 a 5 años.

Tabla N° 32 Definición de las variables del IVS. Fuente: Departamento SIG-SECPLA Municipalidad de Valparaíso, elaborado en base a RSH, 2020.

Para realizar la clasificación del **índice de vulnerabilidad social** se utilizó la automatización por cortes naturales en los Sistemas de Información Geográfica (SIG), para que cada rango agrupe de mejor forma los valores similares y logre maximizar las diferencias entre clases (Tabla N° 33).

Índice	Descripción Criterio
≤ 26%	Leve
26,1 - 34%	Moderado
> 34,1 %	Alto

Tabla N° 33 Criterio Índice de Vulnerabilidad Social.

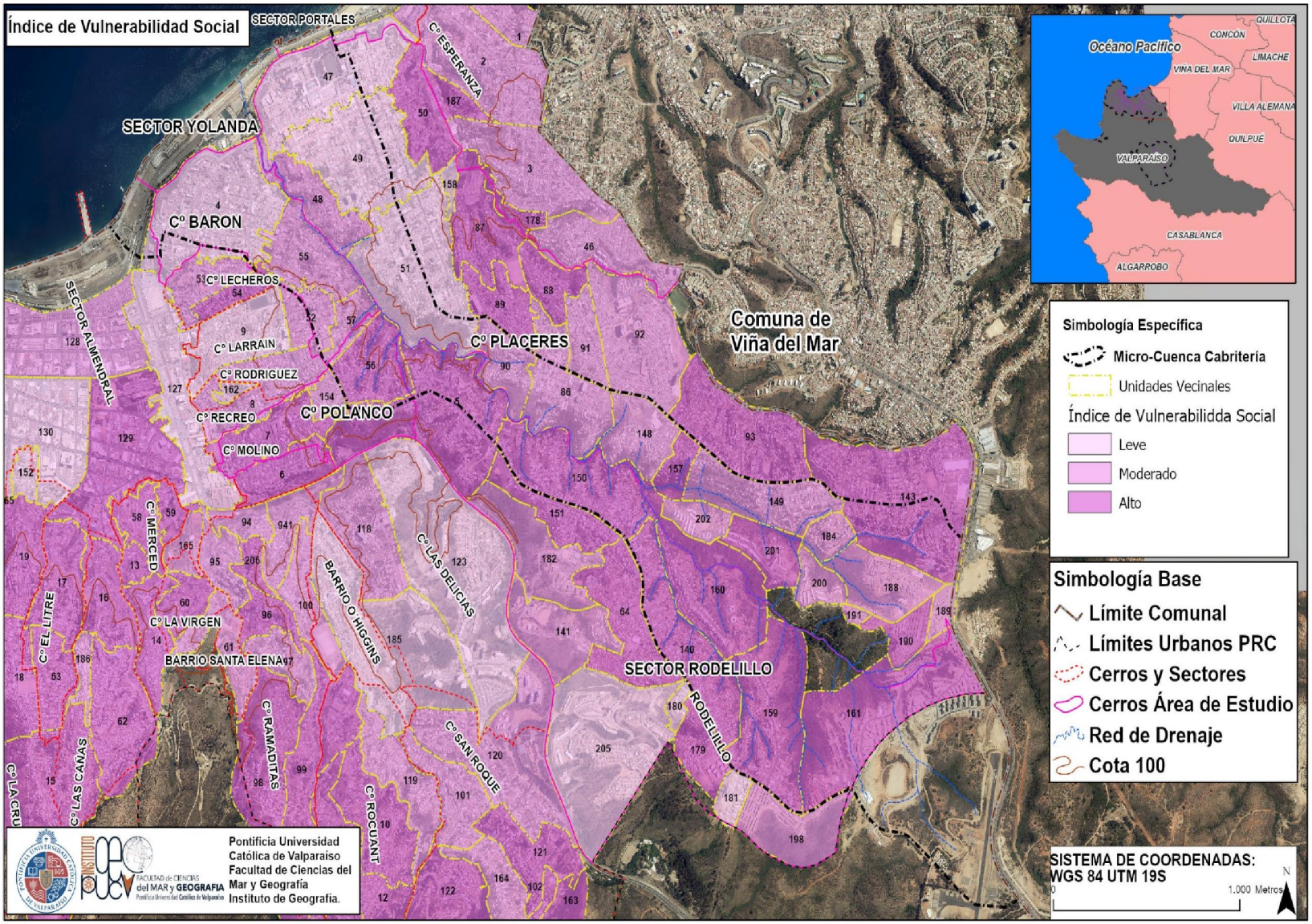


Figura N° 27 Índice de Vulnerabilidad Social. Elaboración propia en base a Registro Social de Hogares 2020.

5.4 Evaluación del riesgo.

La norma ISO 31000 (ISO 2009), que define el riesgo como el “efecto de la incertidumbre en los objetivos” es la definición más aceptada y más amplia. La norma ISO además especifica: “El riesgo a menudo se caracteriza por la referencia a posibles eventos y consecuencias (impactos), o una combinación de ambos; y el riesgo muchas veces se expresa en términos de una combinación de las consecuencias de un evento (incluidos los cambios en el contexto) y la probabilidad asociada” (Billi et al 2021). El riesgo de remociones en masas se calculará utilizando la amenaza de ambos modelos (Evaluación multicriterio y Morfométrico) multiplicada por la vulnerabilidad social (Índice de vulnerabilidad Social). Procesos relacionados directamente con la **exposición a las amenazas** ya sean de origen natural o antrópicas, incidiendo también de forma directa la **vulnerabilidad**, en función de que el riesgo es el resultado de la interacción de la vulnerabilidad y la amenaza, expresando:

$$R = A * IVS.$$

Donde:

R= Riesgo

A= Amenaza

IVS= Índice de Vulnerabilidad Social.

5.5 Aplicación de los modelos EMC y Morfométrico en la evaluación del riesgo.

Una vez desarrollados los modelos de evaluación multicriterio y morfométrico para el cálculo del nivel de amenaza de remoción en masa y el índice de vulnerabilidad social, se debe componer el nivel de riesgo por remoción en masa de la población en el área de estudio, el cual se expresa como:

$$R = A * IVS$$

Donde:

R= Riesgo.

A= Amenaza.

V= Índice de Vulnerabilidad Social.

El objetivo de comparar ambas formas de evaluar el riesgo de remociones en masas en la micro cuenca Cabritería de la comuna de Valparaíso, se gesta de la necesidad de fortalecer la aplicación institucional, municipal que utiliza la evaluación multicriterio que ajusta los valores de algunas de sus variables con la normativa urbana de los instrumentos de planificación territorial (PREMVAL, PRC), con la utilización de un modelo que se basa en consideraciones asociadas a variables de la naturaleza de la topografía medibles del relieve que inciden en las remociones en masa, como lo es el modelo Morfométrico.

El nivel de riesgo para ambos modelos se categorizará utilizando Arcgis 10.6 con el método de cortes naturales para delimitar cuatro intervalos (Velázquez y Celemín 2011), donde valores mayores será asociado a mayor nivel de riesgo.

5.5.1 Evaluación el riesgo Modelo Evaluación Multicriterio.

La primera ecuación se aplicará al modelo multicriterio ajustado a la norma urbana con el índice de vulnerabilidad social, expresando lo siguiente:

R=EMC * IVS

Donde:

R= Riesgo.

EMC= Modelo de evaluación multicriterio.

IVS= Índice de vulnerabilidad social

Rango	Nivel de Riesgo
1-2	Leve
3	Moderado
4-5	Alto
>5	Muy Alto

Tabla N° 33 Nivel de riesgo área de estudio. Elaboración propia.

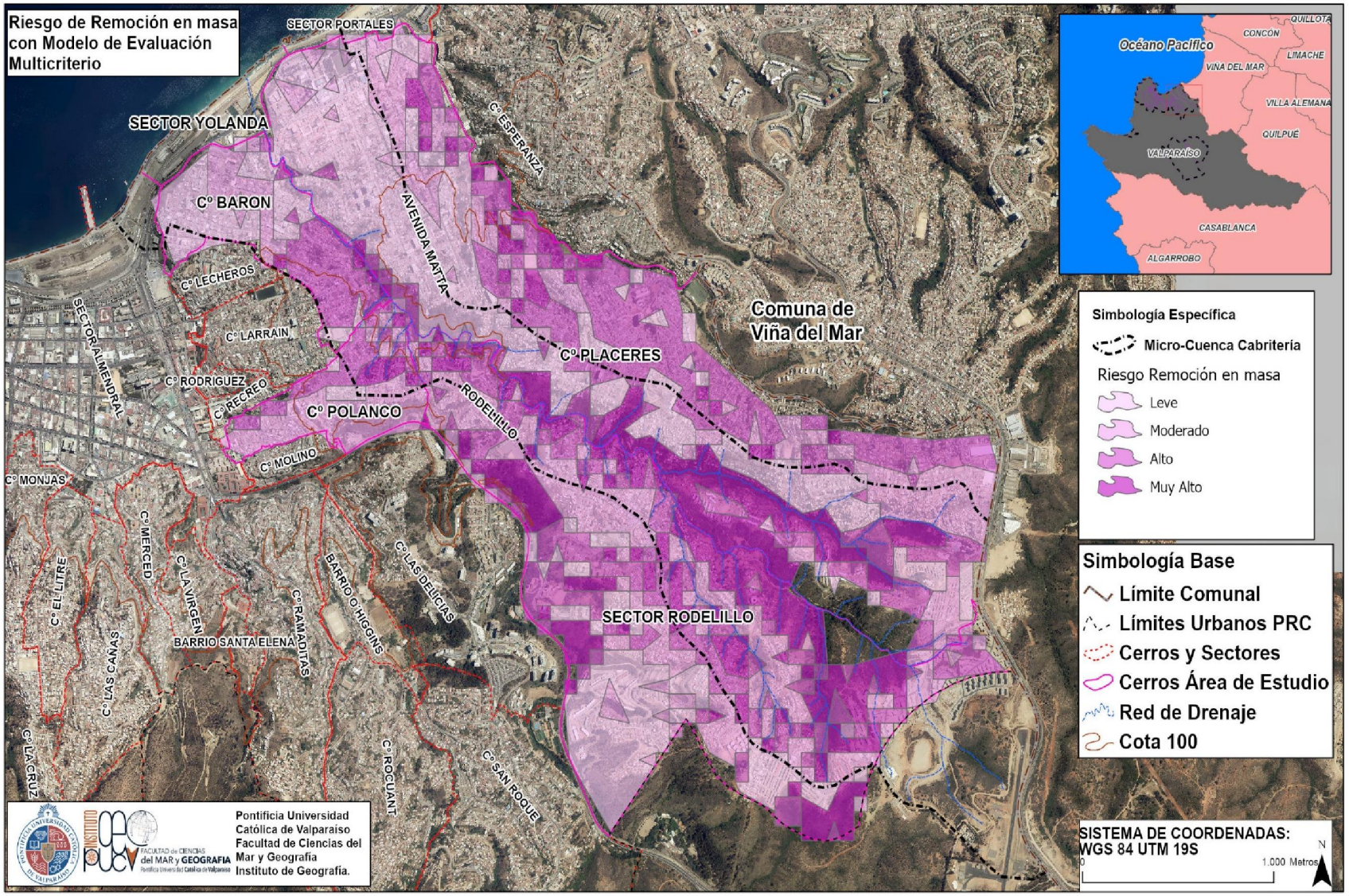


Figura N° 28 Riesgo remoción en masa con modelo evaluación multicriterio. Elaboración propia.

5.5.2 Evaluación el riesgo Modelo Morfométrico.

El modelo morfométrico realiza análisis cuantitativo de la superficie terrestre, sus características geométricas, topológicas y expresa consideraciones asociadas a variables de la naturaleza medibles del relieve que inciden en las remociones en masa, Expresando lo siguiente:

R= MMRM * IVS

Donde:

R= Riesgo.

MMRM= Modelo morfométrico de cálculo de amenaza de remociones en masa.

IVS= Índice de vulnerabilidad social

Rango	Nivel de Riesgo
1-2	Leve
3-4	Moderado
5	Alto
>5	Muy Alto

Tabla N° 34 Nivel de riesgo área de estudio. Elaboración propia.

