



ANEXO 1

ESTUDIO FUNDADO DE RIESGOS

SEREMI MINVU REGIÓN DE VALPARAÍSO
JUNIO 2013



ESTUDIO FUNDADO DE RIESGOS

PLAN REGULADOR METROPOLITANO DE VALPARAÍSO

Humerez, A. & Balboa, A.

2012



INDICE DE CONTENIDOS

| | | |
|-----------|--|----|
| I | INTRODUCCIÓN | 3 |
| 1.1 | OBJETIVOS | 3 |
| 1.1.1 | Objetivo General | 3 |
| 1.1.2 | Objetivos Específicos | 3 |
| 1.2 | METODOLOGIA | 3 |
| 1.3 | ANTECEDENTES GENERALES Y CONCEPTUALES | 4 |
| 1.4 | ANÁLISIS CONCEPTUAL Y ALCANCES DEL ESTUDIO | 5 |
| II | ANTECEDENTES REGIONALES | 5 |
| 2.1 | Marco Geodinámico y estructural | 5 |
| 2.2 | Marco Geológico Regional | 7 |
| 2.3 | Marco Geomorfológico | 9 |
| III | FENÓMENOS DE ORIGEN NATURAL: | 22 |
| | RECONOCIMIENTO DE PROCESOS ENDÓGENOS Y EXÓGENOS | |
| 3.1 | PROCESOS ENDÓGENOS: Volcanismo, Sismicidad y tsunamis. | 22 |
| 3.2 | PROCESOS EXÓGENOS | 26 |
| 3.2.1 | Marco de Referencial general sobre remoción en masa e inundación | 26 |
| 3.2.2 | MARCO DE REFERENCIA ESPECÍFICO DE REMOCIÓN EN MASA: | 30 |
| | Variables de análisis, discusión bibliográfica y criterios de zonificación. | |
| 3.2.2.1 | Pendiente: Factor condicionante | 30 |
| 3.2.2.2 | Exposición de laderas: Factor condicionante pasivo | 32 |
| 3.2.2.3 | Vegetación: Factor condicionante pasivo | 32 |
| 3.2.2.4 | Agua: Factor desencadenante | 33 |
| 3.2.2.5 | Registros históricos en el Área Intercomunal | 34 |
| 3.2.2.6 | Criterios de análisis para la zonificación de Área de Riesgo por remoción en masa | 35 |
| 3.2.2.7 | Conclusiones y Recomendaciones | 39 |
| 3.2.2.8 | Bibliografía y referencias | 40 |
| 3.2.3 | AREA DE RIESGO DE INUNDACION POR CAUCES (AR -1) | 42 |
| 3.2.3.1 | Introducción | 42 |
| 3.2.3.2 | Antecedentes y análisis | 43 |
| 3.2.3.2.1 | Análisis Conceptual General de Modelos Hidráulicos | 43 |
| 3.2.3.2.2 | Metodología estimación aumento escorrentía superficial por procesos de urbanización | 45 |
| 3.2.3.2.3 | Análisis de los Planes Maestros de Aguas lluvias - DOH - MOP | 48 |
| 3.2.3.2.4 | Análisis de antecedentes Sector Norte entre Rio Aconcagua y Estero Campiche (límite Norte PREMVAL) | 52 |
| 3.2.3.3 | Propuesta del Plan y aplicación | 62 |
| 3.2.3.4 | Conclusiones, recomendaciones y proposiciones complementarias técnicas. | 64 |
| ANEXO: | PLANO ÁREA DE RIESGOS POR INUNDACIÓN POR CAUCES | |

HOJA
RECTIFICADA





Andrea Humerez Anacona

Geógrafo Pontificia Universidad Católica de Valparaíso,
Magíster (c) en Geomática, Facultad de Ingeniería Geográfica
Universidad de Santiago de Chile



I.- INTRODUCCIÓN

El presente estudio es parte del Plan Regulador Metropolitano de Valparaíso, y entrega los contenidos que sirvieron de soporte para la definición de Áreas de Riesgo del Plan, mediante el análisis de variables principalmente físico – geográfico, para culminar con la elaboración de mapas de susceptibilidad de los riesgos detectados y factibles de ser representados gráficamente en escala 1:50.000.

Es importante destacar que el área intercomunal en estudio está compuesta por las comunas de Valparaíso, Viña del Mar, Concón, Quilpué, Villa Alemana, Casablanca, Quintero y Sector Sur de Puchuncaví que unidas abarcan una superficie total de 247.310 ha.

1.1.- OBJETIVOS

1.1.1.- Objetivo general:

- Establecer las áreas de riesgo del Plan Regulador Metropolitano de Valparaíso.

1.1.2.- Objetivos Específicos:

1. Definir el marco geológico y geomorfológico del área de estudio.
2. Analizar las variables que pueden influir en la generación del potencial riesgo de remoción en masa
3. Analizar las variables que pueden influir en la generación del potencial riesgo de inundación por desborde de cauces y/o proximidad de cuerpos de agua.
4. Elaborar un mapa de áreas de riesgos potenciales a escala 1:50.000.

1.2.- METODOLOGÍA:

La metodología de trabajo está orientada a dar cumplimiento al Objetivo General del estudio y, por ende, a cada uno de sus objetivos específicos.

Para ello, se trabajó en dos líneas metodológicas:

La primera de ellas consistió en la revisión de bibliografía existente, tanto en términos generales, como aquella en que se ha estudiado de forma específica el área intercomunal. Sobre esta información, se realizó un análisis teórico preliminar de las variables que influyen en la determinación de áreas susceptibles de ser afectadas por un fenómeno natural.

La segunda línea de trabajo, de tipo experimental, consiste en la jerarquización y ponderación de variables, que decantan en una evaluación multicriterio. Esta evaluación es el resultado del análisis y discusión bibliográfica, el que posteriormente, es llevado a un Sistema de Información Geográfica, que mediante ecuaciones preestablecidas permiten la modelación de la temática en estudio. El Software y aplicaciones utilizadas corresponden al Software ArcGis 10.

Finalmente, se elaboraron los mapas de riesgos a escala 1:50.000 según formato del Plan Regulador Metropolitano de Valparaíso, mediante software ArcView 3.2.

En el estudio no se analizó la vulnerabilidad (consideraciones socio-económicas) ni grado de amenaza (Tr) de los fenómenos en estudio, si no que se trabajó bajo el concepto de susceptibilidad; es decir, el análisis de la sumatoria de factores que inciden en la ocurrencia de un fenómeno natural y la jerarquización de ellos.



1.3.- ANTECEDENTES GENERALES Y CONCEPTUALES

De acuerdo al Artículo 2.1.17 de la Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones, los Planes Reguladores, ya sea de escala Comunal como Intercomunal, deben contar con un Estudio Fundado de Riesgos, que de cuenta de las limitaciones al uso del territorio con fines destinados al Desarrollo Urbano.

Las áreas de riesgo, por su parte, son definidas por el citado cuerpo legal, como *"...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 de la incorporación de obras de ingeniería u otra índole para subsanar o mitigar tales efectos..."*

Las áreas de riesgo, se determinan en base a las siguientes características del territorio:

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.

Ahora bien, respecto del marco de referencia del denominado "Estudio Fundado de Riesgos", cabe destacar que numerosos son los conceptos que se asocian a la generación de fenómenos naturales como *"riesgos", "amenazas", "peligro" y "vulnerabilidad"*; no obstante, éstos no necesariamente constituyen sinónimos entre sí.

SERNAGEOMÍN, en su Informe (Registro IR-04-23) *"Geología para el Ordenamiento Territorial de la Región de Valparaíso"*, define los conceptos mencionados de la siguiente manera:

"Susceptibilidad: Puede definirse como la posibilidad de que una zona esté afectada por un determinado proceso, expresada en diversos grados cualitativos y relativos. Depende los factores que controlan o condicionan la ocurrencia de los procesos, que pueden ser intrínsecos a los propios materiales geológicos o externos (González de Vallejo et al., 2002). En este sentido, la susceptibilidad de un fenómeno se estima considerando el inventario de los fenómenos registrados y la superposición de los factores condicionantes de ellos. Es decir, no considera la variable temporal ni corresponde al cálculo de probabilidad de ocurrencia, si no que, estima la existencia de una sumatoria de factores favorables a la generación del fenómeno.

***Peligro (P) o amenaza (A):** Se define como la probabilidad de ocurrencia de un proceso de un nivel de intensidad o severidad determinado, dentro de un período de tiempo dado y dentro de un área específica (Varnes, 1984; Barbat, 1998). La probabilidad de ocurrencia puede ser estimada, según los datos disponibles, tanto cuantitativa como cualitativamente.*

***Riesgo y Vulnerabilidad:** Este concepto incorpora consideraciones socio-económicas, y se define como las pérdidas potenciales debido a un fenómeno natural determinado (vidas humanas, pérdidas económicas directas e indirectas, daños a edificios o estructuras, etc) (González de Vallejo et al., 2002). Se expresa como el producto entre la probabilidad de ocurrencia del fenómeno (peligro o amenaza) y la vulnerabilidad, es decir, $R = P(o A) * V$, donde la vulnerabilidad (V) es el grado de daños o pérdidas potenciales en un elemento o conjunto de elementos como consecuencia de la ocurrencia de un fenómeno de intensidad determinada (González de Vallejo et al., 2002)".*



1.4.- ANÁLISIS CONCEPTUAL Y ALCANCES DEL ESTUDIO:

De los conceptos definidos por SERNAGEOMIN, se desprende que un estudio de Riesgos, en su esencia, correspondería al aquel que da cuenta del resultado entre la probabilidad de ocurrencia de un fenómeno y la vulnerabilidad, como consecuencia de un fenómeno determinado.

No obstante, este concepto no se ajusta en la práctica al espíritu del Artículo 2.1.17 de la OGUC, debido a que los Planes Reguladores, deben definir y planificar el crecimiento de las ciudades para un horizonte de 15 y/o 30 años, sin perjuicio que durante el período en el cual se realiza el estudio no exista población o edificación alguna. Esta premisa, implica que para el caso de la planificación urbana, muchas veces no es aplicable el concepto de vulnerabilidad, reduciendo con ello el riesgo a cero; situación teóricamente correcta, pero que no se condice con el espíritu del legislador, cuyo fin último, es resguardar a la población y sus edificaciones de los efectos de algún fenómeno destructivo.

En términos prácticos, al aplicar la ecuación $R = P(o A) * V$, cuando $V = 0$, el producto es cero y por lo tanto no existiría riesgo.

En el escenario expuesto, el presente Estudio no considera la vulnerabilidad como variable de análisis, ni realiza cálculos de tasas de retorno (Tr); se centra en referencias bibliográficas y antecedentes históricos de documentación existente y análisis de factores condicionantes y desencadenantes de procesos gravitaciones ligados a la teoría geológica clásica, que permitan determinar las áreas susceptibles de verse afectadas por algún fenómeno natural.

Las limitaciones del Estudio se encuentran principalmente asociadas a la escala del Plan y a la generalidad de la superficie que abarca; es decir, la escala de representación gráfica 1:50.000 y curvas de nivel cada 25 metros, impiden la aplicación de herramientas y tecnología de detalle para reparar en las particularidades territoriales y establecer áreas de riesgo de manera gradual.

II.- ANTECEDENTES REGIONALES

2.1.- Marco Geodinámico y Estructural

Contexto Morfogénético:

El Diagnóstico Ambiental de la Modificación al Plan Regulador Metropolitano de Valparaíso en su área metropolitana y satélite Quintero – Puchuncaví¹, señala que la mayoría de las geoformas de la Región son heredadas y presentan una notoria imposición tectónica, afirmando que estas formas, han sido modeladas durante años por la acción de agentes subaéreos y marinos que evidencian la acción morfodinámica de paleoclimas más húmedos y cálidos que el actual, siendo ejemplo de ello, los campos dunarios pleistocenos de Concón (Castro, C. y B. Andrade, 1987) y los suelos ferruginosos de las planicies litorales de toda el área

El estudio mencionado, argumenta que el clima mediterráneo transicional, propio de la Región de Valparaíso, es efectivo para el modelamiento de vertientes en el período húmedo, y para la alimentación de playas y campos dunarios asociados en el período seco. Respecto del viento, se señala que predomina el SW durante el período septiembre - marzo, y alcanza una velocidad superior a 4,5 m/seg; velocidad que los hace eficaces para el transporte de arenas.

La acción oceanodinámica, por su parte y de acuerdo a l mismo estudio, se manifiesta en una eficaz deriva litoral que desplaza sedimentos de sur a norte en el periodo estival. En invierno, las marejadas son frecuentes y constituyen un importante agente morfodinámico en la evolución de acantilados y playas rocosas.

¹ Elaborado por la Corporación Chile Ambiente, el año 2005



Marco estructural:

La Región de Valparaíso, ubicada dentro de la Zona Central de Chile, corresponde a una regiones de mayor sismicidad en el mundo, debido a que se emplaza en la zona de interacción de las placas de Nazca y Sudamericana, la cual está concentrada en una banda sísmica activa muy angosta de entre 100 km a 150 km², de profundidad variable entre 5 km y 200 km.

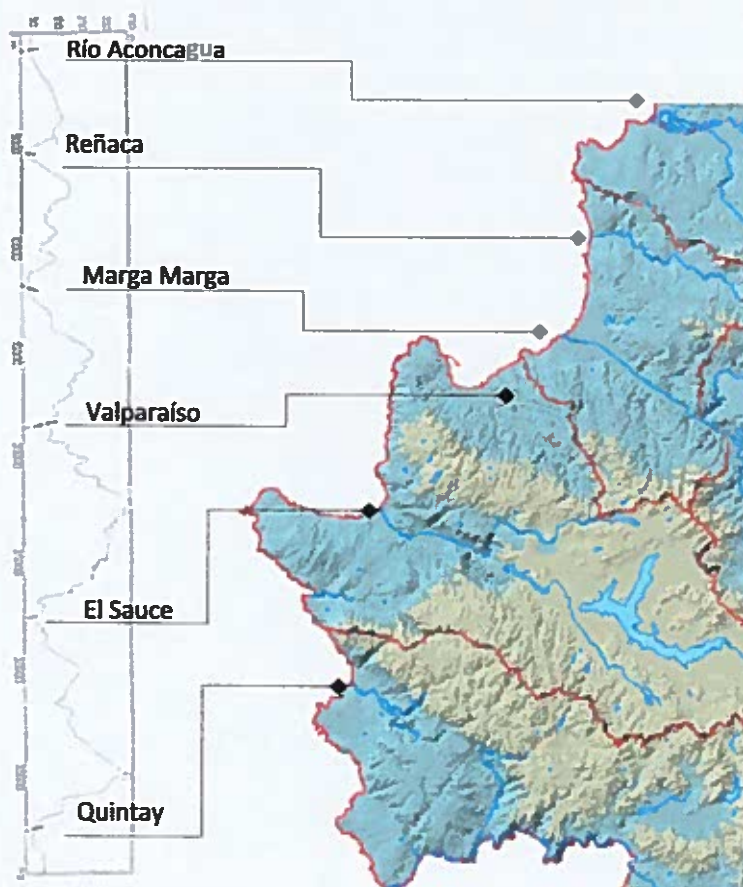
La subducción de la placa de Nazca se desarrolla en un plano inclinado hacia el este con buzamientos que varían entre los 15° y 40° respecto a la horizontal, zona denominada plano de benioff. En la zona de Chile Central, el plano de benioff desciende bajo la placa Sudamericana con un ángulo de 14° a 25° aproximadamente y se desplaza a una velocidad relativa del orden de 7 cm/año, movimiento ocasionado por el arrastre producido por movimientos convectivos de material del manto.