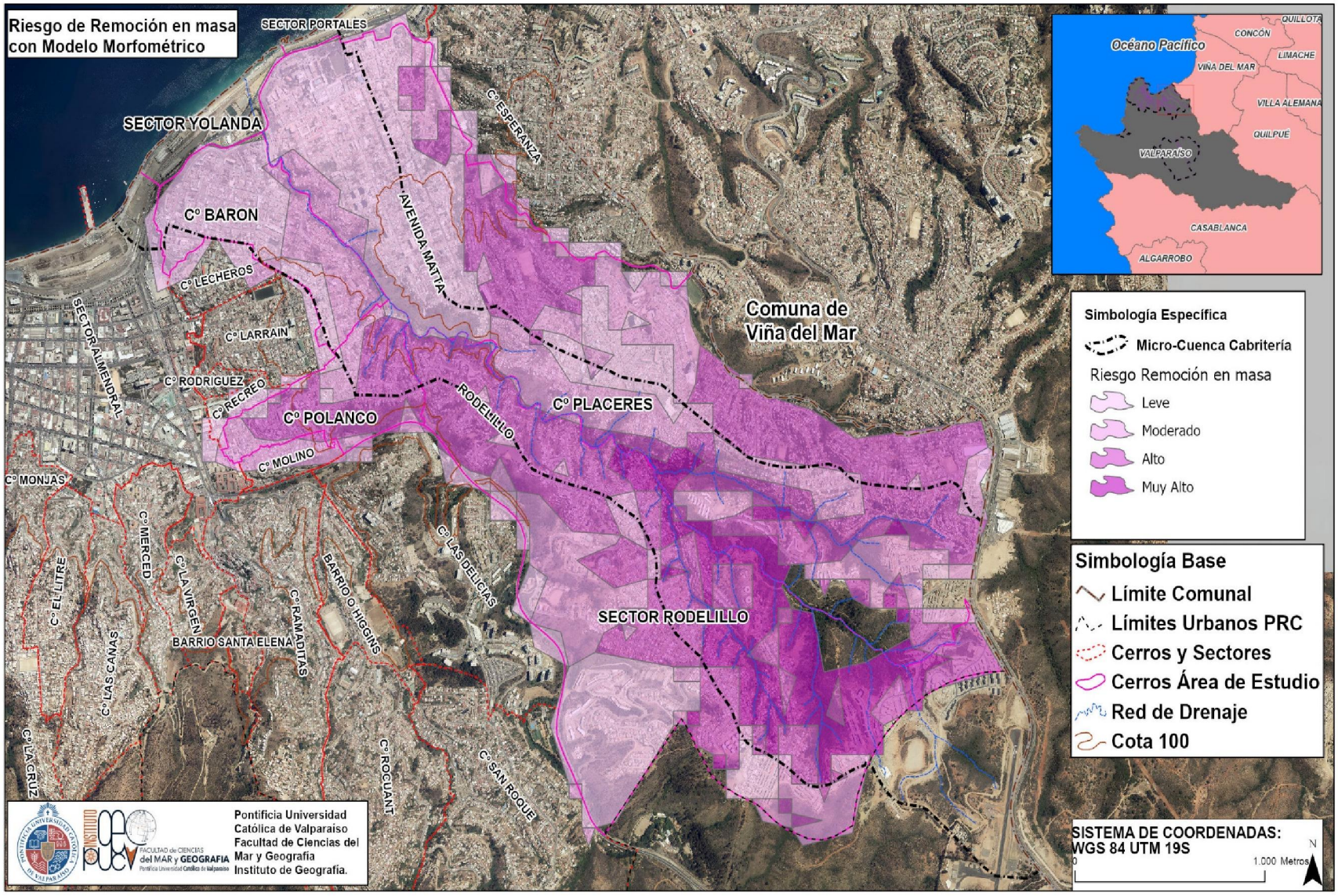


Figura N° 29 Riesgo remoción en masa con modelo morfométrico. Elaboración propia.

6 RESULTADOS

6.1 Análisis comparado de la amenaza y el riesgo frente a la exposición y sensibilidad de la población.

El análisis comparado de exposición a la amenaza se realiza de forma independiente de la sensibilidad al riesgo, motivado por las condiciones de vulnerabilidad de la población que pueden variar en el tiempo, modificando el índice de vulnerabilidad social, por consiguiente variarían los resultados de evaluación al riesgo de remoción en masa de ambos modelos, en tanto que la amenaza no podría ver modificada su evaluación en el modelo morfométrico, pero si en el modelo de evaluación multicriterio cuando se modifica algún valor en la ponderación de sus variables.

6.1.1 Análisis de exposición a la amenaza modelos de evaluación multicriterio y modelo morfométrico.

Para efecto de comparar los modelos se utilizará la manzana censal como unidad mínima de análisis, permitiendo trabajar los datos provenientes del Censo de población y vivienda INE 2017 con mayor precisión respecto de la amenaza en la micro cuenca Cabritería.

La micro cuenca Cabritería tiene una superficie de 4,7 km^2, de los cuales 3,6 km^2 se encuentran en condición de exposición a la amenaza representando el 76,6% de la microcuenca, detallando los tres niveles de ambos modelos en la tabla N° 35 y gráfico N° 3.

Amenaza	Superficie km^2 Modelo EMC	Superficie km^2 Modelo MMF
Leve	1,4	0,8
Moderado	1,7	2,1
Alto	0,5	0,7

Tabla N° 35 Superficies en condición de amenaza modelos EMC y MMF. Elaboración propia.

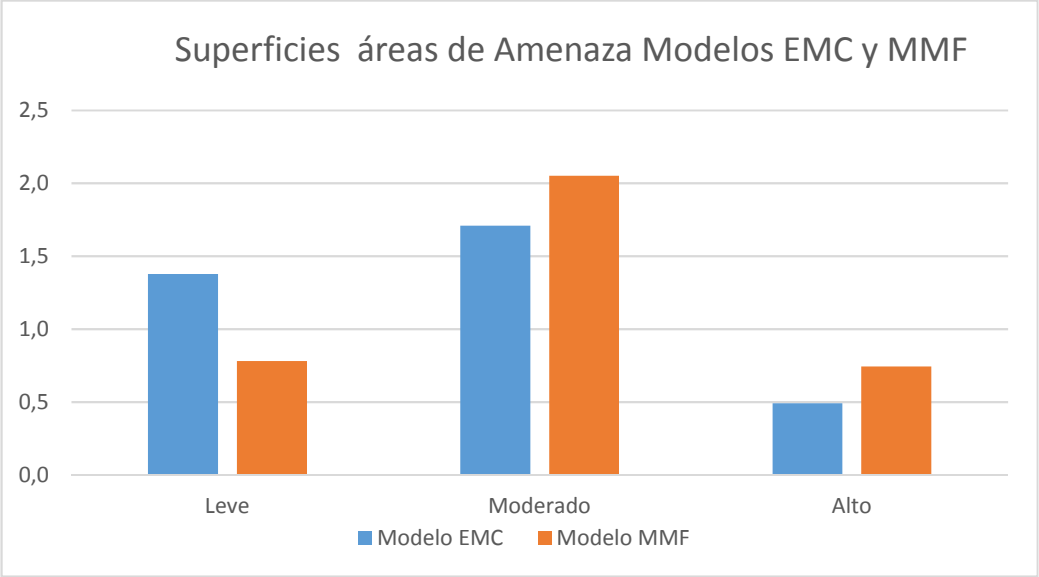


Gráfico N° 3 Superficies en condición de amenaza modelos EMC y MMF. Elaboración propia.

Ambos modelos presentan valores elevados en **amenaza moderado** con un 36,2% en modelo EMC y 44,7% de la superficie de la micro cuenca Cabritería en modelo Morfométrico. En **amenaza leve** el modelo de Evaluación Multicriterio muestra un 28,8% y en modelo morfométrico 17%%, correspondiendo este nivel el que exhibe mayor diferencia en sus resultados de evaluación de la amenaza con 0,6 km^2 entre ambos modelos. En cuanto al nivel de **amenaza alto** es el que presenta valores más parejos con una diferencia de 0,2 km^2 entre los modelos de evaluación, donde la Evaluación Multicriterio ocupa un 10,6% y el modelo Morfométrico un 14,9% de la superficie de la micro cuenca. Estos valores indican que la microcuenca Cabriteria presenta una **exposición a la amenaza de moderado a leve** respecto de su superficie.

Determinada la exposición a la amenaza sobre la superficie de la micro cuenca Cabritería es importante detallar como esta condición impacta en la infraestructura, por lo que se procedió mediante la utilización del Arcgis 10.6 a interpolar la amenaza con la infraestructura detectada con la orto fotointerpretación del vuelo SAF 2019, detallando la cantidad de infraestructura

según la amenaza de ambos modelos (EMC y MMF) en la tabla N° 36 y gráfico N° 4.

Amenaza	Cantidad de infraestructura Modelo EMC	Cantidad de infraestructura Modelo MMF
Leve	3183	2294
Moderado	4183	4398
Alto	211	885

Tabla N° 36 Cantidad de Infraestructura en superficies de amenaza modelos EMC y MMF. Elaboración propia.

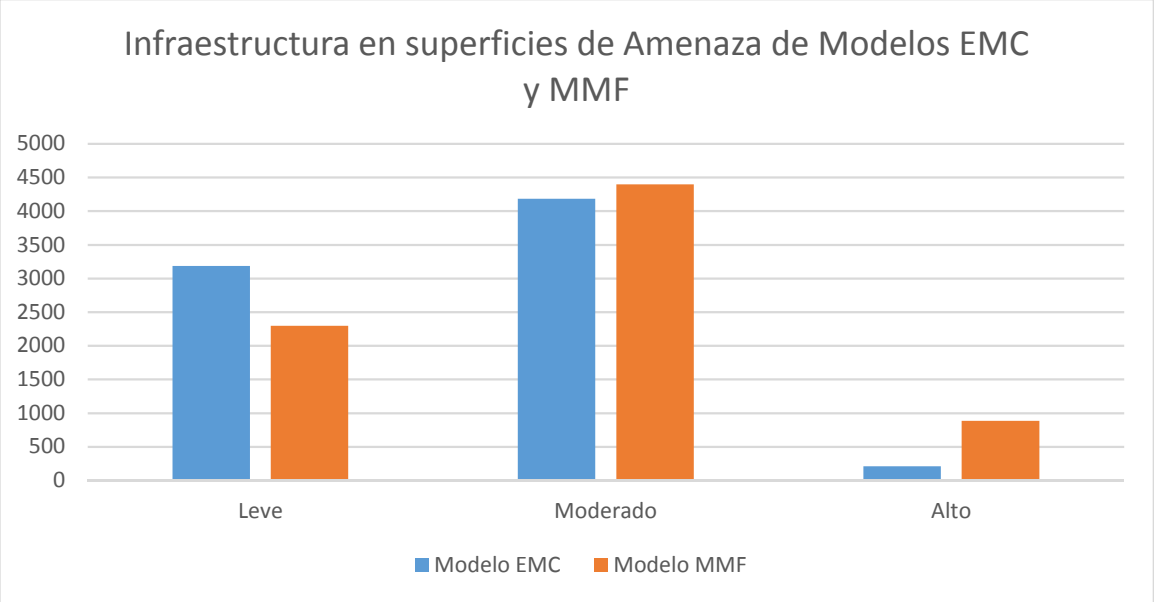


Gráfico N° 4 Cantidad de Infraestructura en superficies de amenaza modelos EMC y MMF. Elaboración propia.

La infraestructura total de la micro cuenca Cabritería corresponde a 7.577, ubicándose sobre el 50% de la infraestructura en **amenaza moderado** (55,2% en el modelo EMC y 58% en modelo Morfométrico), en **amenaza leve** el modelo de Evaluación Multicriterio ubica el 42% de las infraestructuras y en modelo morfométrico un 30,3%, mientras que **amenaza alto** tiene la menor cantidad de infraestructura con un 2,8% y un 11,7% en los modelos de Evaluación Multicriterio

y Morfométrico respectivamente. Valores que indican que la **exposición a la amenaza** sobre la infraestructura es **moderado a leve.**

Respecto a la distribución espacial de la infraestructura y la exposición a la amenaza de ambos modelos podemos observar que tienen diferencias notables al evaluar la amenaza (Figuras 31 y 32), mientras que el modelo de Evaluación Multicriterio ubica las construcciones con **exposición a la amenaza moderado en el sector bajo de la micro cuenca Cabritería** y **en áreas de meseta**, la **amenaza leve la ubica cercana a áreas de pendiente** de la micro cuenca Cabritería y la **amenaza alto considera las construcciones ubicadas en el sector de mayor altura y pendiente** de la micro cuenca Cabritería (figura N° 30).