La subducción de la Placa de Nazca bajo la corteza continental se a debe poseer una mayor densidad que la placa sudamericana.

El área de estudio corresponde a una región de estructura fallada, situada al margen de la zona de subducción de la placa oceánica y a los pies de los contrafuertes de la Cordillera de La Costa.

Estudios como el Diagnóstico Ambiental del Plan Intercomunal de Valparaíso, en su área metropolitana y Satélite Quintero – Puchuncaví, han caracterizado el territorio intercomunal, como una zona afectada por un sistema de fallas de dirección noroeste que han la fracturado ortogonalmente en bloques independientes, los cuales se han solevantado con diferencias altitudinales que complican la interpretación evolutiva de las formas. Se pueden identificar al menos cinco bloques tectónicos solevantados a partir del río Aconcagua hasta la rada de Quintay, delimitadas por el juego de fallas escalonadas.

Imagen N° 1: Fallas escalonadas entre el Río Aconcagua y Quintay.



Fuente: Diagnóstico Ambiental de la Modificación al Plan Regulador Metropolitano de Valparaíso en su área metropolitana y satélite Quintero – Puchuncaví". Corporación Chile Ambiente – 2005 Adaptado para efectos gráficos del presente Estudio.

² Servicio Hidrográfico de la Armada.

La falla que orienta el cauce del río Aconcagua de dirección oeste es la más septentrional del área. Las fallas que controlan el Estero Marga - Marga y El Sauce, así como las de los cerros Barón y Curauma, presentan, como ya se anotó, una dirección noroeste. El graben principal se encuentra entre Laguna Verde y Curauma, mientras que los flancos se han levantado en forma más lenta.

2.2.- Marco Geológico Regional

GEOLOGIA ESTRUCTURAL

La tectónica del sector se caracteriza por la existencia de dos dominios estructurales:

° Un dominio occidental, con morfología de relieve maduro, suave, caracterizado por varios niveles de terrazas de abrasión, cuya altura varía entre los 100 y 500 m s.n.m. Está constituido por rocas del basamento plutónico-metamórfico de edad paleozoica-jurásica media, escasos remanentes de rocas sedimentarias del Cretácico Superior-Paleógeno (Estratos de Quebrada Municipalidad y Estratos de Algarrobo) de rumbo nor-noreste con inclinación de 15° hacia el oeste, y enclaves metamorquizados de la base de la secuencia jurásica. El basamento se encuentra cubierto en forma subhorizontal, por unidades sedimentarias marinas y continentales del Neógeno y, en parte, del Pleistoceno (Formación Navidad y Estratos de Potrero Alto). Predomina un sistema de estructuras en bloques, limitados por fallas noroeste y noreste, de desplazamiento vertical post-Plioceno sobreimpuesta a un movimiento de rumbo, con rotación de bloques, que en parte, afectan a las rocas cretácicas de la Cordillera de la Costa.

° Un dominio oriental, coincidente con un relieve abrupto y montañoso de la Cordillera de la Costa, que alcanza alturas de 2.000 m. Formado por rocas intrusivas del batolito cretácico, en parte jurásico, y secuencias volcano-sedimentarias del Jurásico al Cretácico Inferior (formaciones Ajial, Cerro Calera, Horqueta, Lo Prado y Veta Negra), que constituyen un bloque monoclinial de rumbo nor-noreste a nor-noroeste, cuyos estratos alcanzan una inclinación promedio de 40° hacia el este, y localmente los 70° E, debido a flexuras y pliegues asociados a fallas o bordes de intrusivos. Las estructuras principales consisten en fallas nor-noreste a noroeste y norte-sur con pequeños desplazamientos de rumbo, los cuales se reconocen cuando las fallas afectan a las secuencias estratificadas. Movimientos tectónicos, posiblemente post-pliocénicos, se manifiestan en inversiones hacia el este de la red de drenaje, como en el caso del Estero Puangue.

Imagen N° 2: Extracto de Mapa Geológico de Chile Escala 1:1.000.000, SERNAGEOMIN



NOTA: El Mapa Geológico de Chile, elaborado por SERNAGEOMIN a escala 1:1.000.000, reconoce la estructura fallada del área de estudio, en sus ejes Aconcagua, Marga Marga, Cerros de Valparaíso y El Sauce. Entrega información respecto de las edades de la formación, y sus yacimientos.

La Geología estructural que se presenta en lateral izquierda, es un extracto de la leyenda ampliada del Mapa Geológico del Área de Valparaíso - Curacaví en escala 1:100.000, elaborado por el Servicio Nacional de Geología y Minería - Subdirección Nacional de Geología (ISSN 0717-2532) el año 1996.



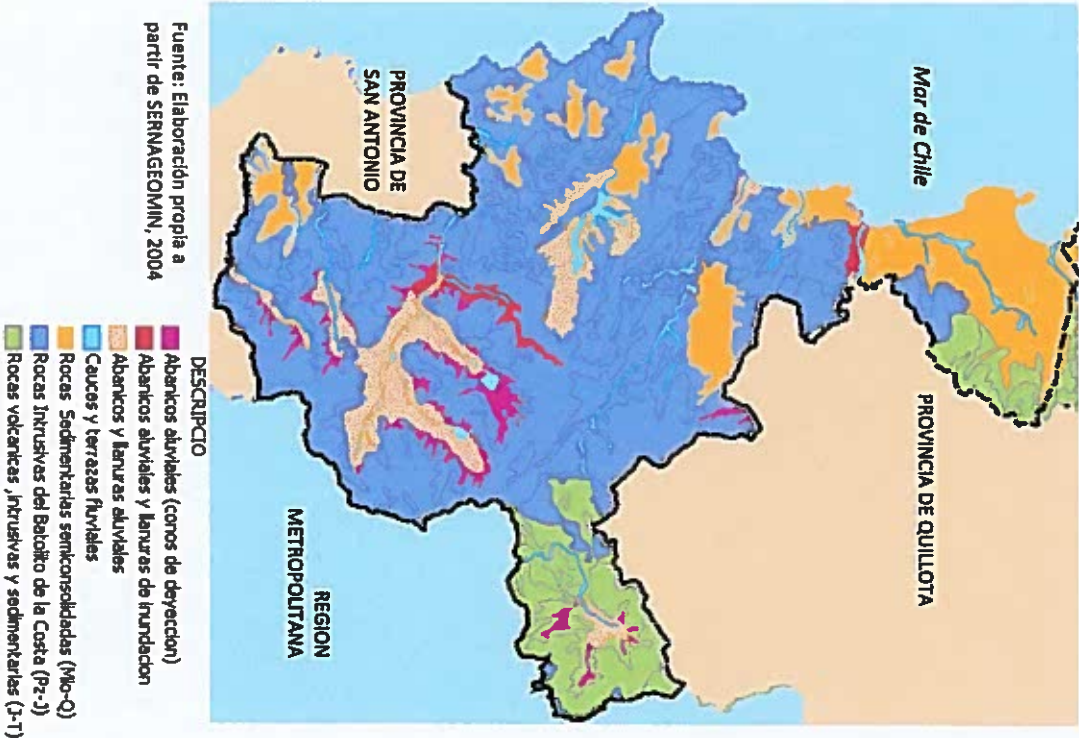
Características Geológicas del Área Intercomunal.

De acuerdo al Estudio “*Geología para el Ordenamiento Territorial*” y sus planos en escala 1:250.000, de SERNAGEOMIN, El Marco Geológico regional del área de estudio, se encuentra principalmente circunscrito a un área de influencia costera, caracterizado por la presencia de rocas intrusivas del batolito de la Costa y a rocas sedimentarias semiconsolidadas (cuyas edades datan desde el Paleozoico al Jurásico y desde el Mioceno al cuaternario, respectivamente). En el caso de las primeras, estas se encuentran muy erosionadas y meteorizadas, lo que ha hecho posible la generación de suelos residuales como el maicillo, mientras que las rocas sedimentarias semiconsolidadas, incluyen depósitos marinos y continentales aluvionales y eólico, que presentan distintos grados de cohesión.

En los sectores de valles, próximos a cauces fluviales, se han generado abanicos y llanuras aluviales y de inundación (estas últimas diferenciadas por la presencia de niveles freáticos superficiales), producto del acarreo histórico de materiales a través de la red hídrica. Esta situación es evidente en el Valle de Casablanca incluyendo el sector de embalses, Sector Lago Peñuelas y área adyacente al río Aconcagua.

Otros fenómeno identificado en el área de estudio, son los conos de deyección que se han formado por la acción torrencial de esteros y quebradas, mediante el movimiento de flujos de detritos.

Imagen N° 3: Estructura geológica.



2.3.- Marco Geomorfológico

De acuerdo al estudio "Geografía de Chile" realizado por Borgel en el año 1983, la Región de Valparaíso se compone de siete grandes geoformas que responden a distintos factores que han influido en el sollevamiento y posterior modelamiento del territorio.

Respecto al área de estudio, cabe señalar, simplificadoamente, que ésta se compone de la planicie marina y/o fluviomarina que corresponde a toda la franja litoral, exceptuando el farellón costero que caracteriza la geomorfología local de Valparaíso y su extensión inmediata hasta la localidad de Quintay, mientras que hacia el interior de la Región, emerge la Cordillera de la Costa y se manifiestan territorialmente los llanos de sedimentación fluvial y aluvial, los cuales han sido producto del material depositado por diversos fenómenos geológicos en las cuencas de los principales cuerpos de agua de la Región.

A continuación, se describen las unidades geomorfológicas que componen el área de estudio. Posteriormente, se presentan distintos perfiles transversales que grafican la extensión territorial de las unidades geomorfológicas; la primera de ellas, correspondiente al estudio "Diagnóstico del Plan Intercomunal de Valparaíso en su Área Metropolitana y Satélite Quintero – Puchuncaví", elaborado por la Corporación Chile Ambiente y la segunda diseñada a partir de la información territorial del área de estudio.

UNIDADES GEOMORFOLÓGICAS

a. Unidad montañosa.

Corresponde a la vertiente occidental de la Cordillera de la Costa con cordones y estribaciones que se proyectan hacia el borde costero, hasta entrar en contacto con los relieves subhorizontales de las Planicies Litorales. Esta constituida, principalmente, por las rocas cristalinas granitoideas y partes del neiss granítico. Se presenta intensamente disectada y afectada por fuertes procesos erosivos y de nivelación del relieve, dando el aspecto de lomajes en algunas áreas. La forma de las laderas tiende a ser convexa, con pendientes regulares que oscilan entre los 15 y 35°. Se observan algunos procesos de vertientes en aquellos sectores donde la inclinación de la pendiente supera los 18°.

En esta unidad, las remociones en masa profundas son frecuentes, gatilladas por las precipitaciones intensas y condicionadas por rupturas de pendiente o cambios litológicos en la continuidad de las laderas y favorecidas por la disminución de la cobertura vegetal. Los movimlentos en masa superficiales, así como los procesos de erosión laminar y lineal se observan sólo en las laderas desnudas y de menor inclinación de la pendiente.

En cuanto a la exposición de las laderas, se constató que los procesos erosivos son más frecuentes en aquellas orientadas al Norte y Noroeste. Son usuales los glacia de denudación en las laderas cóncavas antecedidas por formas planas (terrazas fluviales, terrazas marinas y superficies de aplazamiento).



a. **Unidad de Planicies Litorales.**

Son superficies abrasivo - acumulativas, labradas sobre las rocas metamórficas de la Formación Quintay y graníticas del batolito costero. Presentan una topografía relativamente tabular, inclinada levemente hacia el Oeste. Desde su contacto con la Cordillera de la Costa es posible distinguir distintos escalones que corresponden a niveles de terrazas marinas separadas por acantilados fósiles de abrupta pendiente.

Estas terrazas han sido configuradas por la acción transgresiva del mar durante el Terciario y Cuaternario y por el sollevamiento tectónico de los diferentes bloques fallados de las planicies marinas. Se reconocen tres niveles principales: uno alto, entre los 320 y 360 metros de altitud; uno intermedio, entre los 230 y 280 metros; y uno bajo, entre los 20 y 90 metros.

En algunos sectores del área se pueden identificar niveles intermedios de escasa extensión y separados por escarpes menores y poco abruptos. Otros investigadores establecen hasta nueve niveles en el sector de Valparaíso (Alvarez, L., 1964) y cuatro al sur de este sector (Nuñez y Saelzer, 1954). El nivel medio es el único que presenta depósitos marinos, en muchos casos fosilíferos, de importante potencia. Constituyen verdaderas plataformas sedimentarias mesetiformes que han sido interpretadas como terrazas marinas sedimentarias remanentes que actúan como testigo de la acción acumulativa marina del Terciario Inferior.

La correlación entre las terrazas marinas a lo largo del área de estudio es dificultosa debido a las dislocaciones tectónicas cuaternarias (Alvarez, L., 1964) que han transformado el paisaje.

El manto edáfico de esta unidad se encuentra fuertemente lixiviado, presenta capas de ferruginación y carecen de horizontes aluviales. Está sustentado sobre roca profundamente alterada por la meteorización granular, formando grus o maicillo hasta varios metros de profundidad. El uso actual de esta unidad es preferentemente forestal. En el sector norte del área, las planicies marinas son el fundamento del conglomerado urbano del Gran Valparaíso.

Debido a la acción tectónica y las diferencias litológicas en las que se han labrado las terrazas marinas, es necesario diferenciar, de acuerdo a las características morfológicas, dos subunidades dentro de las planicies marinas:

Subunidad de planicies llanas: Superficies llanas de abrasión marina labradas en rocas graníticas y neisicas del batolito costero, en las rocas metamórficas de la Formación Quintay y/o en las rocas sedimentarias de la Formación Horcón. Se localizan en el sector norte del área, donde el basamento esta constituido por rocas neisicas transicionales y sedimentarias de la Formación Horcón; y al sur del área, junto a la rada de Quintay, sobre el basamento metamórfico de esquistos y anfibolitas. Conforman verdaderas planicies con escasa disección del drenaje, situadas entre los 20 y 220 metros de altitud, con una pendiente media inferior a los 8º de inclinación desde el mar.

Subunidad de planicies disectadas: El aspecto de lomaje de su morfología es producto de la profunda disección lineal de numerosas quebradas paralelas que entallan las vertientes, consecuencia de sollevamientos tectónicos más intensos que en los bloques adyacentes.

Están labradas sobre las rocas metamórficas de la Formación Quintay y sobre las rocas neisicas transicionales. La profunda meteorización de estas rocas, así como la presencia de gran cantidad



de fracturas y diaclasas, junto al buzamiento de la esquistosidad, han favorecido y controlado los procesos de incisión lineal. Se manifiestan al sur del Estero Marga - Marga, y su morfología característica es reconocida en la ciudad de Valparaíso.

b. Unidad Fluvial.

Esta unidad morfológica incluye geoformas de sedimentación y acumulación fluvial, fluvio - marina y fluvio - lacustre. Los principales cursos de agua en el área son el río Aconcagua, el Estero Marga - Marga y el Estero El Sauce.

El río Aconcagua presenta un amplio desarrollo de terrazas fluviales de hasta cuatro niveles de 80 metros de altitud, las cuales son coalescentes con las terrazas marinas hasta 9 Km al interior desde la desembocadura. El lecho actual muestra una gran expansión de dos Km. junto a la desembocadura, donde se desarrolla una zona húmeda litoral. El Estero Reñaca, al sur del anterior, tiene un comportamiento semitorrencial y sus terrazas no presentan un gran desarrollo. La terraza más antigua es contemporánea a la Formación Horcón, la cual ha sido erosionada por el estero, confundiéndose con la terraza marina sobre la que se depositan los sedimentos miocenos.

El Estero Marga - Marga, mayor al antedicho, expone terrazas más amplias en las que es posible distinguir períodos torrenciales, estuariales y aluviales. Estas terrazas presentan diferencias altitudinales entre las de la ribera norte y la sur, debido al juego tectónico de la falla que encauza el talweg. La ciudad de Viña del Mar se emplaza en parte de las terrazas fluviales y fluvio - marinas de este estero.

Más al sur se desarrollan las terrazas fluviales del Estero El Sauce, las cuales son más amplias hacia el sur. No es posible diferenciar más de dos niveles, no obstante, presenta masas de desplome en la ribera norte, que dificultan la interpretación de los niveles.

En el sector meridional del área se desarrollan esteros de menor importancia, en los cuales las terrazas fluviales corresponden a un nivel heredado erosionado por el lecho actual (esteros Curauma y Quintay).

c. Unidad Dunaria.

Esta unidad morfológica incluye las formas de acumulación eólica actuales y heredadas. El mayor campo dunario del área corresponde al de Concón - Cochoa (21 Km²), que constituyen dunas fósiles semiestabilizadas, siendo las más antiguas del pleistoceno. Estas presentan como una topografía acolinada y permanecen colgadas sobre un acantilado semiestabilizado desprovistas de una playa de alimentación.

Otro campo de dunas se desarrolla en Santa Augusta, a 2 Km. al norte de Caleta Quintay. Corresponde a una duna bordera reciente con alimentación directa desde la Playa de Quintay, con morfología monticular y desprovistas de vegetación psamófila de cobertura eficaz, por lo que su estabilidad es precaria. La depresión interdunaria es una pequeña zona húmeda litoral que obstaculiza la salida al mar del Estero Quintay. Las dunas interiores han sido transformadas por la urbanización y no manifiestan las formas longitudinales originales. Bajo ellas pueden encontrarse indicios de dunas más antiguas, sin embargo, estas no se exponen a la superficie.



Dadas las características de costa alta y preferentemente rocosa y a la ausencia de bahías bajas de gran extensión, el área de estudio carece de campos dunarios de importancia con excepción de los anotados anteriormente.

d. **Unidad de Borde Costero.**

De los 95 Km. de borde costero del área en estudio, el 87,8% corresponden a costas acantiladas. Estos acantilados de origen tectónico y retocados por la acción abrasiva del mar, presentan formas rectilíneas. El mayor se desarrolla entre Punta Ángeles y Laguna Verde, superando los 300 m. de altitud. En su base se extiende una estrecha plataforma de abrasión interrumpida, frecuentemente, por caos de balones producto de derrumbes, los cuales, por la acción del mar, conforman reducidos estranes rocosos. El mismo fenómeno se manifiesta en los acantilados al sur de Laguna Verde. Entre Punta Curaumilla y la Rada de Quintay se desarrolla otro acantilado mayor vivo, que alcanza los 300 m. de altitud.

Junto a estos cliff, cuyas pendientes oscilan entre los 65 y 80°, se encuentran escollos rocosos e islotes que constituyen testigos de la erosión marina.



Los acantilados menores vivos (menor de 20 m. de altitud) se localizan al sur de la Rada de Quintay y entre Punta Curaumilla y Laguna Verde. En tanto, los acantilados muertos y semiestabilizados se sitúan desde Punta Ángeles al Norte. Son preferentemente rocosos, con excepción de aquel desarrollado en sedimentos marinos (Formación Horcón) y arenas eólicas semiconsolidadas en el sector Higuierillas - Reñaca. Están precedidos por estrechas plataformas de abrasión cubiertas por relleno artificial. En el sector de Valparaíso este relleno supera los 1.000 m. de ancho.



Las playas representan el 8,4% del borde costero del área. Se manifiestan entre Valparaíso y Concón, interrumpidos por el relleno artificial o bien salientes rocosos. La mayoría son playas arenosas con balance sedimentario equilibrado (Vergara y Valenzuela, 1981). Las playas rocosas corresponden a reducidos estranes de cantos rodados y bolones en sectores donde el acantilado se acerca al mar (playas El Membrillo, San Mateo, Rubén Darío).

Hacia el Sur se desarrollan playas de bolsillo, muy protegidas (playas Curaumilla, Las Docas). Las playas de Quintay y Laguna Verde presentan extensiones mayores, sin embargo sólo la de Quintay muestra dunas asociadas. La playa de Laguna Verde se encuentra protegida de los vientos predominantes del SW y está compuesta por arenas medias a gruesas, por lo que no tiene un desarrollo de dunas. Un cordón litoral encierra la bahía y estanca las aguas del Estero El Sauce, produciendo una explanada o depresión húmeda a su resguardo.

e. Llanos de Sedimentación Fluvial.

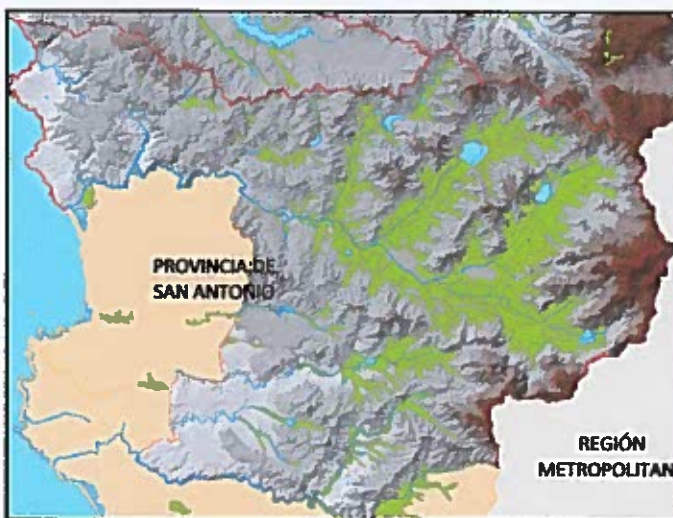
En el área del Plan se presentan llanos de sedimentación fluvial de corta magnitud e importancia. El más destacado es el del río Aconcagua en el sector de Colmo, en donde se aprecian sucesivos planos de terrazas de relleno.

f. Llanos de Sedimentación Aluvial.

La unidad Valle de Casablanca de gran amplitud, se genera a partir del relleno aluvial, producto del proceso erosivo de las aguas desde el cordón mayor de la Cordillera de la Costa, constituido por rocas de granito progosinclinal Paleozoico, o graníticas mesozoicas y cenozoicas.

Desde este el proceso de desgaste de los cordones occidentales y colinas de este sector que encierra la cuenca, tienen una constitución más antigua de rocas graníticas paleozoicas, con una profunda meteorización que se aprecia en los cortes con profundidad mayor a 7 metros.

Imagen N° 4: Llanos de sedimentación aluvial del Valle de Casablanca



Fuente: Elaboración propia a partir de cartografía SERNAGEOMIN, 2004 y Base Cartográfica PREMVAL (Curvas de nivel cada 25 metros).

El relleno aluvial tiene hoy día relieve plano dando lugar a un suelo arenoso de textura gruesa y buen drenaje, de buena profundidad. Este drenaje está provisto por el Estero Casablanca, principal colector de los cauces de las quebradas afluentes. Hoy día éste cauce se presenta en gran parte con un componente de embalses de cabeceras de los esteros. Realizando una función de drenaje y colector sólo en épocas de lluvias intensas.



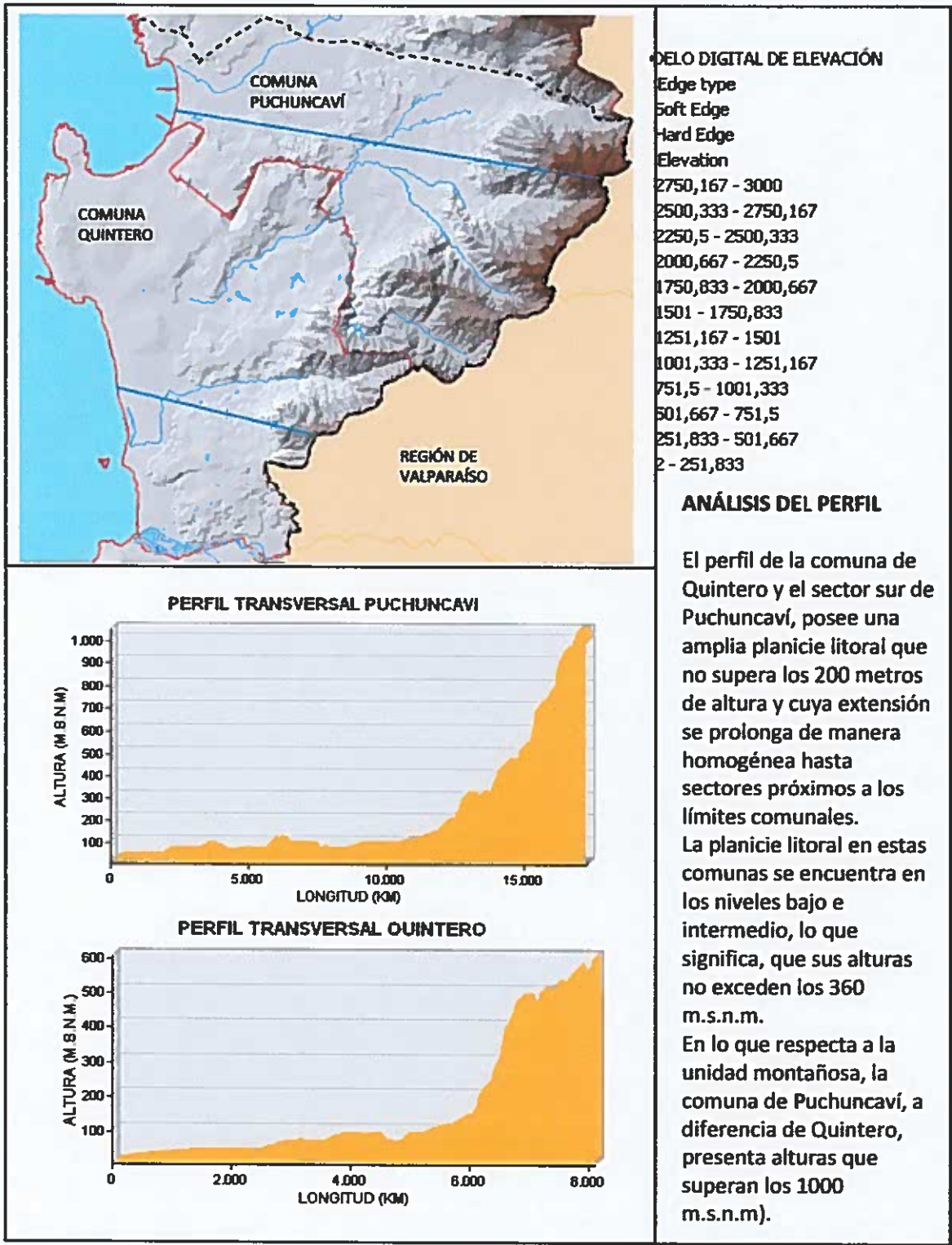
g. Unidad de Plataforma Continental.

En el área de estudio la plataforma continental es estrecha. De acuerdo a las cartas náuticas, la isóbata de 200 m. se localizan a 11,6 Km. de la costa. Las pendientes no son homogéneas y presentan rasgos morfológicos diferenciables de acuerdo a la topografía subaérea adyacente y a las características litológicas del cuerpo de las geoformas costeras.

Se distinguen así una plataforma continental levemente inclinada que predomina en casi todo el sector costero bajo (entre el Aconcagua y Punta Gruesa), sobre ella se depositan materiales terrígenos moderadamente finos (arenas y limos gruesos); la plataforma continental débilmente inclinada se localiza en los sectores con predominio de estratos rocosos y plataformas de abrasión en las salientes rocosas, principalmente en Punta Loros y Punta Curaumilla; finalmente, la plataforma continental fuertemente inclinada se localiza junto a los acantilados y corresponde a la sección sumergida de ellos.