En cuanto al modelo morfométrico ubica la infraestructura con exposición a la **exposición a la amenaza moderado principalmente en zonas de pendiente** de toda la micro cuenca y la infraestructura en **amenaza leve la considera en el sector bajo y de mesetas** de la micro cuenca, no obstante hay coincidencia con el modelo de evaluación multicriterio al ubicar la **infraestructura con exposición a la amenaza alto en el sector de mayor altura y pendiente** de la micro cuenca Cabritería.



Figura N° 30 infraestructuras con exposición a la amenaza alto, modelo Evaluación Multicriterio, Fuente: Vuelo dron realizado el 17/12/2021.

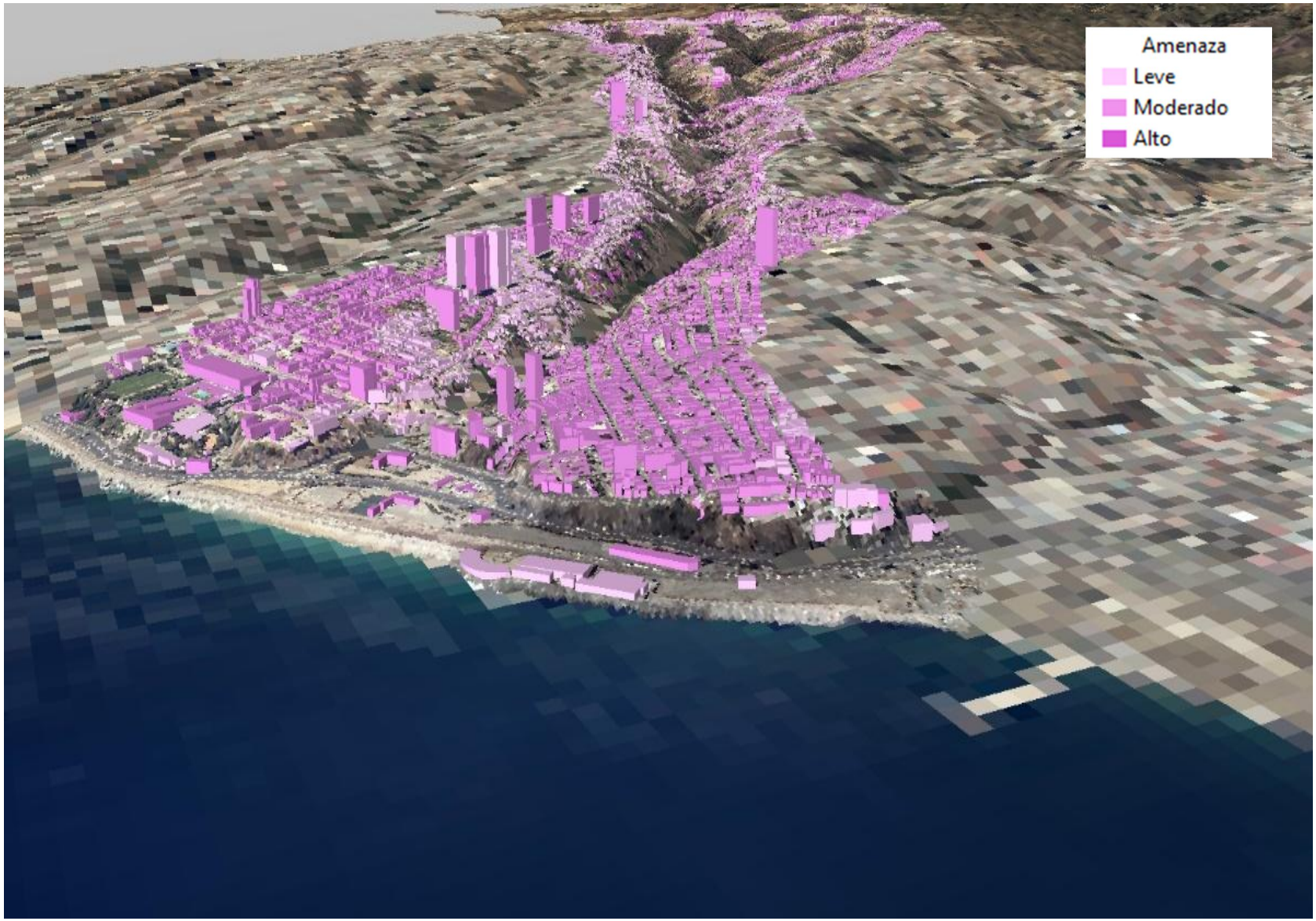


Figura N° 31 Amenaza infraestructura modelo Evaluación Multicriterio, Elaboración propia.



Figura N° 32 Amenaza infraestructura modelo Morfométrico, Elaboración propia.

Situada la amenaza en la micro cuenca Cabriteria y en su infraestructura procederemos a realizar el análisis de exposición a la amenaza en la población de ambos modelos, para ello se interpolo con Arcgis 10.6 el resultado de la amenaza de los modelos con los datos de manzanas censales INE 2017, teniendo los resultados de la tabla N° 37 y gráfico N° 5.

Amenaza	Población Modelo EMC	Población Modelo MMF
Leve	16294	11303
Moderado	17456	19383
Alto	2559	5623

Tabla N° 37 Población con exposición a la amenaza modelos EMC y MMF. Elaboración propia.

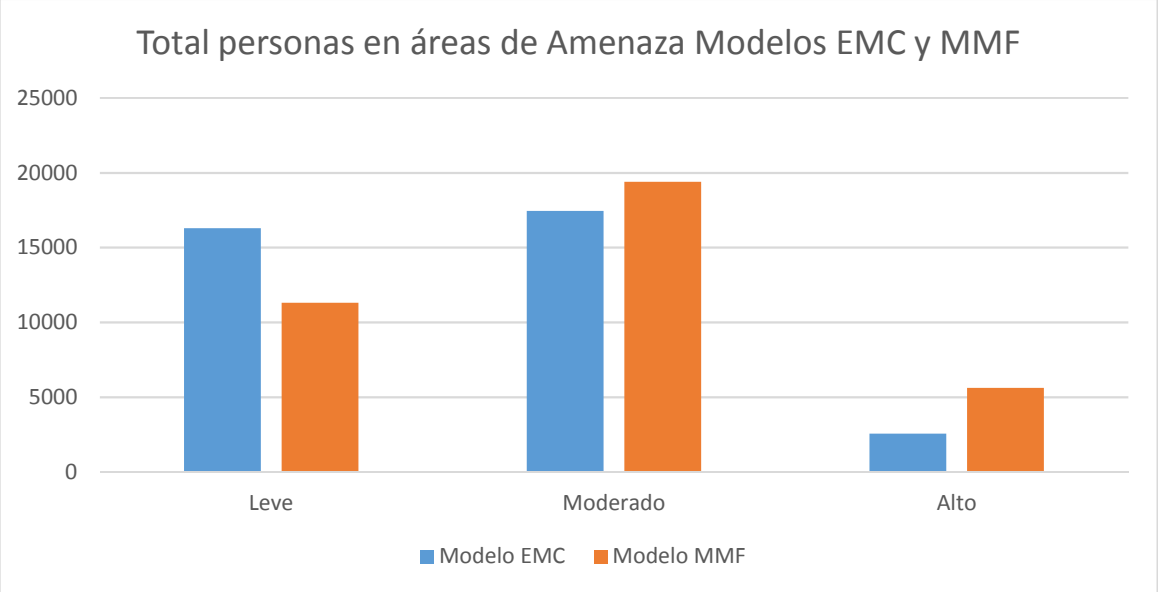


Gráfico N° 5 Población con exposición a la amenaza modelos EMC y MMF. Elaboración propia.

De los 36.309 habitantes de la micro cuenca Cabritería podemos observar en gráfico N° 5 que **la exposición a la amenaza moderado es la que agrupa más habitantes sobrepasando el 50%** en modelo Morfométrico con **53,4% de sus habitantes y 48,1% para el modelo de Evaluación Multicriterio**, valor no muy distante de exposición a **la amenaza leve con un 44,9%** de sus habitantes,

mientras que en el **modelo morfométrico nos entrega que un 31,1% están bajo exposición leve** a la amenaza. Mientras que la **exposición a la amenaza alto solamente tiene un 7% para el modelo de Evaluación Multicriterio y un 15,5% en modelo Morfométrico**. Resultados que nos entregan una mayor concentración de sus habitantes **con exposición a la amenaza moderado**, con un promedio de los resultados de ambos modelos de 18.420 habitantes.

6.1.2 Análisis de sensibilidad al riesgo modelos de evaluación multicriterio y modelo morfométrico.

Realizado el análisis de exposición a la amenaza ahora debemos considerar la variable social frente a la sensibilidad al riesgo, considerándolo como la interacción de la vulnerabilidad con la amenaza, que para el caso de esta investigación se consideró el índice de vulnerabilidad social por unidad vecinal de la micro cuenca Cabritería, las cuales tienen sus límites coincidentes con las manzanas Censales INE 2017, otorgando mayor exactitud en los resultados de aplicación de los modelos de evaluación del riesgo en el área de estudio. Para realizar los análisis de sensibilidad al riesgo se interpolaron con Arcgis 10.6 los resultados de evaluación al riesgo de ambos modelos con las manzanas censales INE 2017, obteniendo los siguientes datos:

Sensibilidad al Riesgo	Población Modelo EMC	Población Modelo MMF
Leve	12104	11328
Moderado	9185	9722
Alto	8292	8552
Muy Alto	6728	6707

Tabla N° 38 Población con sensibilidad al riesgo modelos EMC y MMF. Elaboración propia.

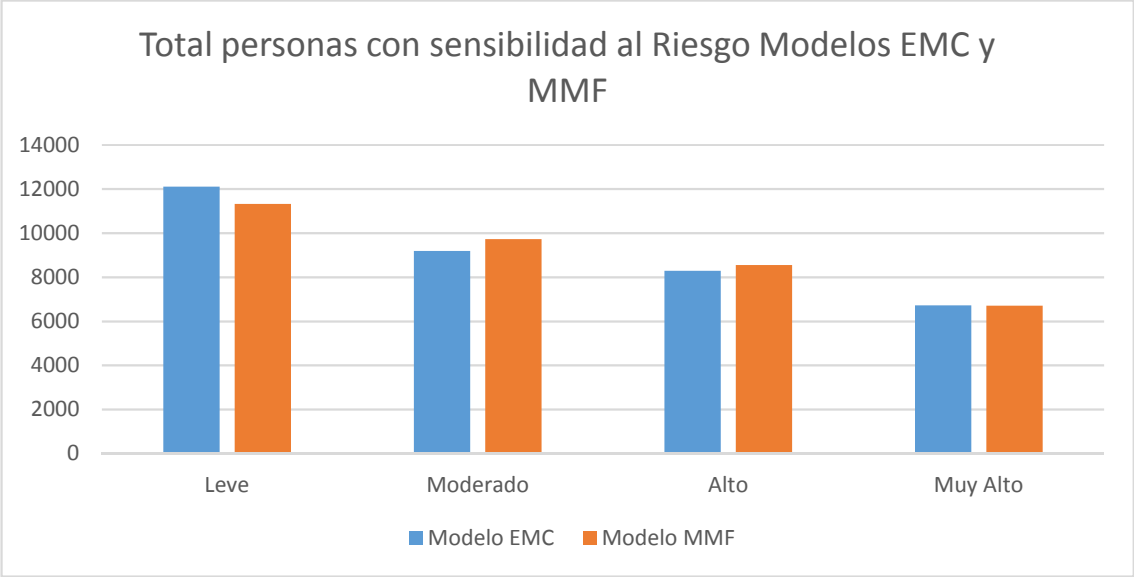


Gráfico N° 6 Población con sensibilidad al riesgo modelos EMC y MMF. Elaboración propia.

Respecto de la **sensibilidad al riesgo de la población** de la micro cuenca Cabritería que corresponde a 36.309 habitantes, podemos ver en grafico N° 6 que en riesgo leve el modelo de Evaluación Multicriterio tiene mayor cantidad de personas con un 33,3% de los habitantes y en modelo morfométrico 31,2% valores no muy distantes entre ambos modelos. En cuanto a riesgo moderado tenemos el 25,3% y 26,8% de los habitantes para los modelos EMC y MMF respectivamente. En riesgo alto tenemos en modelo EMC 22,8 y en modelo MMF 23,6% de los habitantes para terminar con sensibilidad muy alta al riesgo con 18,5% de la población para ambos modelos. En ambos modelos los resultados de sensibilidad al riesgo de las cuatro series son muy semejantes, por lo que se agrupo la **sensibilidad al riesgo leve y moderado situando el 58% de la población** para ambos modelos y el restante **42% población en sensibilidad al riesgo alta y muy alta** para ambos modelos de evaluación al riesgo de remociones en masas.

Respecto a la **sensibilidad poblacional etaria con dependencia**, de personas mayores de 65 años y menores de 14 años que habitan en áreas de riesgos es considerada baja, considerando que solo el 20% de la población

pertenece a los grupos etarios considerados para el análisis de ambos modelos de evaluación (tabla N° 39), siendo los de mayor porcentaje de sensibilidad al riesgo **leve a moderado con un 12%** mientras que sensibilidad **alto y muy alto agrupa el restante 8%** de los modelos de evaluación al riesgo.

Sensibilidad al riesgo	Proporción de personas con dependencia Modelo EMC	Proporción de personas con dependencia Modelo MMF
Leve	6,5%	6%
Moderado	5%	5,8%
Alto	4,9%	4,8%
Muy Alto	3,7%	3,6%

Tabla N° 39 Proporción de población con sensibilidad al riesgo modelos EMC y MMF. Elaboración propia.

Los resultados de **amenaza y sensibilidad** presentan valores que se encuentran por **sobre la media** e implican a un número importante de habitantes en **categoría leve y moderada** en ambos modelos y de valores por debajo de la media en categoría alta y muy alta de eventos de remociones en masas, siendo estos resultados concordantes con los instrumentos de planificación territorial que establecen áreas de riesgo previo estudio fundado, limitando 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 (Art. 2.1.17 OGUC), reduciendo la alta exposición y sensibilidad de la población ante un posible evento.

Finalmente, la **sensibilidad al riesgo de la población de los asentamientos humanos precarios** que habitan sobrepasando la cota 100 de la micro cuenca Cabritería, en los cuales habitan 672 personas (dato obtenido en el Departamento de desarrollo comunal, Municipalidad de Valparaíso actualizado para Julio del año 2021),tenemos los resultados de la tabla N°40 y gráfico N° 7.

Sensibilidad al Riesgo	Población Modelo EMC	Población Modelo MMF
Leve	213	0
Moderado	0	201
Alto	216	415
Muy Alto	243	56

Tabla N° 40 Población de los asentamientos humanos precarios con sensibilidad al riesgo modelos EMC y MMF. Elaboración propia.

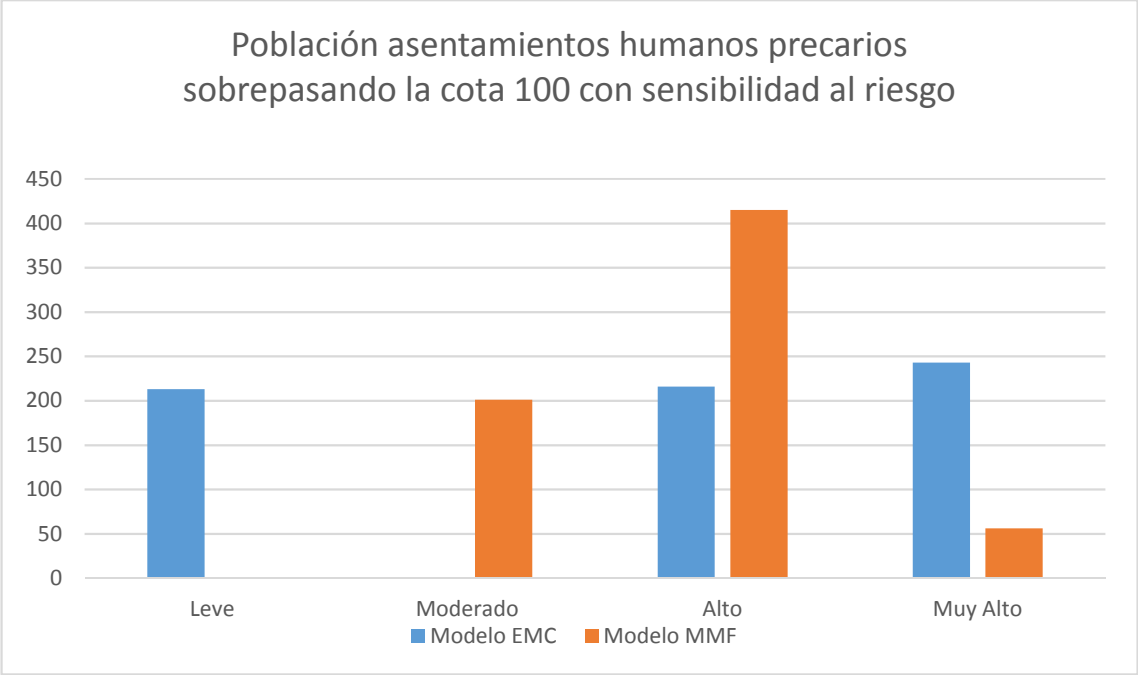


Gráfico N° 7 Población de los asentamientos humanos precarios con sensibilidad al riesgo modelos EMC y MMF. Elaboración propia.

Considerando la información del gráfico N° 7 podemos establecer que a diferencia de la población que habita en condiciones de urbanización planificada los resultados de **sensibilidad** de las personas que habitan espontáneamente y sin una regulación de los instrumentos de planificación territorial como lo son los asentamientos humanos precarios (Figura N° 33), tienen la característica de ser

alta a muy alta, por tanto que el modelo Morfométrico agrupa el 70,1% y el modelo de Evaluación Multicriterio agrupa el 68,3% en esta categoría.



Figura N° 33 Asentamiento humano precario Eben Ezer ubicado sobre la cota 100, sector Rodelillo. Fuente: Vuelo dron realizado el 17/12/2021.

7 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

7.1 Conclusiones.

La investigación realizada respecto de evaluar el riesgo de remoción en masa en la micro cuenca Cabritería de la comuna de Valparaíso mediante la aplicación de un modelo multicriterio y un modelo morfométrico, permitió enfrenar los resultados de ambos modelos para tener una mayor claridad respecto cómo impacta en el territorio y sus habitantes el fenómeno.

Para la determinación de la amenaza de remoción se han utilizado muchas metodología, en esta tesis no solo se ha centrado en determinar las tipología de los eventos de remoción, pero si en reconocer que es un problema que tiene antecedentes históricos en su desarrollo, motivado por condiciones físico-naturales que le son favorables, ligadas a procesos endógenos de construcción de las formas y procesos exógenos que las hacen evolucionar.

La modelación con la evaluación multicriterio permite conocer las áreas de amenaza a eventos de remociones en masas y proponer niveles de posibilidad de eventos y su afectación en la población, a través de la aplicación de variables tradicionales como son la pendiente topográfica, orientación de las laderas, litología y cobertura vegetal entre otras y que se emplean actualmente en las normativas específicas del nivel local en la que influye el criterio de expertos en sus determinación.

El modelo morfométrico realiza el análisis físico del territorio mediante un análisis cuantitativo de las características geométricas y topológicas del relieve, (altimetría, pendiente del terreno y densidad del drenaje) aplicando algoritmos de interpolación de datos, permitiendo evaluar la posibilidad de ocurrencia de eventos de remoción en el área de estudio.

La vulnerabilidad ha sido considerada como una variable netamente de tipo social con una serie de factores que convergen en una comunidad en particular donde sectores específicos de la sociedad presentan condiciones

particulares de vulnerabilidad y habitan espacios riesgosos para ellos y sus actividades (Bohorquez 2011) por lo que es una preocupación del nivel local y nacional facilitando la existencia de programas y planes que mantienen información de detalle actualizada para caracterizarla y que en el contexto de este estudio ha permitido seleccionar la información relevante para determinar el índice de vulnerabilidad social de la población y evaluar el riesgo ante amenaza de remoción.

Para evaluar el riesgo sobre la población se elaboró un modelo que actúo de criterio de las condiciones de vulnerabilidad social a las cuales se ve sometida la población comunal, para su elaboración se utilizaron datos provenientes del registro social de hogares, utilizando las unidades vecinales como escala de análisis.

Los datos empíricos que sustentan los análisis de ambos modelos provienen de una fuente oficial y actualizada del Instituto Nacional de Estadísticas (INE), de manera que se utilizaron datos del Censo de población y viviendas 2017 a su vez se utilizaron datos el registro social de hogares 2020 (RSH), los antecedentes utilizados fueron los rangos etarios de la población y cantidad de viviendas, permitiendo conocer el nivel de exposición a la amenaza y sensibilidad al riesgo de las personas con dependencia y cantidad de viviendas según exposición a la amenaza, elaborando tablas a las que se le aplicó una cuantificación de acuerdo al tono de color de las cartografías realizadas, se elaboraron gráficos que permiten un correcto uso de los registros para realizar los análisis correspondientes y la elaboración de cartografías respectivas.

El empleo del SIG resulto ser una herramienta útil en el desarrollo de la investigación y en la aplicación de los modelos de cálculo de eventos de remociones en masas, dado que el procedimiento se realiza de manera rápida, sin la necesidad de materiales de alto costo o difícil acceso y permitió estandarizar los modelos aplicados, basado en un criterio geográfico ajustado a

la norma urbana que se contrasto con un criterio matemático estadístico aplicado sobre las condiciones morfométricas del territorio.

En cuanto a las similitudes de los resultados de los modelos, si bien ambos concentran mayoritariamente la población en riesgo leve ha moderado su diferencia radica en la localización espacial del riesgo. El modelo multicriterio lo sitúa en áreas de meseta y baja pendiente, en tanto que el modelo morfométrico tiene mayor precisión en cuanto que lo sitúa en áreas de pendientes más elevadas, actuando como complemento del análisis tradicional utilizado en planificación urbana en los estudios fundados del riesgo de los Planes Reguladores Comunales.

Destacar que el modelo morfométrico ofrece un análisis a escala de detalle de precisión métrica a diferencia del modelo de evaluación multicriterio que por utilizar variables físicas de mayor superficie tales como litología y cobertura vegetal su escala es mayor, por lo que sus resultados pierden precisión de detalle a escala pequeña como la micro cuenca Cabritería, en esta misma línea mencionar que el modelo de evaluación multicriterio al utilizar variables que pueden variar temporalmente como la cobertura vegetal, que por las condiciones propias e históricas de la ciudad de Valparaíso puede verse afectada a cambios producto de incendios en el área de estudio, quedando suelos desprovistos de cobertura modificando la variable, por lo que se requeriría una actualización periódica del modelo de evaluación multicriterio, mientras que el modelo morfométrico por utilizar variables físico estadísticas no requiere una actualización constante.

En definitiva señalar que una de las potencialidades de la tesis fue contar con una amplia gama de opciones para elaborar ambos modelos, siendo muy importante la utilización de las curvas de nivel de 5 metros restituidas del vuelo del servicio aereofotogramétrico (SAF 2019) escala 1:5.000, ya que permitieron elaborar variables significativas a partir de la elaboración del modelo digital de

elevación (DEM de 5 metros de pixel), el cual fue la base digital para construir y desarrollar el modelo morfométrico y las variables de pendiente y orientación de laderas de la evaluación multicriterio, por consiguiente tiene un bajo costo el desarrollo y aplicación de ambos modelos.

7.2 Limitaciones del estudio.

Una de las limitantes de la investigación resultó de la incapacidad de contar con un mayor número de registros históricos de remociones en masa ocurridos en la micro cuenca Cabritería, sino más bien para el conjunto de la comuna de Valparaíso precisamente el área de estudio solo contabiliza dos registros históricos, de contar con un mayor número de registros hubiese significado un elemento más al análisis realizado y aportaría mayor grado de objetividad a los resultados ya que habría permitido contrastar la aplicación de los modelos y de sus áreas de amenaza y riesgo con los eventos efectivamente ocurridos.