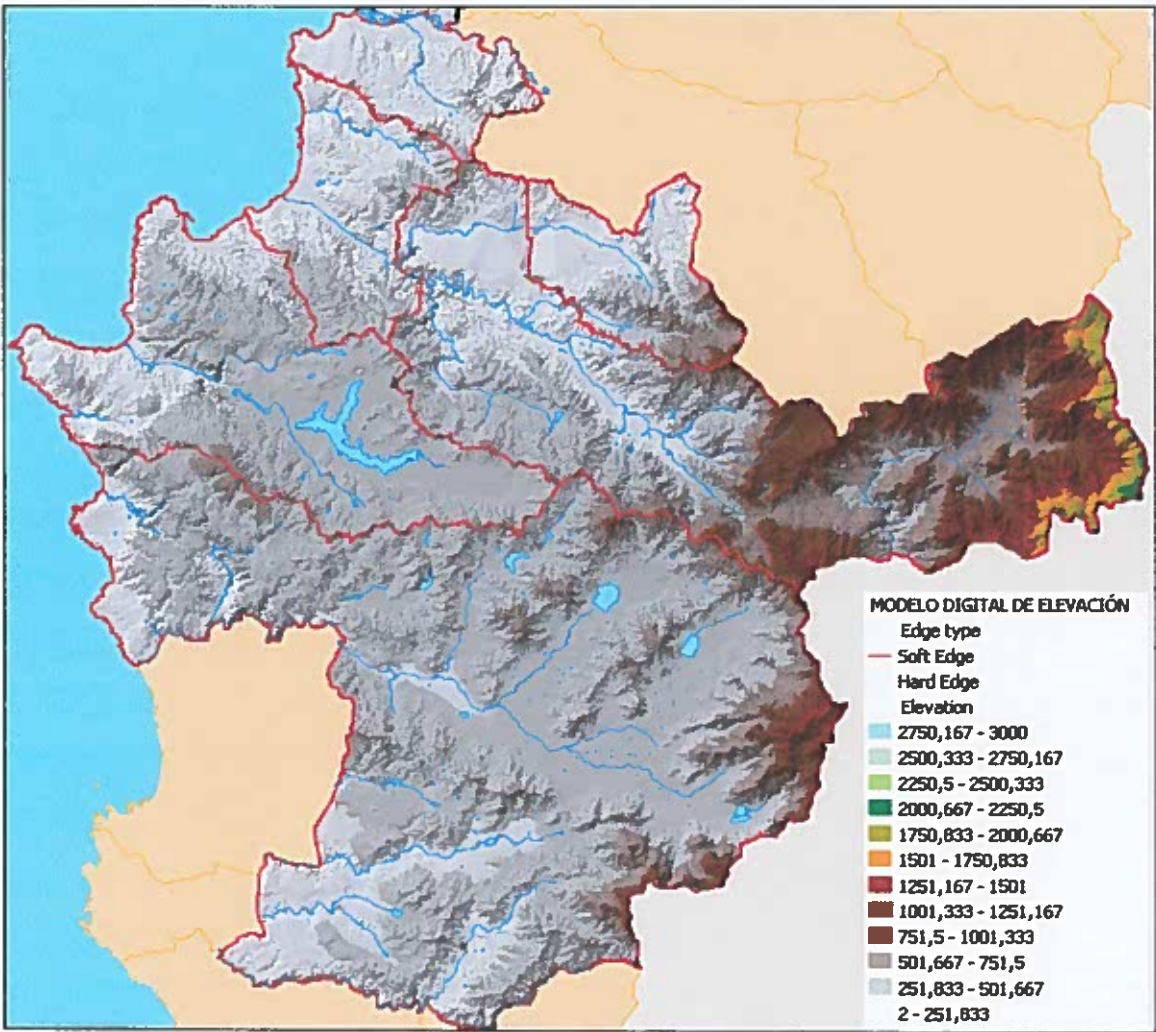
GEOMORFOLOGÍA DEL ÁREA SATELITE QUINTERO – PUCHUNCAVÍ:



GEOMORFOLOGÍA DEL ÁREA METROPOLITANA DE VALPARAÍSO:

El Área Metropolitana de Valparaíso se compone de las comunas de Concón, Viña del Mar, Valparaíso, Quilpué, Villa Alemana y Casablanca.

El presente Modelo digital de Terreno, caracteriza el territorio en 12 rangos de elevación (m.s.n.m.) y permite identificar con mayor facilidad, la distribución de las unidades geomorfológicas y su relación e incidencia territorial con los principales cuerpos de agua.



Fuente: Elaboración propia: SEREMI MINVU Región de Valparaíso
Base de MDT: Curvas de nivel cada 25 metros.



COMUNA: CONCÓN



CORTE TRANSVERSAL CONCON



MODELO DIGITAL DE ELEVACIÓN

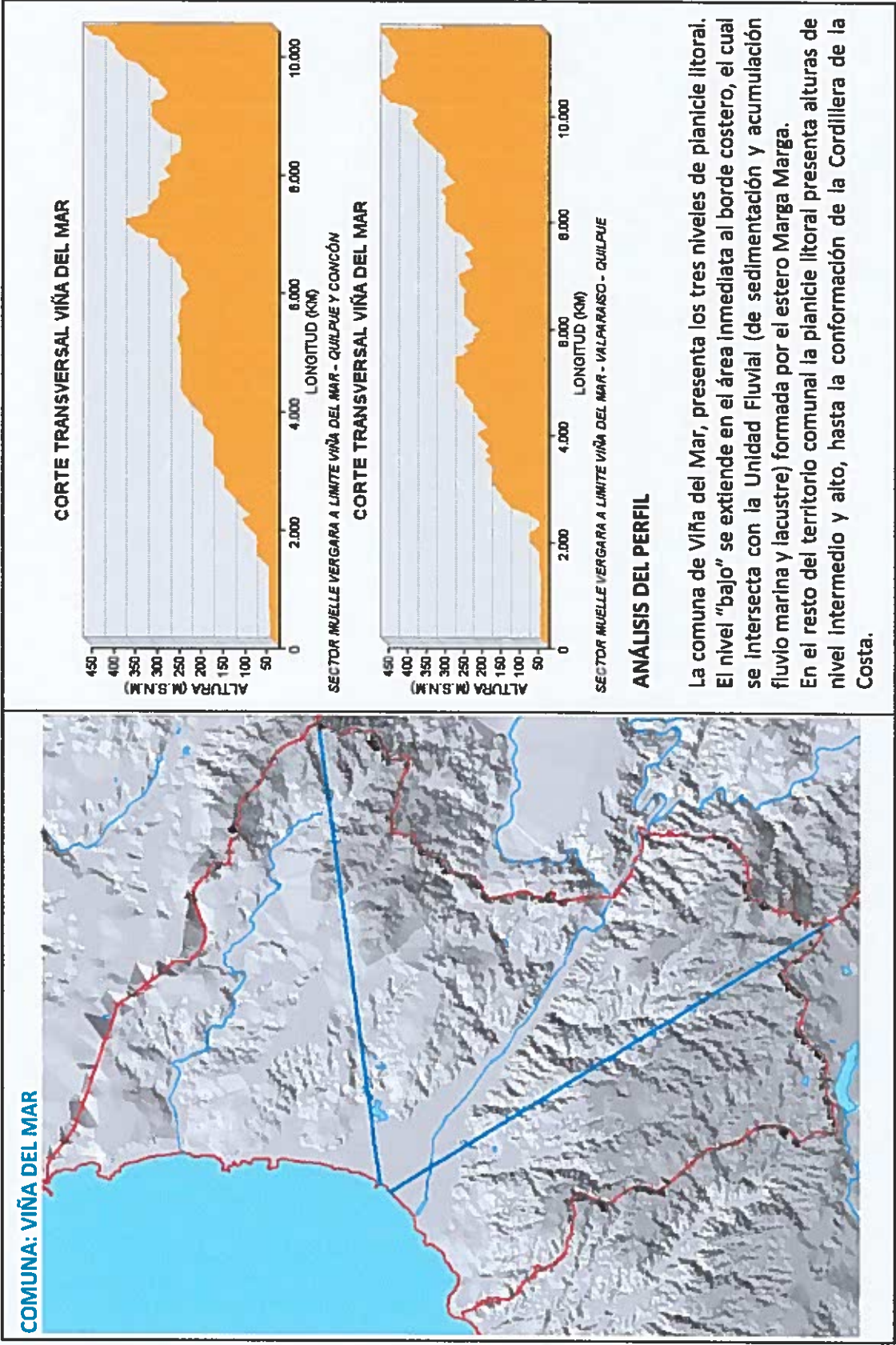
- Edge type
- Soft Edge
 - Hard Edge
- Elevation
- 2750,167 - 3000
 - 2500,333 - 2750,167
 - 2250,5 - 2500,333
 - 2000,667 - 2250,5
 - 1750,833 - 2000,667
 - 1501 - 1750,833
 - 1251,167 - 1501
 - 1001,333 - 1251,167
 - 751,5 - 1001,333
 - 501,667 - 751,5
 - 251,833 - 501,667
 - 2 - 251,833

ANÁLISIS DEL PERFIL

El corte transversal elaborado para la comuna de Concón, nos permite visualizar una planicie litoral amplia, con escasa extensión del nivel litoral bajo, predominando las alturas que varían entre los 100 y 150 m.s.n.m.

Esta comuna presenta alturas homogéneas que aumentan en las proximidades al límite comunal, en su unión con la provincia de Quillota.





COMUNA: VALPARAÍSO



CORTE TRANSVERSAL VALPARAISO



ANÁLISIS DEL PERFIL

El perfil elaborado para Valparaíso, atraviesa un sector de la comuna, desde el Molo de Abrigo hasta las estribaciones del Cerro Curauma. El perfil de Valparaíso entrega indicio de una planicie litoral cuyo nivel bajo es estrecho y el paso a los niveles "intermedio y alto" se conforma en base a abruptas pendientes; situación reiterada en todo el territorio comunal.

Del mismo modo, las pendientes son pronunciadas en aquellos sectores que han sido intervenidos por las unidades fluviales, como es el caso del estero El Sauce.



COMUNAS: QUILPUÉ Y VILLA ALEMANA



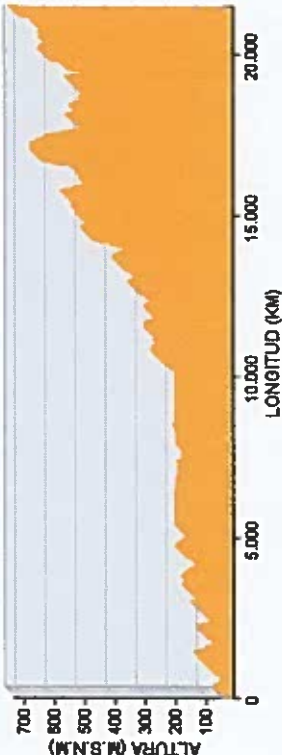
ANÁLISIS DE PERFILES

La comuna de Villa Alemana y el sector urbano de Quilpué se conforma sobre la planicie litoral en su nivel intermedio.

En el sector oriente de Villa Alemana, se alza paulatinamente la Cordillera de la Costa hasta alcanzar alturas superiores a 700 m.s.n.m

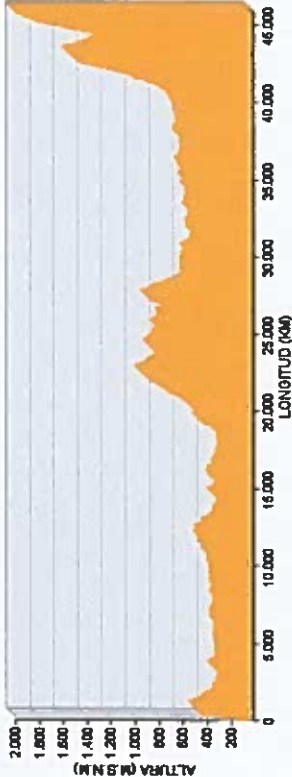
Fuera del sector urbano, de Quilpué y hacia Coliguay se puede la apreciar la extensión de la Cordillera de la Costa (hasta alcanzar alturas superiores a los 2000 ms.n.m.) la cual es interceptada por las unidades fluviales conformada por la red hídrica

CORTE TRANSVERSAL QUILPUÉ - VILLA ALEMANA



Sector Cuenca Estero Marga Marga

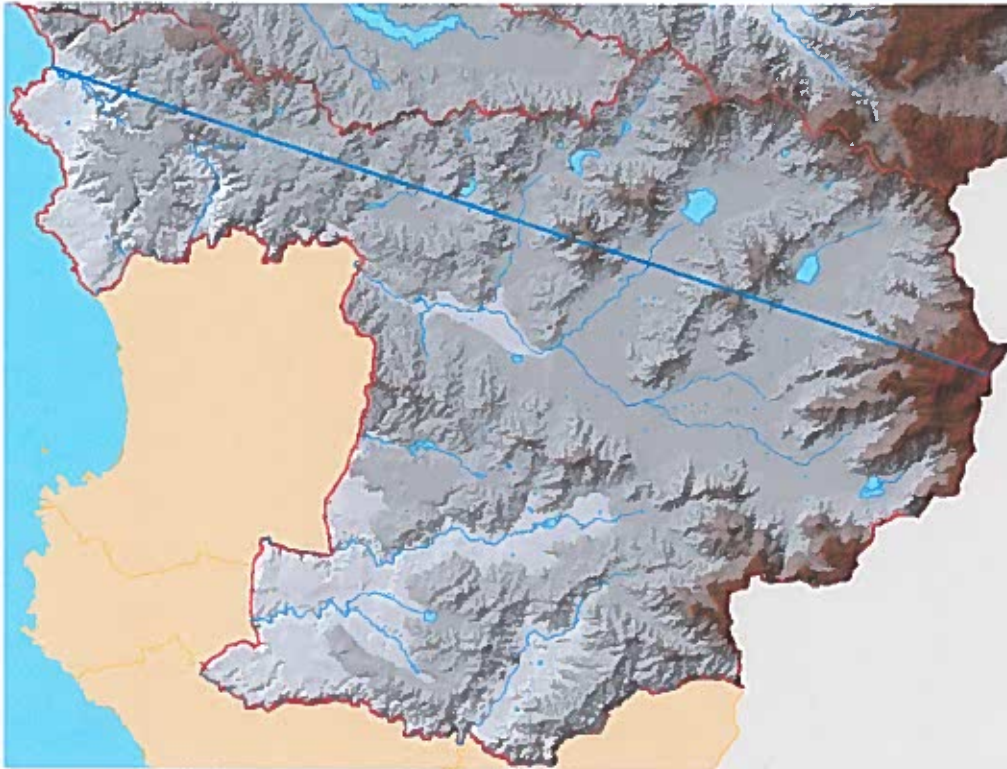
CORTE TRANSVERSAL QUILPUÉ



Sector Estero Las Plumas hacia Coliguay



COMUNA: CASABLANCA



CORTE TRANSVERSAL CASABLANCA



Sector Estero El Jote hasta límite con Región Metropolitana

ANÁLISIS DEL PERFIL

El perfil elaborado para Casablanca, atraviesa diagonalmente la comuna desde Quintay hasta el límite con la Región Metropolitana. Dada la extensión del territorio, es posible apreciar una planicie litoral de nivel "bajo" muy estrecha ligada al sector de playa (Quintay), continuado por una elevación (de baja altura) de la Cordillera de la Costa que permite la influencia oceánica en este Valle.