La investigación no ha profundizado en las causas del desarrollo del evento de remoción, se ha centrado en reconocer y modelar las variables que favorecen las condiciones para que ocurran los eventos. La precipitación es uno de los principales factores desencadenantes y no se incluyó en los modelos por no contar con toda la información de las estaciones meteorológicas cercanas al área de estudio, ya que al ser un área acotada y considerando solo la precipitación las diferencias pluviométricas entre las zonas extremas serian mínimas y los umbrales de precipitaciones operarían para toda el área de estudio en las mismas cantidades, causando distorsión en los modelos de cálculo de eventos de remociones en masas. Por otra parte, la sismicidad también es reconocida como un factor desencadenante importante en el desarrollo de los eventos de remoción, al igual que la precipitación solo se cuenta con totalidad de daños en infraestructura, pérdidas económicas y fallecidos a nivel comunal, no

especificando a nivel de detalle georreferenciado sus consecuencias, por lo tanto no fue incluida en el tratamiento de las variables y de los análisis.

7.3 Recomendaciones

Dada la contingencia en que se encuentra hoy nuestra comuna, al realizar la actualización de uno de los más importantes instrumentos de planificación territorial, como el Plan Regulador Comunal, la Secretaria Comunal de Planificación (SECPLA) necesita disponer de información confiable y precisa. Con ello se abre la posibilidad de instalar y propiciar el análisis espacial, específicamente el de modelos de cálculo de eventos de remociones, a través de los Sistemas de Información Geográfica, como una herramienta fundamental en la prospección de datos geoespaciales que orienta la Planificación y el Ordenamiento del Territorio.

Desde los resultados surgidos del proceso de investigación se esbozan algunas recomendaciones a considerar para profundizar la comprensión de las amenazas territoriales y la evaluación del riesgo. Incorporando de manera efectiva el desglose del factor amenaza en los proceso de análisis de riesgo. La consideración diferenciada de los factores exposición y sensibilidad facilitan la clasificación de elementos socio-territoriales importantes para el diagnóstico y posterior diseño de políticas públicas, planes, programas y proyectos.

Incorporar a la sociedad civil en resultados de investigaciones y estudios facilitando con ello la apertura de la información hacia la comunidad procurando adecuar el lenguaje técnico para que la compresión sea amplia por parte de los ciudadanos aportando con la elaboración de un sistema de alerta temprana que en caso de un evento de lluvias intensas como posible factor desencadenante de remociones en masas tengan conocimiento de las áreas de mayor exposición de la población y donde se encuentra la población sensible menor de 14 años y mayores de 65 para tomar los resguardos necesarios pre y post evento.

Instalar señaléticas que identifiquen los lugares de posibles eventos de remociones en masas, para que el crecimiento urbano espontaneo no habite áreas de amenaza. Junto con esta indicación considerar el modelo de cálculo morfométrico en los diagnósticos sectorizados de evaluación del riesgo.

Como aporte e innovación digital se crearon dos aplicaciones que a través de un link y código Qr puede ser desplegado desde un teléfono móvil o algún aparato con acceso a internet entrega a la comunidad información respecto de la sensibilidad al riesgo en la cual se encuentra dentro del área de estudio.

7.3.1 Código Qr y Link áreas de riesgo remociones en masa.

Sitio web



https://munivalpo.maps.arcgis.com/apps/instant/lookup/index.html?appid=5182b877b55241849d214f99daa8b3fc

7.3.2 Código Qr y Link áreas de riesgo remociones en masa.

Sitio web



https://munivalpo.maps.arcgis.com/apps/instant/nearby/index.html?appid=95670ee72a1240be91ba7b0a705d09f4

7.4 Bibliografía.

Baquedano, F. Leyton, F. Sepúlveda, S (2012) Frecuencia predominante de los suelos de Valparaíso – Viña del Mar y propuesta de microzonificación preliminar. (2012). VII Congreso Chileno de Geotecnia**.**

Barrales, K (2017). Vulnerabilidad socio natural en cerros y quebradas de Valparaíso: Decisiones de políticas públicas a propósito del gran incendio del 2014. Tesis para optar al magister en gestión y políticas públicas. Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas. Departamento de Ingeniería Industrial.

Barrantes y Quesada (2016) Método morfométrico para la determinación de susceptibilidad a procesos de ladera (deslizamientos): Caso terremoto de Cinchona, Universidad Nacional de Costa Rica. Costa Rica.

Barrantes, B, Quesada, A (2017) Modelo morfométrico para determinar áreas susceptibles a procesos de laderas, Investigaciones Geográficas, Instituto de Geografía. UNAM. México.

Billi, M Rauld, J Álamos, N Amigo, C Calvo, R Neira, C Urquiza, A (2021) Marco analítico integrado y propuesta de índice para la resiliencia urbana al clima. Documento de trabajo NEST-R3 N°1. Santiago, Chile.

BOHORQUEZ, J (2011) Desarrollo y gestión social del riesgo ¿Una contradicción histórica? Revista Geográfica Norte Gd.no.48. Santiago

CIREN (2013). Castro Bosque Nativo.

Centro de Documentación del Instituto de la Vivienda, Versión web en su Definición del Asentamiento Precario.

Centro Internacional para la Investigación del Fenómeno del Niño, Versión web en su Definición del Riesgo, http://www.ciifen.org/.

Constitución Política de la República de Chile (2005), Ministerio de Secretaría General de la Presidencia. Biblioteca del Congreso Nacional de Chile, Última versión de 11 marzo 2022 Ley 21.432.

DIPECHO (2011-2012) Análisis de riesgo de desastres en Chile. VII Plan de acción DIPECHO en Sudamérica 2011-2012. Dirección General de Ayuda Humanitaria y Protección Civil de la Comisión Europea (DG ECHO)

Delgado, S (2011) Los eventos hidrometeorológicos del siglo xx y sus efectos sobre la ciudad de Valparaíso. Una expansión urbana con consecuencias. Universidad de Playa Ancha, San Felipe. Chile.

Diario Oficial (2017) Diario Oficial de la República de Chile, Ministerio del Interior y Seguridad Nacional. Publicación jueves 27 de Julio 2017.

Diario Oficial (2018) Diario Oficial de la República de Chile, Ministerio del Interior y Seguridad Nacional. Publicación viernes 27 de Julio 2018.

Estay, F. (2015) Análisis del incendio del 12 y 13 de Abril de 2016 en la comuna de Valparaíso. Identificación de áreas susceptibles a procesos de remociones en masa. Tesis para optar al título de geógrafo, Universidad de Playa ancha, Valparaíso, Chile.

Foco (2015) Diseño del Plan Modificación Plan Regulador

Estudio Básico "Diagnóstico para Micro proyectos de Riego en Regiones IV y V"

Estudio Fundado de Riesgos (2012) Etapa IV: Diseño del Plan Modificación Plan Regulador Comunal Valparaíso. FOCO Consultores.

Gajardo, R (1994) La vegetación natural de Chile. Clasificación y distribución geográfica. Editorial Universitaria. Santiago, Chile.

Gil, M (2017). La reconstrucción del valor urbano de Valparaíso luego del terremoto de 1906. ARQ Santiago, Chile.

Gómez, M Barredo, J (2006) Sistemas de información geográfica y evaluación multicriterio en la ordenación del territorio 2da edición. Ed. Ra-Ma. Madrid, España.

González, C (2005) Estudio áreas de riesgo geomorfológico de la zona urbana y de expansión de la comuna de San Antonio, región de Valparaíso. Memoria para optar al título de geógrafo. Universidad de Chile Facultad de Arquitectura y Urbanismo Escuela de Geografía.

Guía Análisis de Riesgos Naturales para el Ordenamiento Territorial (2011) Subsecretaría de Desarrollo Regional y Administrativo (SUBDERE) primera edición.

Gutiérrez, C (2016) Parque Cabritería "La quebrada como espacio recreativo" Memoria para optar al título de Arquitecto. Universidad de Chile. Facultad de Arquitectura y Urbanismo.

Hauser, A (1993) Remociones en Masa en Chile. Servicio Nacional de Geología y Minería, Boletín 45, Santiago de Chile.

Hernández, J Galleguillos, M Estades, C (2016). Mapa de cobertura de usos de suelos de Chile 2014.

INE (2015). Definición de Manzana Censal (Juan Pradenas Gaete). Departamento de Geografía, Serie Boletines N° 2.

IPCC, 2014: Cambio climático 2014: Impactos, adaptación y vulnerabilidad – Resumen para responsables de políticas. Contribución del Grupo de trabajo II al Quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático [Field, C.B., V.R. Barros, D.J. Dokken, K.J. Mach, M.D. Mastrandrea, T.E. Bilir, M. Chatterjee, K.L. Ebi, Y.O. Estrada, R.C. Genova, B. Girma, E.S. Kissel, A.N. Levy, S. MacCracken, P.R. Mastrandrea y L.L. White (eds.)]. Organización Meteorológica Mundial, Ginebra, Suiza, 34 págs.

Ley General de Urbanismo y Construcciones (2022) Ministerio de Vivienda y Urbanismo. Biblioteca del Congreso Nacional de Chile.

Linneth, M (2015) Análisis de sensibilidad de proyecciones de población. Papeles de Población, ARGOTE-CUSI 2015). 21(84) 45-67. [Fecha de Consulta 13 de Diciembre de 2021]. ISSN: 1405-7425. Disponible en: https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=11239488003.

Luebert, F Pliscoff, P (2012). Variabilidad climática y bioclimas de la Región de Valparaíso, Chile. Investigaciones Geográficas. 10.5354/0719-5370.2012.26408.

Lugo, A (2011) Diccionario Geomorfológico, UNAM, Instituto de Geografía, México.

Madariaga (1998) Sismicidad de Chile, Départamente de Sismologie, Université Denis Diderot de Paris 7, France.

Ministerio de Agricultura (2017) Estudio básico Diagnóstico para micro proyectos de riego en Regiones IV y V, informe final. Comisión Nacional de Riego.

Navarro, A (2018) Entre el patio trasero y antejardín: Rehabitar la quebrada Cabritería desde la participación ciudadana. Desafíos iniciales. Tesis para optar al grado de magíster en arquitectura y diseño, mención ciudad y territorio. Pontificia Universidad Católica de Valparaíso. Chile.

OLCINA, J (2006) Maestría en ordenación y desarrollo territorial: riesgos naturales y tecnológicos y ordenación del territorio. Universidad de Alicante.

ONEMI 2017. Plan específico de emergencia por variable de riesgo Remoción en Masa. Oficina Nacional de Emergencia del Ministerio el Interior y Seguridad Pública. Gobierno de Chile.

ONEMI 2020 Política Nacional para la reducción del riesgo de desastres, Plan estratégico Nacional 2020-2030, Ministerio del Interior y Seguridad Pública, Gobierno de Chile.

Opazo, L (2016). Las relaciones entre patrones de asentamiento, formas de poblamiento y dinámicas culturales-habitacionales, como indicadores de impacto de políticas públicas urbanas en la cohesión territorial, en el caso de Valparaíso". Tesis Magister en Gestión de Proyectos Urbano Regionales, Universidad Viña del Mar.

Ordenanza General de la Ley General de Urbanismo y Construcciones (2022) Ministerio de Vivienda y Urbanismo. Biblioteca del Congreso Nacional de Chile.

Palacios, A (2016) Fuentes para la historia sísmica de Chile (1570-1906). Estudio preliminar, selección, transcripción y notas. Dirección de Bibliotecas, Archivos y Museos. Inscripción Nº 271.946.

PLISCOFF, P (2002) Climatología de La Campana. In: Elórtegui, S. & A. Moreira-Muñoz (Eds.), Parque Nacional La Campana. Origen de una Reserva de la Biosfera en Chile Central. Taller La Era -Fondo de las Américas, Santiago: 22 - 26.

PLADECO 2019-2030 (2019) “Creamos Valparaíso para el siglo XXI”, Municipalidad de Valparaíso. Pág. 256.

Plan de acción Nacional de cambio Climático 2017-2022 Coordinación del documento, División e Cambio Climático del Ministerio del Medio Ambiente. Gobierno de Chile.

Plan Maestro para la Gestión del Riesgo de Incendio Valparaíso (2018), Memoria Técnica. Ilustre Municipalidad de Valparaíso.

Plan Regulador Comunal de Valparaíso (2010), Ordenanza Local Refundida.

Plan Regulador Metropolitano de Valparaíso (2013) SEREMI MINVU Región de Valparaíso.

PNUD (2014). Programa de la Naciones Unidas para el Desarrollo. Plan de recuperación post-desastre y transición al desarrollo de la comuna de Valparaíso.

Política Nacional para la reducción del riesgo de desastres, Plan estratégico Nacional 2020-2030 (2020). ONEMI, Ministerio del Interior y Seguridad Pública, Gobierno de Chile.

Registro Social de Hogares (2020). Ministerio de Desarrollo Social y Familia.

Rodríguez, P (1993). "Proposición de una definición profunda de SIG". Actas del 2º Congreso de la Asociación Española de Sistemas de Información Geográfica (AESIG), pp. 127-142 Madrid, España.

Ruiz, V Munizaga, J Salazar, A (2017). Plantaciones forestales y su extensión hacia áreas urbanas en el área metropolitana de Valparaíso y su relación con el aumento de incendios forestales. Revista Investigaciones Geográficas. 54. 23-40. 10.5354/0719-5370.2017.48040.

Sánchez, A Bosque, J Jiménez, V (2009). Valparaíso: su geografía, su historia y su identidad como Patrimonio de la Humanidad. Estudios Geográficos. LXX. 269-293. 10.3989/estgeogr.0445.

Sarricolea, P Herrera, O Meseguer-Ruiz (2017). Climatic regionalization of continental Chile. Journal of Maps 13(2)66-73

SERNAGEOMIN (2003). Mapa Geológico de Chile: versión digital. Servicio Nacional de Geología y Minería, Publicación Geológica Digital, No. 4 (CD-ROM, versión1.0, 2003). Santiago.

SERNAGEOMIN (2004), Geología para el Ordenamiento Territorial de la Región de Valparaíso. Servicio Nacional de Geología y Minería. Informe Registrado IR-04-23. 49 p., 2 mapas escala 1:25.000.

Resultados censo 2017 disponible en http://resultados.censo2017.cl/Region?R=R05

Tapia, P (2017) "Conceptos de Cobertura y Extensión de Uso, como herramientas de evaluación de impacto en la calidad de vida de sectores

vulnerables a través de la localización de infraestructura educacional Preescolar: El caso de la Comuna de Valparaíso." Tesis para optar al grado de Magister En Gestión de Proyectos Urbano Regionales. Universidad de Viña del Mar, Chile.

Tarbuck, E Lutgens, F Tasa, D (2005) Ciencias de la Tierra. Pearson Educación S.A. Madrid.

UNESCO 2012. Análisis de riesgos de desastres en Chile 2012.VII Plan de acción Dipecho en Sudamérica 2011-2012.

UNISDR, 2009. Estrategia Internacional para la Reducción de Desastres de las Naciones Unidas.

Vásquez, F (2018). Evaluación de la susceptibilidad de remociones en masa en las laderas del fiordo Comau, región de los lagos, Chile. Memoria para optar al título de geógrafa. Universidad de chile Facultad de Arquitectura y Urbanismo Escuela de Pregrado Carrera de Geografía.

Yamin, L (2013). Modelación probabilística para la gestión del riesgo de desastre. El caso de Bogotá. Colombia.

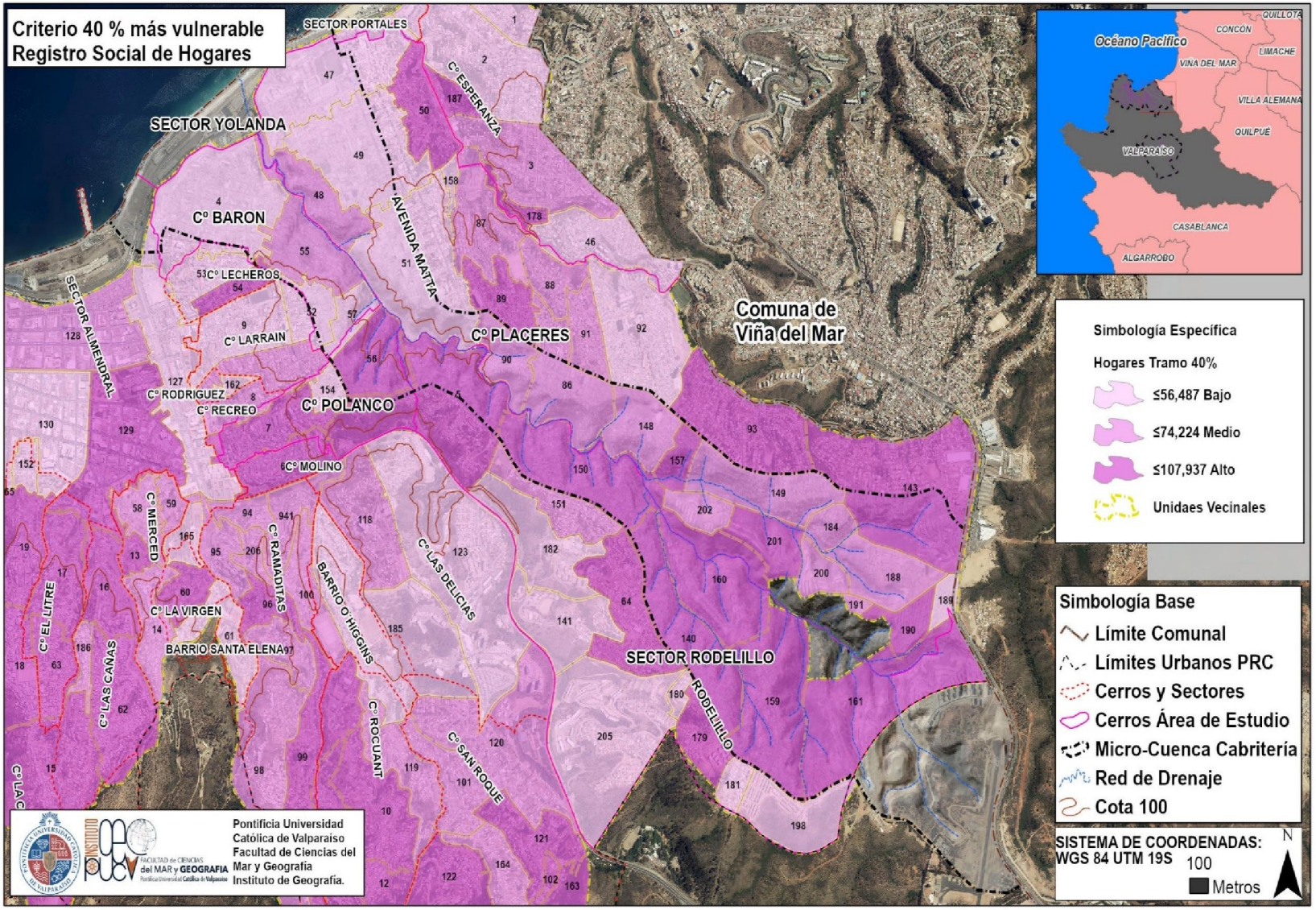
7.5 Referencias electrónicas.

https://www.doi.org/ .17605/OSF.IO/VUA4G

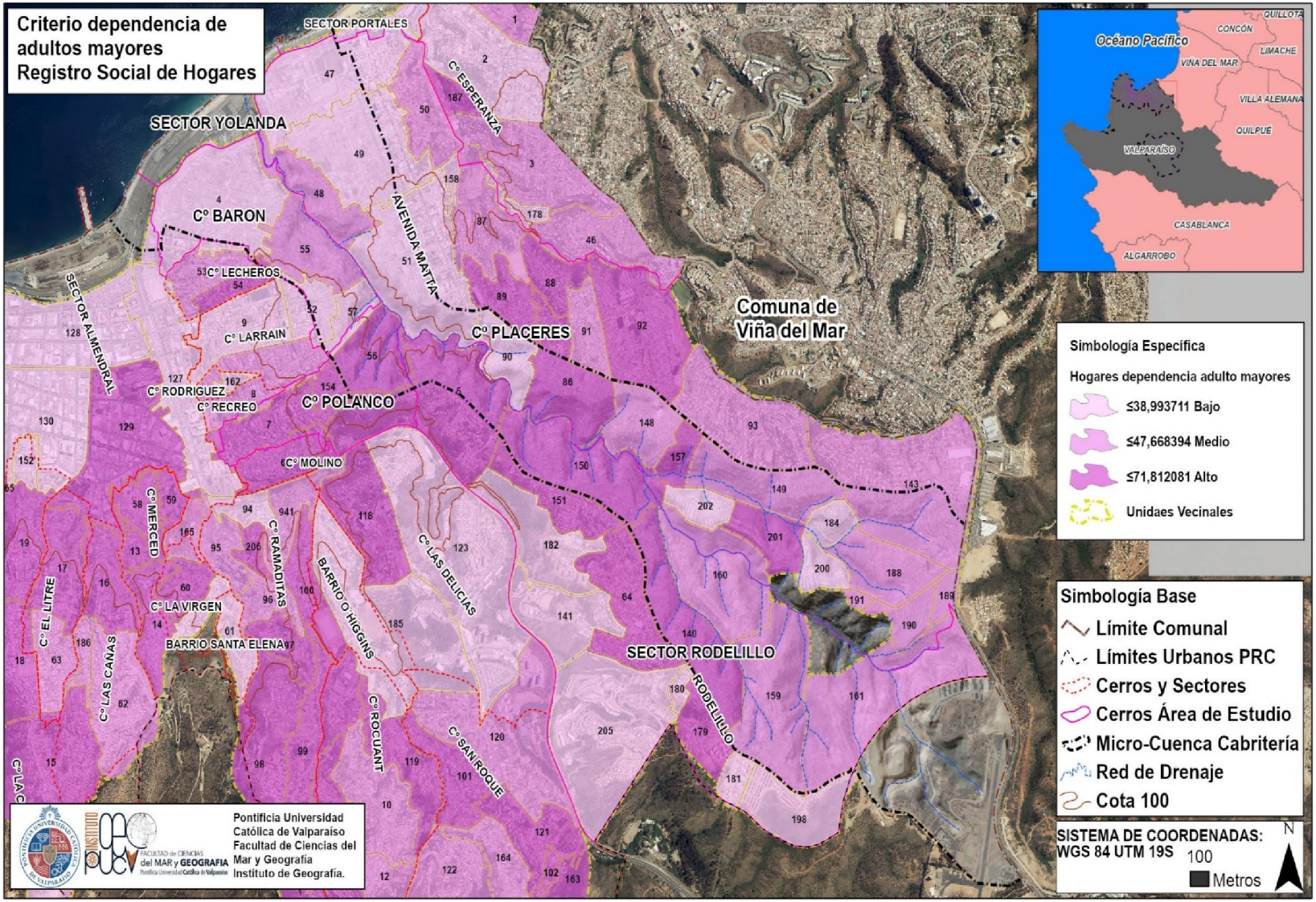
https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=11239488003