El perfil permite, también identificar la unidad de llanos de sedimentación aluvial, formado por el proceso erosivo de las aguas desde el Cordón mayor de la Cordillera de la Costa que alcanza alturas superiores a los 1200 m.s.n.m



III.- FENÓMENOS DE ORIGEN NATURAL: RECONOCIMIENTO DE PROCESOS ENDÓGENOS Y EXÓGENOS.

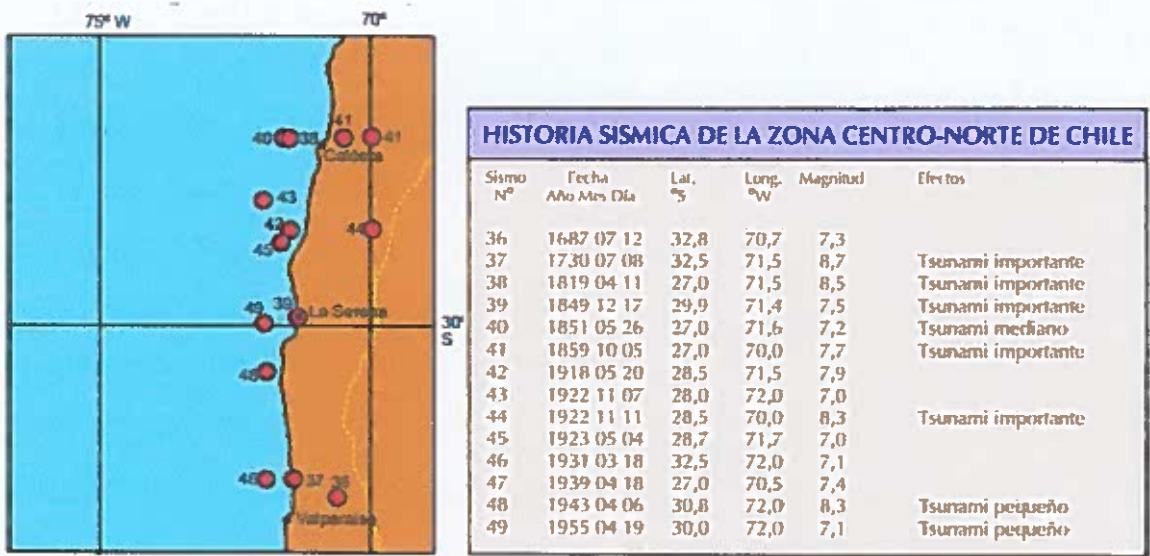
3.1.- PROCESOS ENDÓGENOS: Volcanismo, Sismicidad y Tsunamis

El Servicio Hidrográfico y Oceanográfico de la Armada (en adelante, SHOA), en sus publicaciones orientadas al conocimiento masivo de los fenómenos endógenos que pueden afectar a la Sociedad, principalmente por medio de sismos de gran magnitud y los tsunamis que producen, explica en términos generales que la costa Oeste de Sudamérica, está delineada por el borde oriental de la placa tectónica de Nazca y se caracteriza por ser una zona de gran sismicidad, producto de la existencia de una banda sísmica activa muy angosta (100-150 km de ancho), entre el cordón montañoso de Los Andes y la fosa Perú-Chile.

No obstante, el país en términos generales no tiene el mismo comportamiento sísmico ni estos generan idénticos tipos de tsunamis. El SHOA desarrollo una “regionalización” de la sismicidad en Chile, definiendo algunos patrones homogéneos de acuerdo a las zonas geográficas.

La Región de Valparaíso corresponde a la zona centro norte de Chile (27°S – 33°S), y se caracteriza por la presencia de los Valles Transversales y por la ausencia de volcanismo del Cuaternario. Se indica además que una característica de esta “Macro- Región sísmica”, es la ocurrencia de tsunamis destructivos cada 20 años.

Imagen N° 5: Zona Centro Norte y su Historia Sísmica.



Fuente: Servicio Hidrográfico y Oceanográfico de la Armada.

Ahora bien, respecto de la Región de Valparaíso en sus estructura administrativa, la peridiocidad con que se producen movimientos sísmicos de gran magnitud, obedecen a un mecanismo de subducción, con un período de recurrencia estimado de 82± 6 años según Comte et al (1986).



Los sismos de gran intensidad documentados en la Región de Valparaíso, son:

| Fecha | Año | Magnitud (Ms y Mw) |
|---------------|------|--------------------|
| 17 Marzo | 1575 | 7.3 |
| 13 Mayo | 1647 | 8.5 |
| 8 Julio | 1730 | 8.7 |
| 19 Noviembre | 1822 | 8.5 |
| 16 de Agosto | 1906 | 7.9 y 8.2 |
| 3 de Marzo | 1985 | 7.8 y 8.0 |
| 27 de Febrero | 2010 | 8.8 |

Fuente: Servicio Sismológico Universidad de Chile

En general, los sismos con características de terremoto que han afectado a la región, han tenido sus epicentros costa afuera y han generado maremotos de diversa índole. Los fenómenos ocurridos en 1730 zona centro norte y en 1960 en la zona sur, generaron ondas que se propagaron a través del océano pacífico, generando tsunamis de reconocimiento internacional.

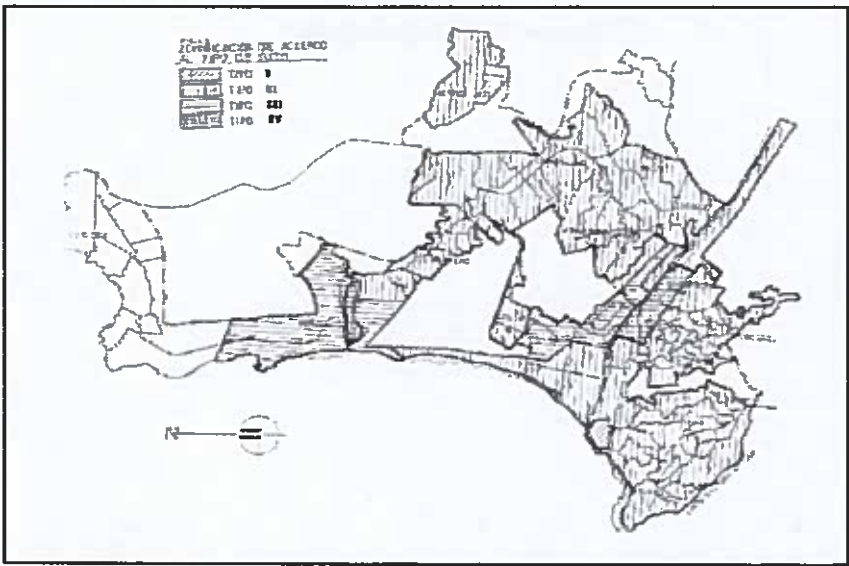
La sismicidad, por lo tanto, es una característica propia del país y sus efectos consecuentes, como por ejemplo tsunamis, son temáticas multidisciplinarias que deben ser estudiadas en escalas adecuadas, para lograr la identificación de efectos locales según la magnitud del fenómeno. En esta temática, se torna relevante el trabajo mediante una topografía de detalle, el tipo de suelo y su capacidad de amplificación, la calidad de las edificaciones y la generación de modelos matemáticos que permitan prever distintos escenarios según la magnitud del sismo.

En el caso del área que comprende el Plan Regulador Metropolitano de Valparaíso, caracterizada por una estructura fallada y sometida tanto a la acción de agentes erosivos como el viento y red hídrica y los rellenos sedimentarios de orden natural y artificial (como es el caso de las áreas planas de las comunas de Valparaíso y Viña del Mar) propician la existencia de microzonas que independiente de la magnitud sísmica, producen efectos locales diversos.

Estudios desarrollados con posterioridad al sismo de 1985, han realizado una microzonificación sísmica de sectores urbanos de Valparaíso y Viña del Mar, mediante ensayos de mecánica de suelo, daños en viviendas producto del terremoto y registro de vibraciones ambientales según metodología de Kanai (1983). Con este detallado estudio, Pérez logró definir 26 zonas, de las cuales 15 se encuentran en el Plan de Viña del Mar.



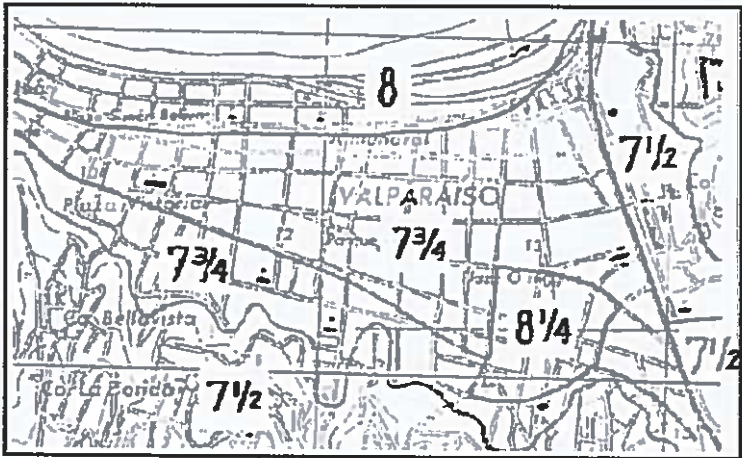
Imagen N° 6 Clasificación de Suelos de Viña del Mar, según metodología Kanai .



Fuente: Pérez L., 1988

Para el caso de Valparaíso, Acevedo y Orozco (1985) definieron 7 zonas y en el año 1988 Perretta y Álvarez incorporaron la zona D, correspondiente a aquella de mayor daño registrado para el terremoto de 1906. La zonificación resultante fue muy similar a la realizada por Carvajal el año 1989, sobre el terremoto de 1906.

Imagen N°7: Zonificación sísmica para Valparaíso.



En la actualidad, se encuentran en desarrollo estudios de Microzonificación sísmica del Plan de Viña del Mar y en Valparaíso. Estos estudios, actualizarán la información existente respecto del comportamiento de la dinámica de los suelos en los sectores urbanos con antecedentes a saber, el Almendral en Valparaíso y Sector Falla Marga Marga y Canal Beagle en Viña del Mar. Esta información constituirá un documento técnico que deberá incluirse en el estudio y Planes Reguladores Comunes respectivos.



Finalmente, es importante señalar que el Ministerio de Vivienda y Urbanismo, en facultad de dictar ordenanzas, reglamentos e instrucciones generales sobre urbanización de terrenos, entre otras, dictó por medio de la División técnica de Estudio y Fomento Habitacional, el Reglamento N° 61 de fecha 02 de Noviembre de 2011, que fija el diseño sísmico de edificios y deroga el D.S. N° 117 de V.y U. mejorando los parámetros de diseño sísmico y clasificación dinámica de los suelos; Reglamento que debe cumplir la edificaciones definidas en la Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones, ya que este Instrumento, la clasifica como "Norma Chilena Obligatoria".

En el caso de tsunamis, el SHOA, ha elaborado mapas del Borde Costero que establecen las áreas susceptibles de ser afectadas por estos fenómenos, no obstante, esta información es de carácter indicativa y debe ser utilizada para brindar seguridad a la población mediante planes efectivos de evacuación. Asimismo, resulta oportuno destacar que si bien este fenómeno es de una recurrencia menor en consideración a la remoción en masa e inundación por proximidad a cursos de agua, su impacto es de carácter destructivo y, por lo tanto, las medidas de planificación deben ser adoptadas por los Organismos locales y Oficina de Emergencia, mediante estudios detallados.

Sin perjuicio de lo anterior, los Planes Reguladores Comunes deberán definir en sus estudios de riesgo, las áreas susceptibles de ser afectadas por la amenaza de tsunami, ya sea mediante estudios de detalle que adopten modelaciones numéricas o empíricas, o bien, la información disponible en los Organismos Competentes.



3.2.- PROCESOS EXÓGENOS

Los procesos exógenos que con mayor frecuencia impactan a la sociedad en su conjunto, son los procesos gravitacionales asociados a remoción en masa e inundaciones, principalmente por desborde de cauces.

El Servicio Nacional de Geología y Minería (en adelante, SERNAGEOMIN), en su Informe *"Geología para el Ordenamiento Territorial Región de Valparaíso"* (2004), estudió los fenómenos mencionados, en atención a factores condicionantes y desencadenantes.

3.2.1.- Marco de referencia general:

"Estudio Geología para el Ordenamiento Territorial de la Región de Valparaíso" SERNAGEOMIN 2004 (Informe Registrado ID-04-23)³.

Análisis de Riesgos y niveles de susceptibilidad de remoción en masa e inundaciones.

De la carta de susceptibilidad elaborada por SERNAGEOMIN, reproducida para efectos gráficos por la Secretaría Regional Ministerial de Vivienda y Urbanismo Región de Valparaíso⁴, se desprende que en el caso del Satélite Quintero – Puchuncaví la susceptibilidad a los fenómenos de remoción en masa e inundación son bajos. Esto es producto de que si bien las unidades litológicas (Rocas sedimentarias semiconsolidadas del Mioceno-Cuaternario) en este sector presentan distintos niveles de cohesión según el grado de consolidación, la baja pendiente y menor grado de meteorización, permiten una caracterización de baja susceptibilidad.

Respecto al recurso hídrico, las áreas aledañas al Estero Puchuncaví, al estero Quintero hasta la confluencia con el estero Mantagua y su posterior desembocadura en el mar, presentan una alta susceptibilidad a la inundación por desbordes de cauces. En este caso, el sector afectado corresponde a los cauces y terrazas fluviales.

En lo que respecta a las estribaciones de la Cordillera de la Costa, se manifiesta una susceptibilidad a remoción en masa de tipo "Alta a moderada", la que se debe a la presencia de rocas volcánicas, intrusivas y sedimentarias (con edades del jurásico al terciario) que si bien, presentan mayor cohesión que las rocas intrusivas del batolito costero, las características estructurales locales, como pendiente, orientación de quebradas, entre otros factores, podrían favorecer la generación de remociones en masa.

En el caso del lecho del Río Aconcagua, el nivel de susceptibilidad por inundación es "moderado" y corresponde principalmente a abanicos aluviales y llanuras de inundación que presentan niveles freáticos someros o superficiales. En general, estas zonas se caracterizan por el afloramiento de aguas subterráneas generado por el ascenso estacional de los niveles estáticos.