https://www.significados.com/empirico/ Consultado: 15 de diciembre de 2021

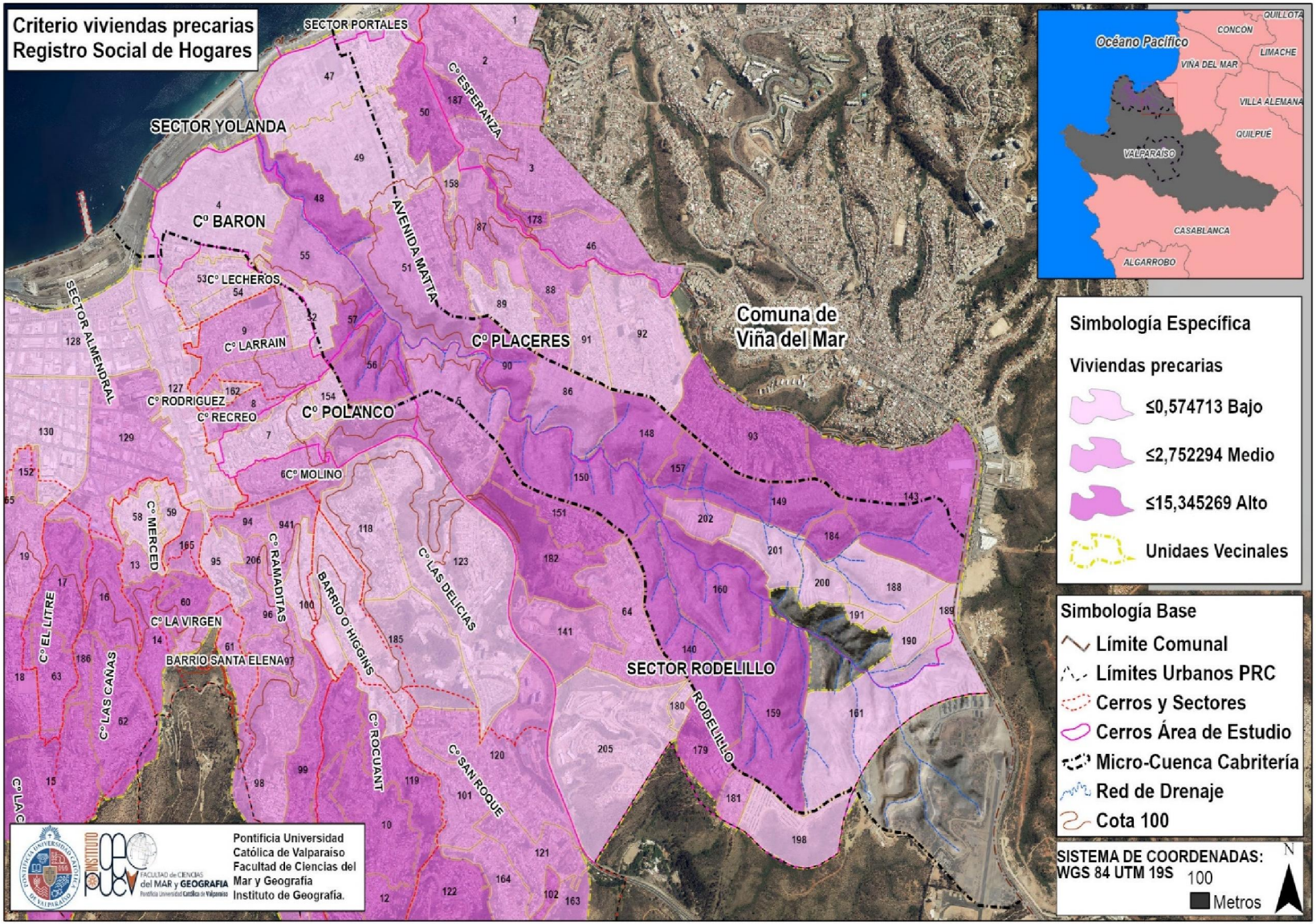
8 ANEXOS



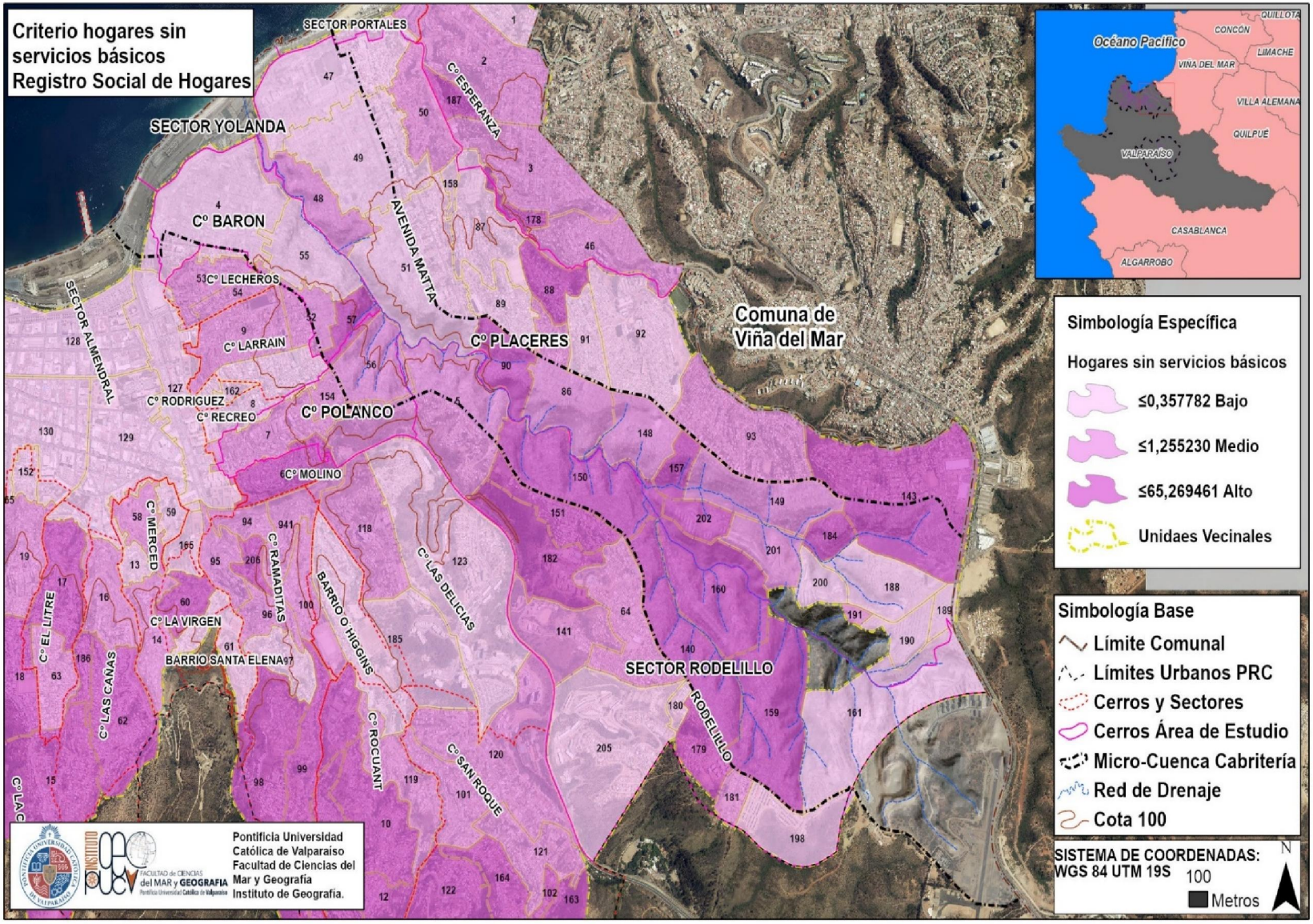
Anexo N°1 Hogares Tramo 40%. Fuente: Registro social de hogares 2020.



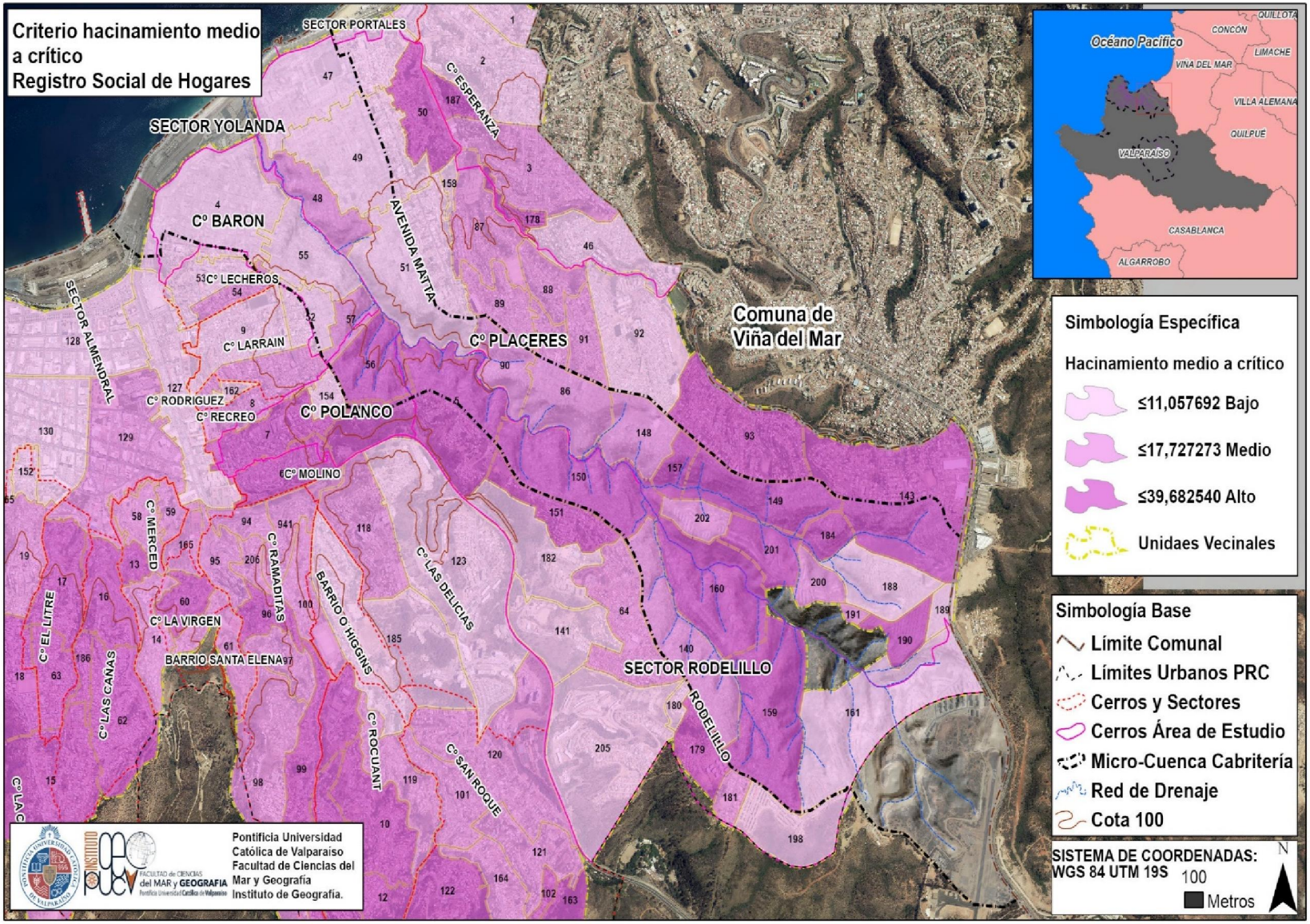
Anexo N°2 Hogares con situaciones de dependencia y/o adultos mayores. Fuente: Registro social de hogares 2020.



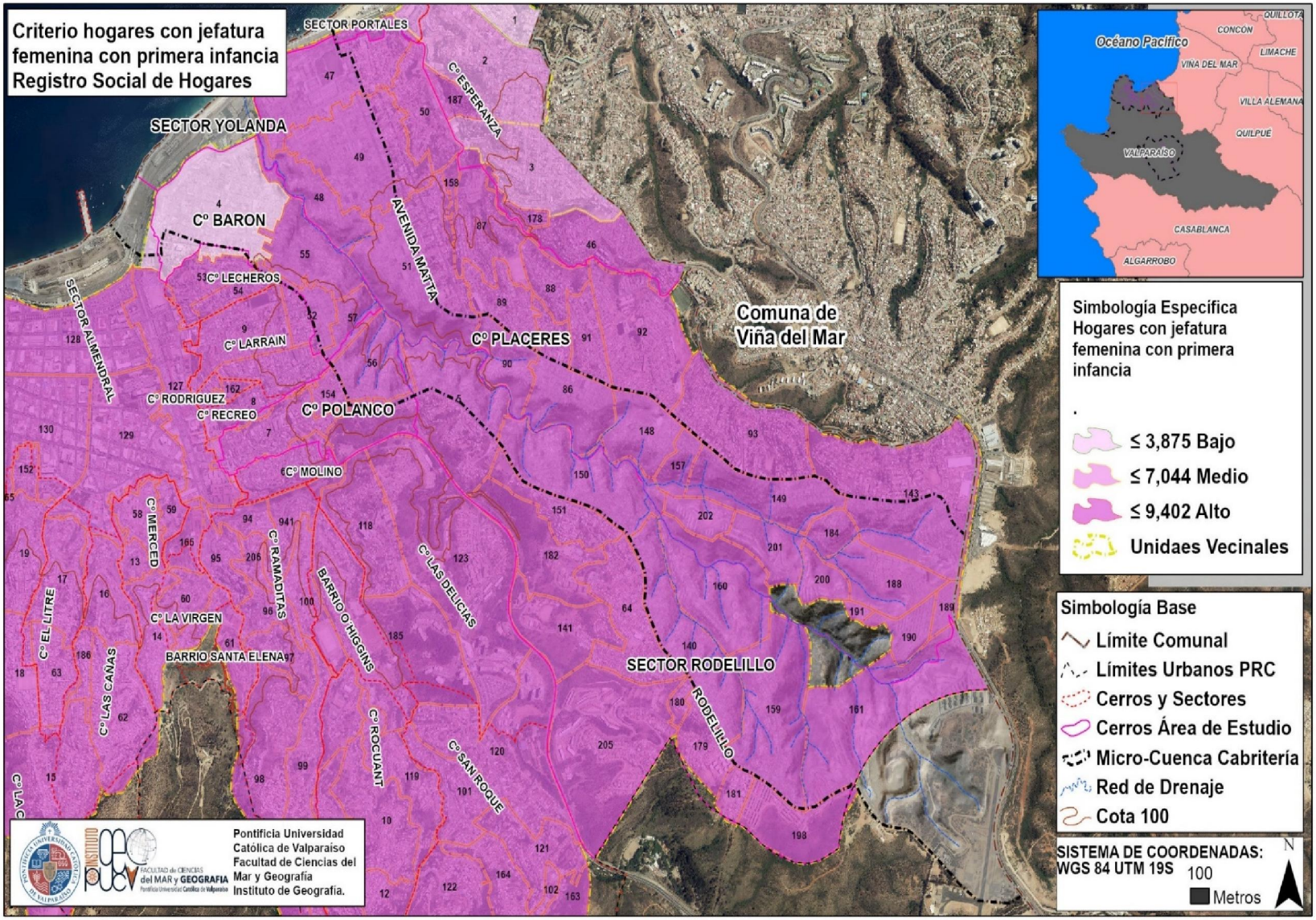
Anexo N° 3 Estado de la vivienda (viviendas precarias) Fuente: Registro social de hogares 2020.



Anexo N° 4 Hogares sin servicios básicos. Fuente: Registro social de hogares 2020.



Anexo N° 5 Hacinamiento medio a crítico. Fuente: Registro social de hogares 2020.



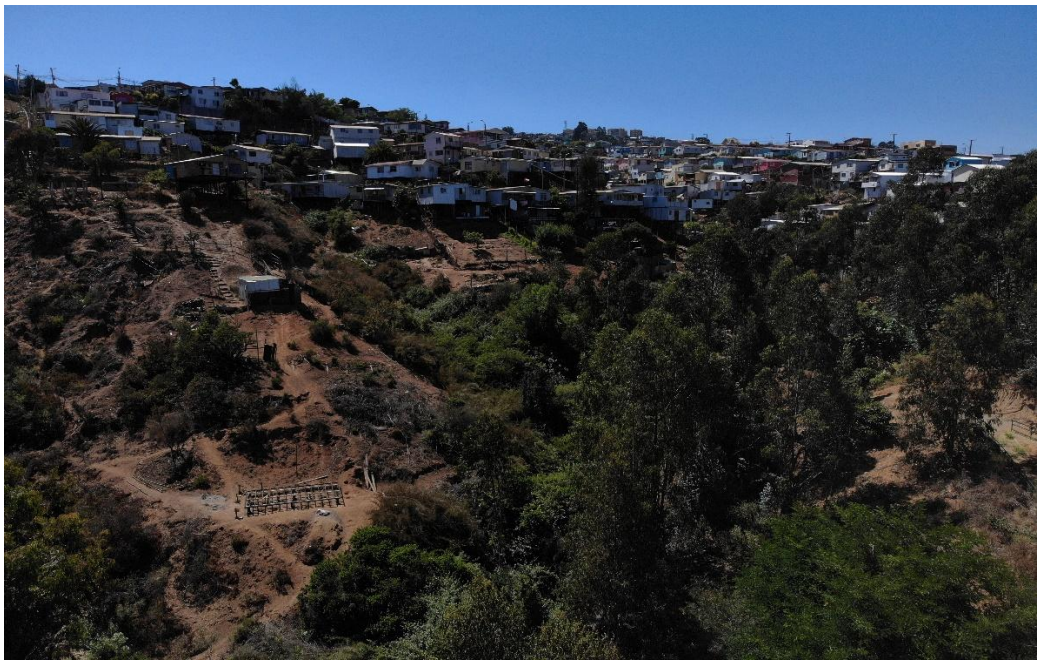
Anexo N° 6 Hogares con jefatura femenina con primera infancia. Fuente: Registro social de hogares 2020.



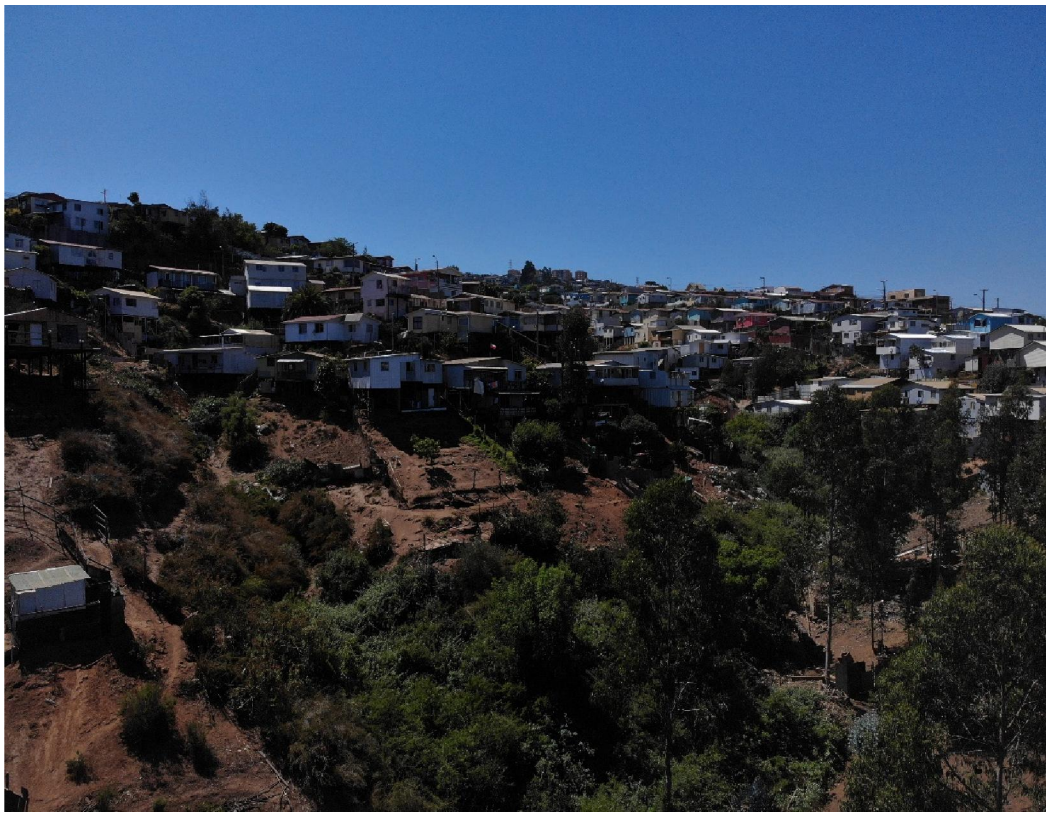
Anexo N°7 Fotografía DJI_0001. Fuente: Fotografía propia tomada el 17/12/2021.



Anexo N°8 Fotografía DJI_0003. Fuente: Fotografía propia tomada el 17/12/2021.



Anexo N°9 Fotografía DJI_0005. Fuente: Fotografía propia tomada el 17/12/2021.



Anexo N°10 Fotografía DJI_0007. Fuente: Fotografía propia tomada el 17/12/2021.



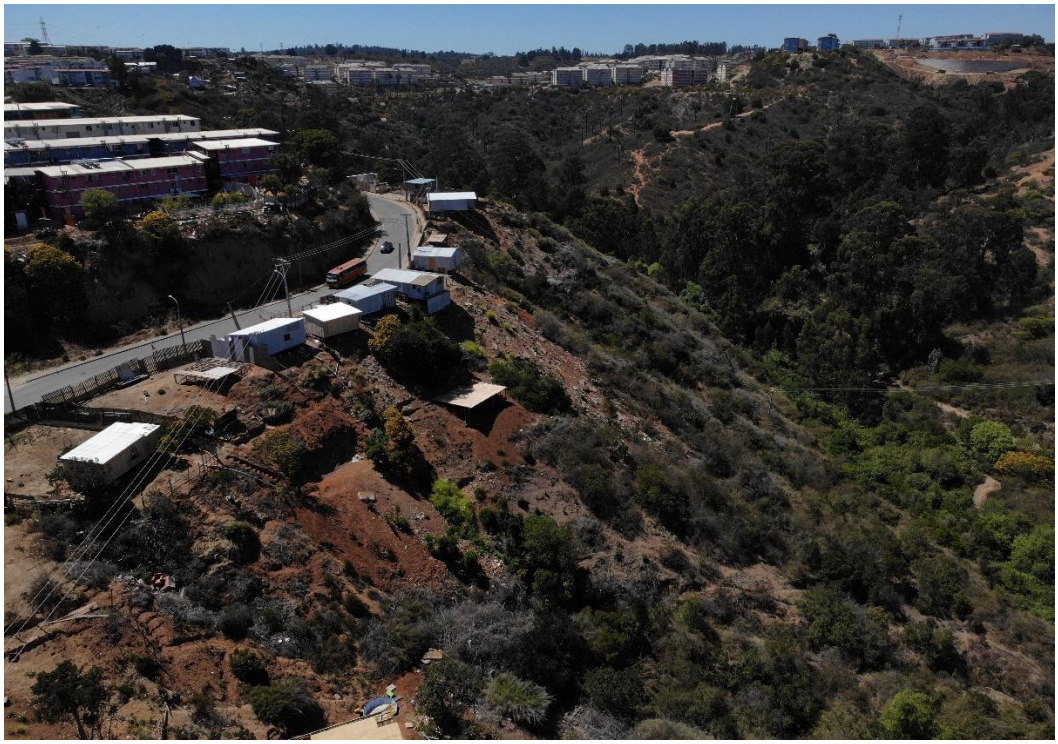
Anexo N°11 Fotografía DJI_0009. Fuente: Fotografía propia tomada el 17/12/2021.



Anexo N°12 Fotografía DJI_0021. Fuente: Fotografía propia tomada el 17/12/2021.



Anexo N°13 Fotografía DJI_0025. Fuente: Fotografía propia tomada el 17/12/2021.



Anexo N°14 Fotografía DJI_0027. Fuente: Fotografía propia tomada el 17/12/2021.



Anexo N°15 Fotografía DJI_0029. Fuente: Fotografía propia tomada el 17/12/2021.



Anexo N°16 Fotografía DJI_0031. Fuente: Fotografía propia tomada el 17/12/2021.



Anexo N°17 Fotografía DJI_0033. Fuente: Fotografía propia tomada el 17/12/2021.



Anexo N°18 Fotografía DJI_0035. Fuente: Fotografía propia tomada el 17/12/2021.



Anexo N°19 Fotografía DJI_0037. Fuente: Fotografía propia tomada el 17/12/2021.



Anexo N°20 Fotografía DJI_0051. Fuente: Fotografía propia tomada el 17/12/2021.



Anexo N°21 Fotografía DJI_0053. Fuente: Fotografía propia tomada el 17/12/2021.



Anexo N°22 Fotografía DJI_0055. Fuente: Fotografía propia tomada el 17/12/2021.



Anexo N°23 Fotografía DJI_0049. Fuente: Fotografía propia tomada el 17/12/2021.