³ El presente ítem denominado "Análisis de Riesgo y niveles de susceptibilidad por SERNAGEOMIN, escala 1:250.000, es un extracto del Anexo N° 1 de la Declaración de Impacto Ambiental del Plan Regulador Metropolitano de Valparaíso, Línea Base Ambiental Medio Físico, realizado el año 2010.



En el Área Metropolitana de Valparaíso, se reiteran los niveles de susceptibilidad del Satélite Quintero – Puchuncaví y se incorpora en la comuna de Viña del Mar, Valparaíso y Casablanca, el riesgo de inundación por desborde de cauces de tipo “moderada a baja”, la cual es potenciada por actividades de carácter antrópico.

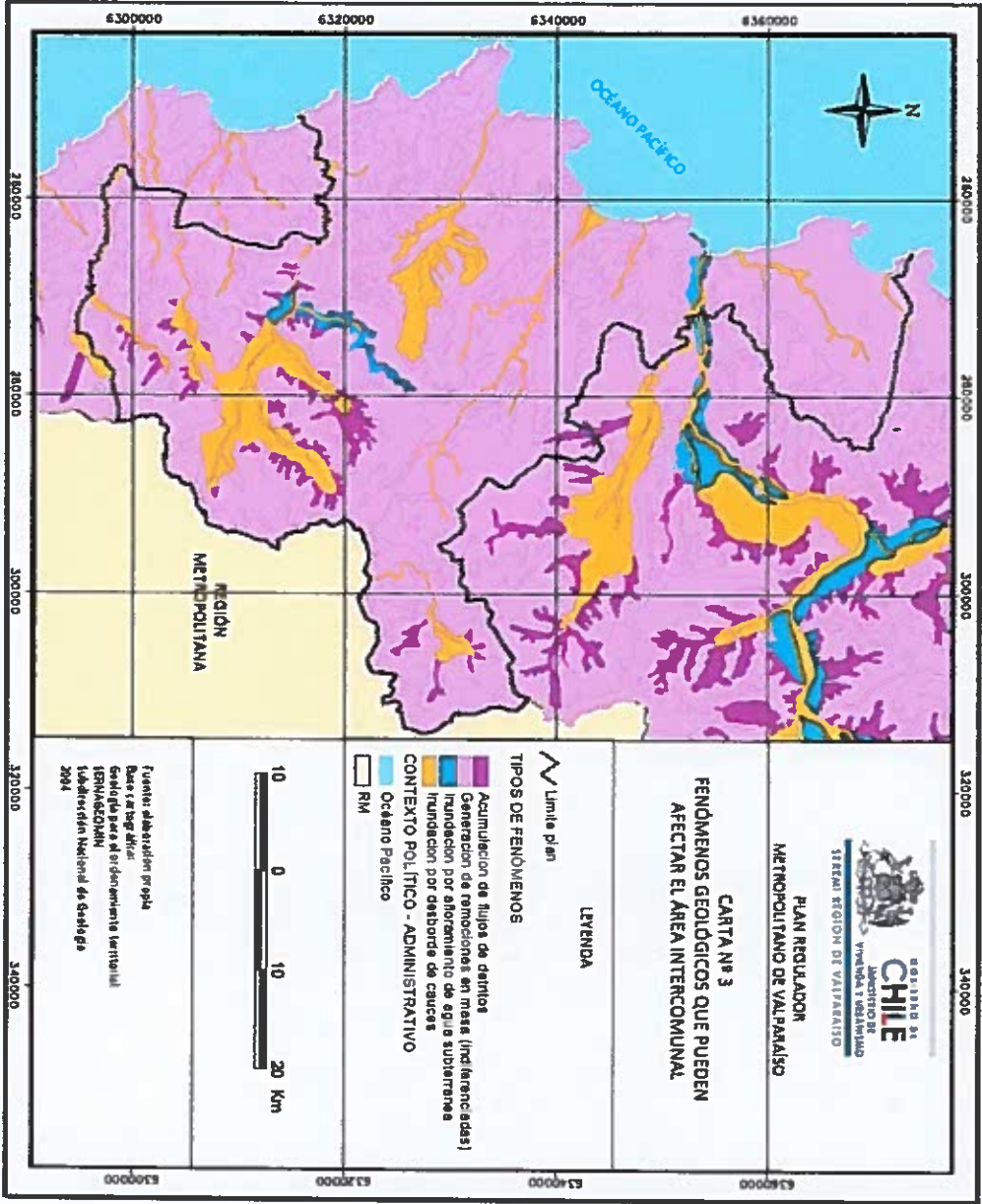
En general, la “Alta susceptibilidad” a procesos de remoción de masa se distribuye de manera homogénea en aquellos sectores compuestos por rocas intrusivas del batolito costero con edades desde el Paleozoico al Jurásico y que además se ven influenciados por factores geomorfológicos, principalmente la pendiente y la acción erosiva de la red hídrica. Por este motivo, los sectores mayormente afectados corresponden a la Cordillera de la costa y en los acantilados desde Valparaíso a Quintay.

En los sectores aledaños a los esteros Lagunillas, Casablanca y Lo Orrego, así como también los esteros Lo Orozco y Lo Ovalle presentan una susceptibilidad moderada a la inundación producto de afloramiento de agua subterránea; mientras que los abanicos y llanuras aluviales emplazadas en torno al embalse Lo Orozco y al sector de susceptibilidad moderada del estero Lo Ovalle presentan una susceptibilidad por inundación moderada generada por desbordes de cauces.



PLAN REGULADOR METROPOLITANO DE VALPARAÍSO
ESTUDIO FUNDADO DE RIESGOS

Imagen N° 8: Fenómenos geológicos que pueden afectar el área intercomunal. Esc: 1:250.000

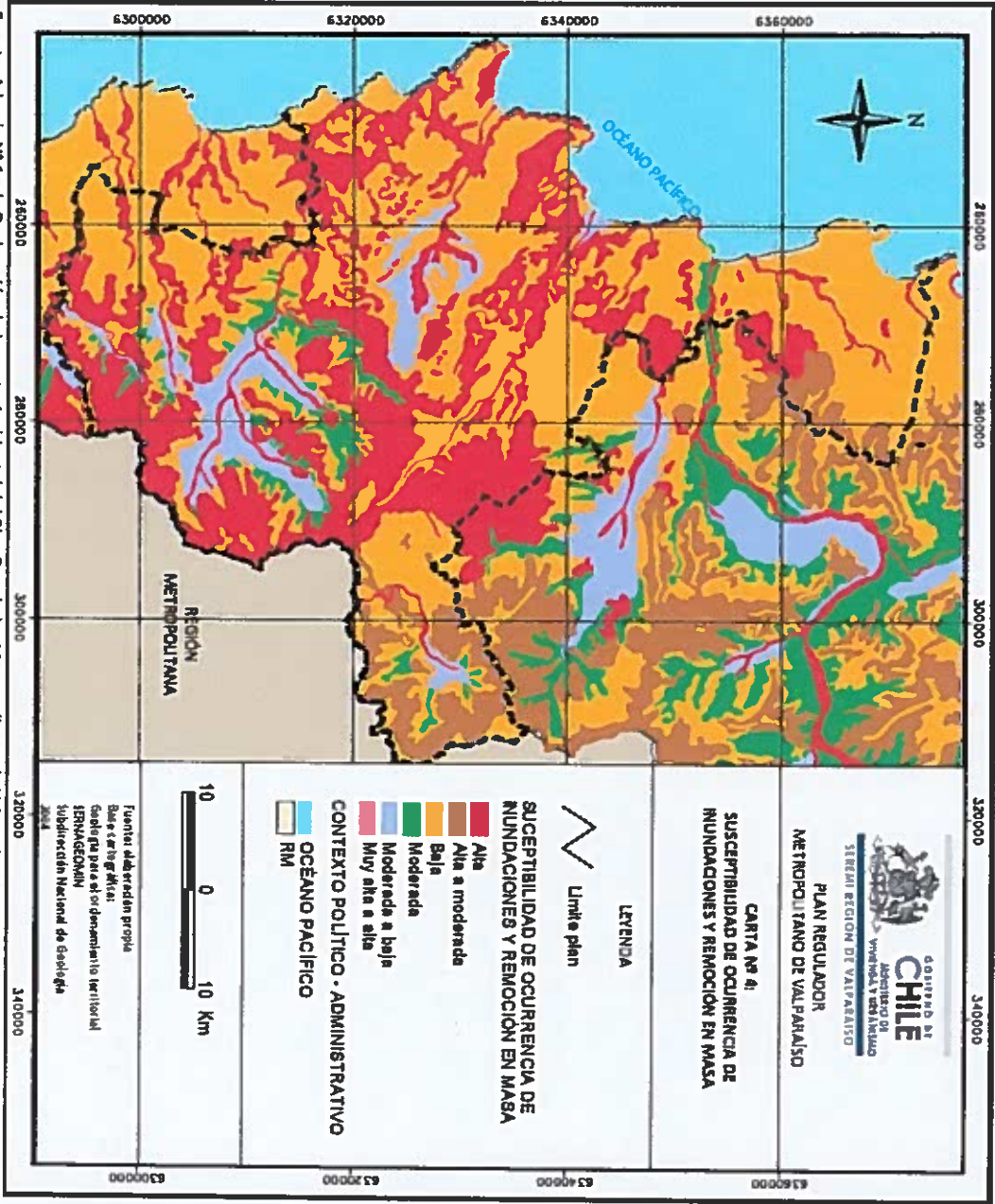


Fuente: Adenda N° 1 a la Declaración de Impacto Ambiental del Plan Regulador Metropolitano de Valparaíso. Anexo N° 1 Línea Base Medio Físico, 2010.
Secretaría Regional Ministerial de Vivienda y Urbanismo – Región de Valparaíso.



PLAN REGULADOR METROPOLITANO DE VALPARAÍSO
ESTUDIO FUNDADO DE RIESGOS

Imagen N° 9: Susceptibilidad de ocurrencia de inundaciones y remoción en masa. Esc: 1:250.000



3.2.1.- MARCO DE REFERENCIA ESPECÍFICO:

Variables de análisis, discusión bibliográfica y criterios de zonificación.

SERNAGEOMIN, define la remoción en masa, como *"un proceso de movilización pendiente abajo de un determinado volumen de suelo, roca o una combinación de ambos, generado bajo la influencia directa de la gravedad"*.

Estos procesos gravitacionales, se complementan con una serie de factores que de uno u otro modo contribuyen al debilitamiento de los materiales que componen la corteza terrestre, pero sin duda, el actor principal del proceso es el ángulo de inclinación que condicionará el descenso de materiales y por ende, las modificaciones a las forma del paisaje.

El análisis de la remoción en masa, requiere intrínsecamente, la identificación de los factores que actúan en el proceso y los roles que ellos cumplen.

3.2.2.1.- Pendiente: Factor condicionante.

El argumento científico que centra a la pendiente como un factor condicionante de procesos gravitacionales, en este caso, asociados a la remoción en masa, se debe a que *"...las partículas granulares no consolidadas (granos del tamaño de la arena o más gruesos) adoptan una pendiente estable denominada ángulo de reposo..."*, ángulo en el cual el material se mantiene estable y, que *"...dependiendo del tamaño y la forma de las partículas, el ángulo oscila entre 25 y 40 grados... Si se aumenta el ángulo los derrubios de roca se ajustarán desplazándose pendiente abajo..."*

Este importante dato planteado por Tarbuck y Lutgens en su libro "Ciencias de la Tierra", no sólo contribuye en la definición de criterios para la discriminación de los factores que influyen en el proceso, sino que además, especifica que esta pendiente no sólo es importante por los procesos gravitacionales que podría generar, sino que además, permite la generación de pendientes mucho más inestables, las que independiente del tipo y grado de meteorización de los materiales, tenderán a la estabilidad producto de la fuerza de gravedad.

Imagen N° 10: Procesos gravitacionales en Chile: Aluvión en Santiago, 2009



Fuente: <http://ecodiario.eleconomista.cl/>

En cuanto guarda relación con el parámetro establecido por Tarbuck y Lutgens (ángulo de reposo fluctuante entre 25° y 40°), cabe destacar que *"...en Chile no existe una metodología consolidada para obtener el ángulo de reposo de los suelos..."*⁶; no obstante, diversos autores han estudiado a mayor profundidad la pendiente definiendo una conceptualización y el umbral geomorfológico que representan en términos erosivos y/o procesos morfodinámicos que desencadenan.

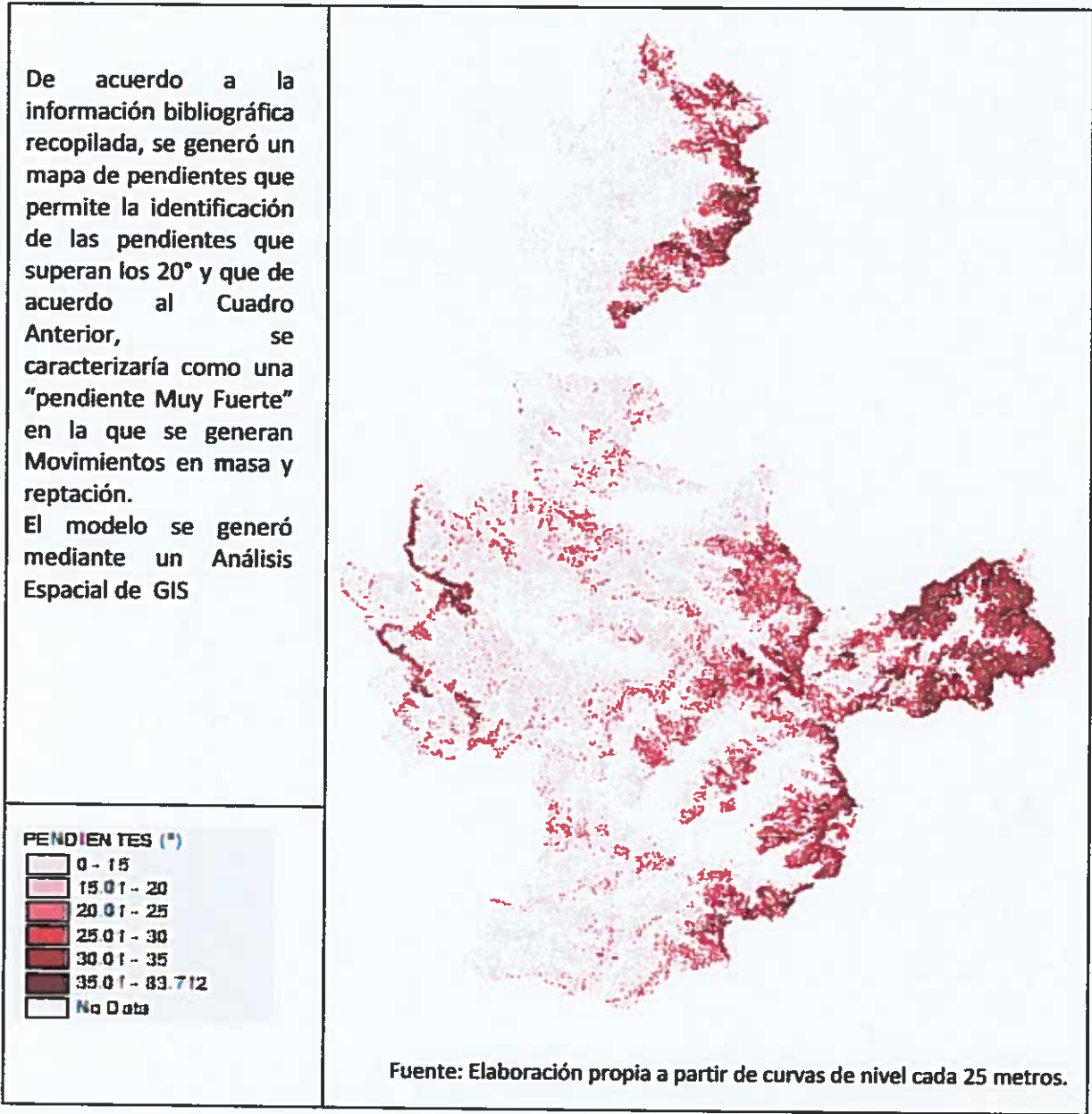
⁶ Rodas, R. ; Rousé, P. 2010. Análisis Comparativo de Método para la Medición del Ángulo de Reposo de Suelos Granulares. Facultad de Ingeniería, Universidad Diego Portales. Revista de la Construcción Volumen 9 N° 1 – 2000. Chile.



Araya & Börgel 1972, Young 1975 y Ferrando 1993, establecen los siguientes parámetros conceptuales:

| PENDIENTES (° y %) | CONCEPTO | UMBRAL GEOMORFOLÓGICO |
|----------------------|--|---|
| 0 – 2 0 – 4.5 | Horizontal | Erosión Nula a Leve |
| 2 – 5 4.5 – 11 | Pendiente Suave | Erosión débil, difusa, Sheet-wash, inicio de regueras, solifluxión fría |
| 5 – 10 11 – 22 | Pendiente Moderada | Erosión moderada a fuerte; inicio de erosión lineal, Rill-wash o desarrollo de regueras |
| 10 – 20 22 – 44.5 | Pendiente Fuerte | Erosión intensa; erosión lineal frecuente; Cárcavas incipientes |
| 20 – 30 44.5 – 67 | Pendiente Muy Fuerte a Moderadamente escarpada | Cárcavas frecuentes; movimientos en masa y reptación. |
| 30 – 45 67 – 100 | Escarpada | Coluvionamiento; Solifluxión intensa; inicio de derrubiación |
| 45 >100 | Muy Escarpada a Acantilada | Desprendimientos y derrumbes; corredores de derrubios frecuentes |

Imagen N° 11: Clasificación de Pendientes.



3.2.2.2: Exposición de laderas: Factor condicionante pasivo

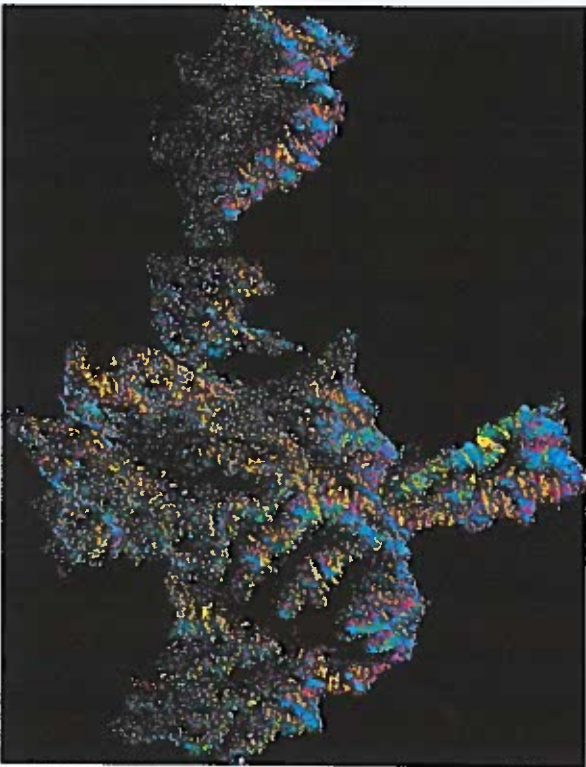
Otro factor relevante y considerado “condicionante pasivo” de acuerdo al estudio “Geología para el Ordenamiento Territorial de la Región de Valparaíso”, SERNAGEOMIN, 2005, es la orientación de las laderas, es decir, la incidencia del sol sobre la superficie y junto con ello, la actuación directa de agentes de meteorización.

A mayor precisión respecto de la materia, se plantea que a mayor exposición solar, existirá una menor cubierta vegetal y por ende, mayor exposición a la acción de las heladas y deshielos en invierno (Hauser, 1985).

La exposición de la superficie, adquiere relevancia propia por tratarse de un factor que entrega una luz de alerta respecto de aquellos procesos que sólo son posibles de verificar mediante ensayos de laboratorios, como por ejemplo, el nivel de meteorización de la roca.

En el caso del área estudiada, las 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. Corresponden a aquellas graficadas en la Imagen N° 2.

Imagen N° 12: Exposición de laderas del Área Intercomunal.



EXPOSICION LADERAS

| |
|--------------------------|
| Flat (-1) |
| North (0-22.5-337.5-360) |
| Northeast (22.5-67.5) |
| East (67.5-112.5) |
| Southeast (112.5-157.5) |
| South (157.5-202.5) |
| Southwest (202.5-247.5) |
| West (247.5-292.5) |
| Northwest (292.5-337.5) |
| No Data |

Imagen N° 13: Laderas de Exposición Norte del Área Intercomunal.



EXPOSICION NORTE

| |
|--------------------------|
| North (0-22.5-337.5-360) |
| Northeast (22.5-67.5) |
| Northwest (292.5-337.5) |
| No Data |

Fuente: Elaboración propia a partir de curvas de nivel cada 25 metros.

3.2.2.3.- Vegetación: Factor condicionante pasivo.

Es considerado un factor adicional que contribuye en la estabilidad de las pendientes y protege contra la erosión, mediante sus sistemas radiculares que unen el suelo y el regolito⁷. No obstante, su jerarquía en relación a otros factores condicionantes no es clara.

⁷ Tarbuck, E. & Lutgens, F. 2008. Ciencias de la Tierra



El Estudio "Geología para el Ordenamiento Territorial de la Región de Valparaíso", señala que algunos autores afirman que el "...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..."⁸ No obstante, "... la humedad acumulada en los suelos por la presencia de vegetación puede disminuir el roce interno y favorecer la inestabilidad⁹..."

En este orden, el mismo estudio plantea que "... si bien la presencia de árboles en quebradas favorecería la contención de flujos de detritos y de erosión y entraparía una porción importante de agua, otros autores advierten que la energía de los flujos de detritos es tan alta que la resistencia de estos árboles sería insignificante, e incluso podría aumentar los daños al incorporar los troncos al flujo¹⁰..."

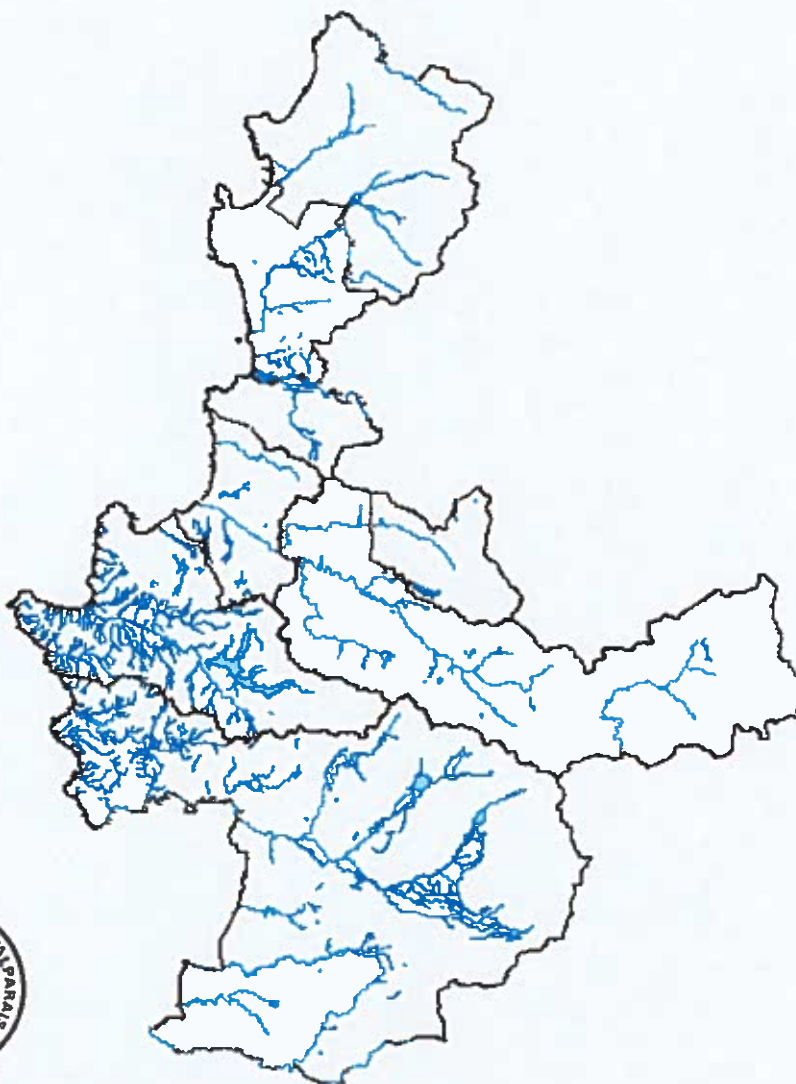
A raíz de la inconsistencia teórica en términos de sustentación de la cobertura vegetal como un factor condicionante de los procesos gravitacionales asociados a la remoción en masa, no ha sido considerada una variable de relevancia en el presente estudio.

3.2.2.4.- Agua: Factor desencadenante.

Muchos de los procesos gravitacionales se desencadenan a raíz de fuertes precipitaciones, aumento de caudales de origen nival, entre otros; pero estos elementos por si solos no constituyen un factor condicionante, sino que desencadenan el proceso, mediante la saturación de los materiales y en muchos casos la destrucción de la cohesión entre las partículas, debido a que "...la saturación reduce la resistencia interna de los materiales, los cuales son puestos fácilmente en movimiento por la fuerza de gravedad...", además el agua al saturar los materiales, genera una masa de mayor densidad y volumen, que por su propio peso, se deslizará pendiente abajo.



Imagen N° 14
Red hídrica del Área Metropolitana de
Valparaíso y Satélite Quintero – Puchuncaví.



Traducción AMR Traducciones Científicas. 8ª Edición.

⁸ SERNAGEOMIN. 2004. Geología para el Ordenamiento Territorial de la Región de Valparaíso, Servicio Nacional de Geología y Minería, Informe Registrado IR-04-23, 49p., 2 mapas escala 1:250.000.

⁹ Idem

¹⁰ Idem

3.2.2.5.- Registros históricos en el Área Intercomunal.

Escasos son los antecedentes históricos que dan cuenta de la ocurrencia de procesos de remoción en masa y menos aún, aquellos que guardan relación con las características de los Sectores que se han visto afectados.

El Estudio “*Peligro de remociones en masa e inundaciones en las ciudades de Valparaíso, Viña del Mar y Concón, Región de Valparaíso*”, SERNAGEOMIN, 2005. Informe Registrado IR-05-29, realizó un análisis respecto de los procesos que han afectado a las ciudades señaladas, mediante un catastro que involucra el período comprendido entre 1851 y 2002. En el caso de la remoción en masa, de un total de 333 eventos, sólo se logró el ubicar el 51%.

Los aspectos relevantes de destacar, es que el Informe mencionado, concluyó, la relación existente entre los factores fijos de riesgo y el número de eventos ocurridos durante un período de 10 años, permitiendo con ello, generar una microzonificación en las ciudades de Valparaíso, Viña del Mar y Concón, de las áreas de mayor y menor peligro.

Estos antecedentes, constituyen un factor esencial en la determinación de áreas de riesgo a escala intercomunal, debido a que establece un escenario a mayor escala, en las ciudades de mayor densidad poblacional de Plan; situación que para efectos del presente estudio (de menor escala y que abarca áreas que mayoritariamente no se encuentran intervenidas con fines asociados al desarrollo urbano), deja en evidencia, el escenario más desfavorable.

| RECURRENCIA DE PROCESOS DE REMOCIÓN EN MASA EN LAS CIUDADES DE VALPARAISO, VIÑA DEL MAR Y CONCON. | | | | |
|---|--|---------------------|---------------------------------|--------------------|
| Tipo de peligro | Descripción | Pendiente en grados | N° Eventos (Promedio ponderado) | Período de retorno |
| Alto | Corresponde a laderas de cerros superiores a 40° de inclinación, en las cuales los materiales son fácilmente erosionables y la acción del agua, pendiente y actividad antrópica propician las remociones en masa | > 40° | 3 a 4 | 10 años |
| Moderado a Alto | Corresponde a zona de acumulación de rocas y colapso de materiales no consolidados, provenientes de laderas con más de 70° de pendiente. | 15° - 40° | 3 a 4 | 10 años |
| Moderado | Comprende las laderas de quebradas con pendientes entre 15° y 40°, adyacente a zonas de peligro alto. | 15° - 40° | 2 | 10 años |
| Bajo o Nulo | Son los sectores con pendiente inferior a 15°, y se ubican en los sectores donde hay ausencia de erosión incisiva. | < 15° | No se registran | No se indica |

Fuente: Elaboración propia, a partir de “*Peligro de remociones en masa e inundaciones en las ciudades de Valparaíso, Viña del Mar y Concón, Región de Valparaíso*”. SERNAGEOMIN, 2005. Informe Registrado IR-05-29.



3.2.2.6.- Criterios de análisis para la zonificación de Área de Riesgo por remoción en masa:

Los criterios considerados en la definición de áreas susceptibles de ser afectadas por procesos gravitacionales asociados a la remoción en masa, han sido aquellos que se adaptan a las características físico geográficas del área intercomunal. En este sentido, la pendiente topográfica constituye el principal factor de análisis, por tratarse de "...el único valor cuantificable..."¹¹

En este orden, se contrastó la teoría geológica clásica de Tarbuck y Lutgens, con antecedentes de diversos autores que han precisado detalles respecto de la pendiente como un factor condicionante en los procesos gravitacionales de remoción en masa como Araya & Börgel, Young y Ferrando.

Cabe destacar además, que la razón por la cual no ha sido factible definir en la escala intercomunal el parámetro de equilibrio entre los cuerpos que mantienen la estabilidad de los materiales (ángulo de reposo), guarda relación con el nivel de fracturación de la roca. Esta variable que si bien, es considerada por la geología clásica como un factor fijo en la ocurrencia de procesos gravitacionales, "... al estar circunscrito a un área muy pequeña de la zona de estudio no es de gran influencia en un aspecto global, pero si en lo local..."¹². Por ello, se recomienda a priori, que aquellas áreas definidas como Áreas de riesgo natural por pendiente en el Plan, consideren este aspecto mediante estudios de mecánica de suelo que permitan identificar con mayor certeza la cohesión de los materiales a nivel de proyecto.

La exposición de las laderas, por su parte, ha sido un factor de análisis en el presente estudio, debido al impacto que puede generar la incidencia solar en mayor o menor cuantía, así como también, el nivel de resguardo de los materiales frente a exposición solar, heladas invernales, precipitación, entre otros.

La vegetación por su parte, no constituye un factor de análisis debido a la inconsistencia bibliográfica sobre su aporte en materia de resistencia a la energía involucrada en procesos de remoción en masa. Además, es dable advertir que las comunas que conforman en Plan presentan distintos grados de intervención antrópica, ya sea mediante explotación forestal como agricultura intensiva, lo que invalida parcialmente la teoría de la cohesión de los materiales mediante el sistema radicular de los árboles.

Finalmente en el caso de las quebradas de agua permanente, éstas han sido consideradas como un factor adicional de riesgo, debido al importante rol del agua en la saturación de material y el aumento de peso de los mismos.

De este modo, la susceptibilidad de las áreas a sufrir procesos gravitacionales asociados a remoción en masa, se define de la siguiente manera:

$AR\ NP = \sum (V_{In} + V_w + V_m \geq 40\%)$ donde,

AR NP : Corresponde al área potencial de procesos gravitacionales de remoción en masa.

¹¹ Lpez L.; Wall, R.; Prat, M. 2005. Peligro de Remociones en masa e Inundaciones de las ciudades de Valparaíso, Viña del Mar y Concón, Región de Valparaíso. Servicio Nacional de Geología y Minería. Informe Registrado, Ir-05-29, 24P. Anexos. 2 mapas en 3 hojas, escala 1:10.000.

¹² Ídem



- Σ : Corresponde a la susceptibilidad; Sumatoria de factores o variables que posibilitan la ocurrencia de un fenómeno.
- In : corresponde a las laderas de exposición norte. Área mayormente expuesta a agente de meteorización. Su ponderación fue definida bajo de modo binario y no constituye una variable excluyente y de mayor jerarquía que la pendiente topográfica.
- w: Es presencia o ausencia de agua permanente en quebradas. Su ponderación fue definida bajo de modo binario y no constituye una variable excluyente y de mayor jerarquía que la pendiente topográfica.
- m : Pendiente topográfica; ángulo definido a raíz del escenario más conservador de nivel intermedio entre la geología clásica (25°), descripción de pendiente y umbral geomorfológico (20°) y estudio de recurrencias históricas locales (15°).

Su cálculo en porcentaje y grados se calculará de la siguiente manera:

$$m(\%) = (dv/dh) * 100 = m(^{\circ}) = \tan(h * d)$$

De acuerdo a la información recabada por el presente estudio, la pendiente definida como un escenario conservador, equivale a 40%. Este valor resulta del criterio conservador del Plan y de la necesidad de resguardar a la población y sus edificaciones ante un eventual proceso gravitacional de remoción en masa.

La pendiente ha sido considerada para efectos del presente estudio, como el factor principal y condicionante de los procesos conducentes a la generación de remoción en masa, por constituir un factor cuantificable y factible de representar gráficamente. Es importante señalar además que la pendiente es el principal factor condicionante de los procesos gravitacionales, debido a que no siempre se requiere de factor desencadenante, aunque suelo ocurrir.

Tarback & Lutgens en su Ciencias de la Tierra, afirman que *"... muchos procesos gravitacionales rápidos ocurren sin un desencadenante apreciable. Los materiales de la pendiente se debilitan de manera gradual con el tiempo bajo la influencia de la meteorización a largo, la infiltración del agua y otros procesos físicos..."*.

De este modo, y en atención a que la pendiente ha sido definida por el presente estudio como la variable preponderante, se ha sugerido asociar normativamente el Riesgo a Terrenos en Pendientes

La espacialización de las áreas de riesgo asociadas a este fenómeno gravitacional y principalmente a los terrenos en pendiente, se ha realizado mediante herramientas de análisis espacial, y 3 dimensiones del software ArcGis 10, lo que se presenta en las imágenes N° 15 y N° 16. Sin perjuicio de ello, es importante señalar que la metodología aplicada para graficar las áreas de riesgo, responde a una estructura de tipo raster, cuya malla de información territorial abarca una superficie que impide el reconocimiento de áreas accidentadas en superficies estrechas, como es evidente en el caso de comunas como Valparaíso y Viña del Mar. Esta situación podría implicar que áreas con pendiente superior a lo establecido por el presente estudio, no se encuentren graficadas en el plano; no obstante, se deja de manifiesto que prevalece lo dispuesto por la Ordenanza del Plan y, por lo tanto, dichas áreas estarán sujetas a la precisión de los Instrumentos



de Planificación Territorial de mayor escala (Comunales y/o Seccionales) que permitan una mayor definición de las pendientes respecto de las áreas predominantes que se han establecido para el presente Plan Intercomunal.



Imagen N° 15
Rangos de Pendiente en
el área de estudio

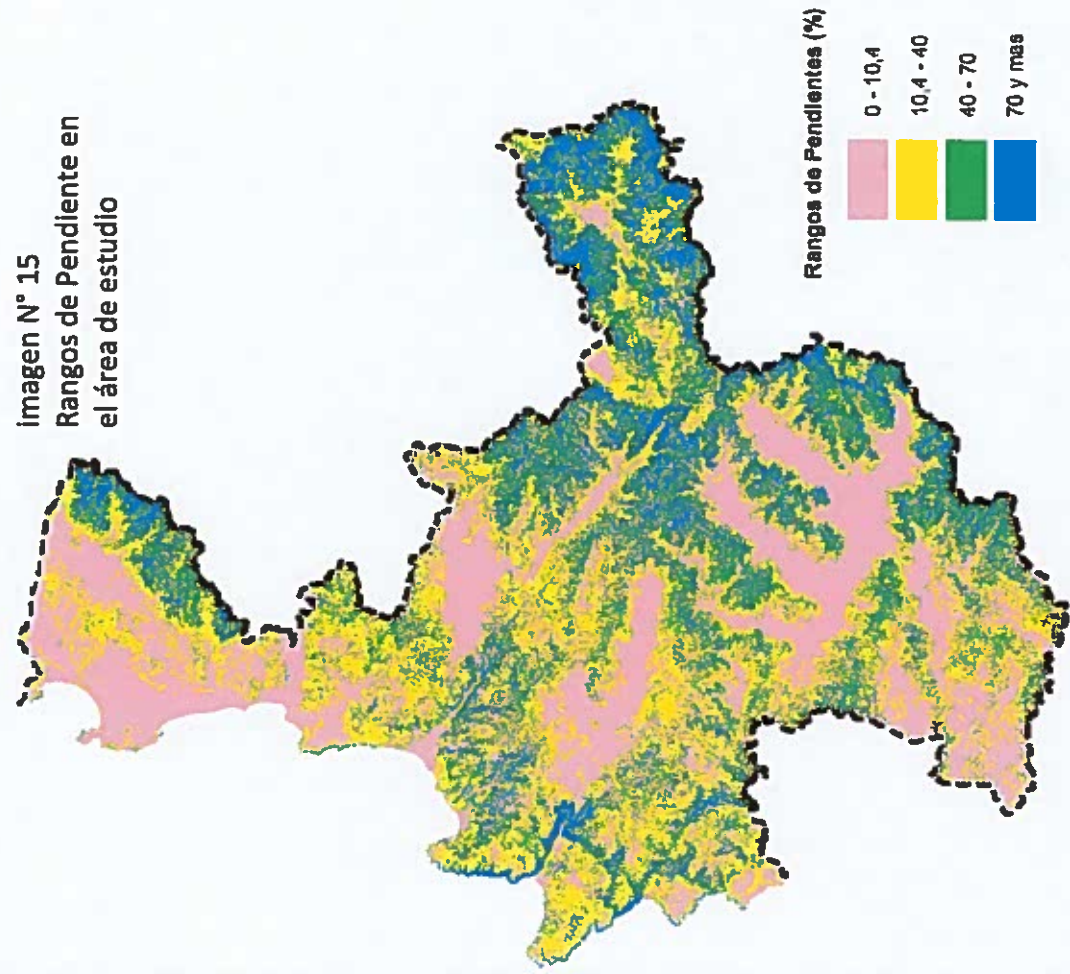
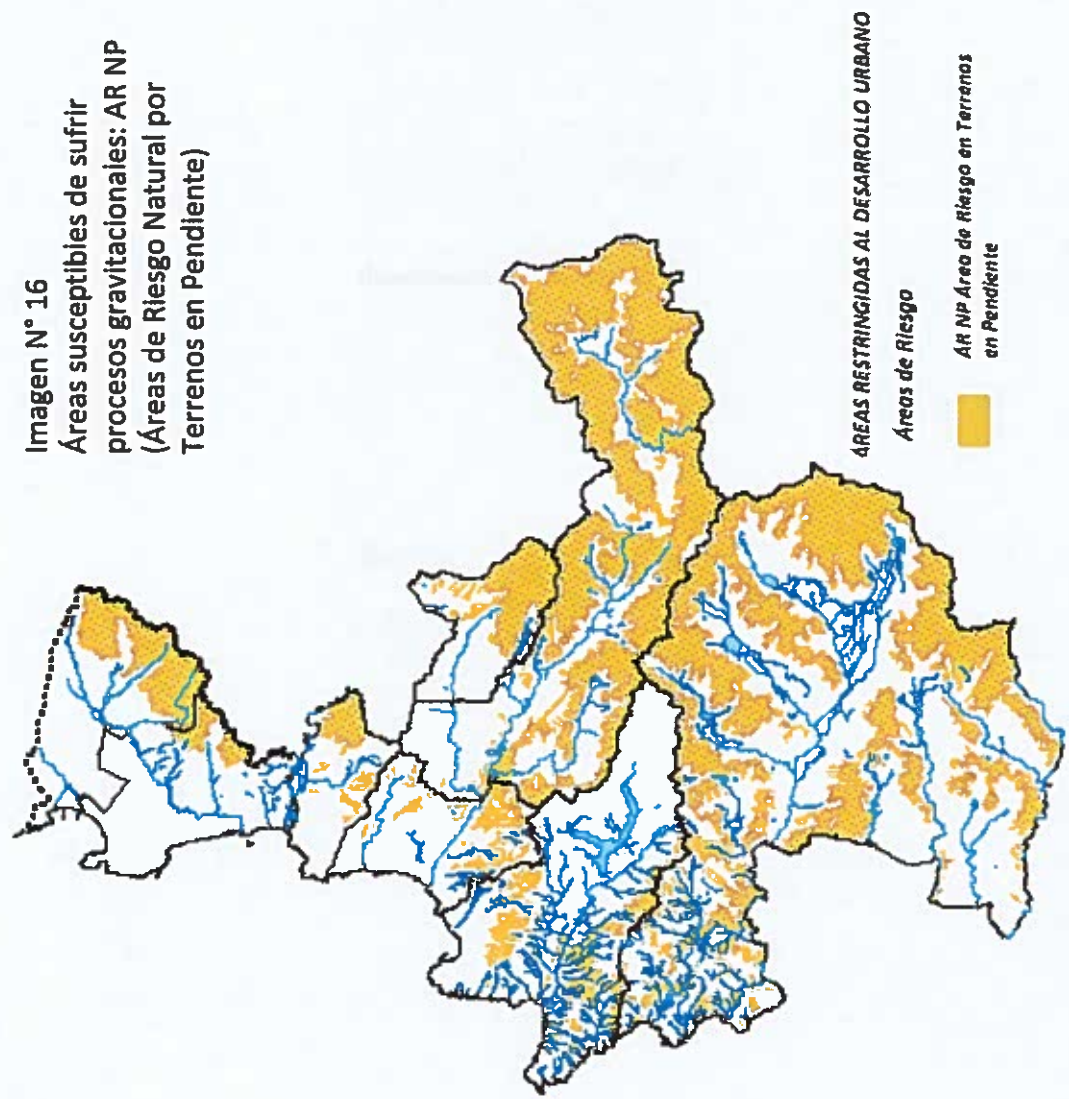


Imagen N° 16
Áreas susceptibles de sufrir
procesos gravitacionales: AR NP
(Áreas de Riesgo Natural por
Terrenos en Pendiente)



3.2.2.7.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En primer lugar se advierte que el presente Estudio es parte del Plan Regulador Metropolitano de Valparaíso y entrega los contenidos conducentes a la definición de áreas de riesgo, de acuerdo a lo establecido en el artículo 2.1.17 de la Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones, y cuyos contenidos adquieren relevancia en la escala de aplicación del Plan, es decir 1:50.000.

Los Planes Reguladores Comunales, en virtud de la escala de trabajo podrán precisar las áreas de riesgo que ha establecido este Instrumento de Planificación Territorial, pero en ninguna podrán eliminar sin argumento técnico o estudio de mitigación del riesgo, las áreas establecidas en este Instrumento y que afecten a su territorio administrativo.

En el caso de las áreas urbanas de Valparaíso y Viña del Mar, estas constituyen áreas geográficas accidentadas y con pendientes abruptas en algunos casos, no obstante, atendiendo a que muchas de ellas ya se encuentran normadas por un Instrumento de Planificación de escala local, el presente Estudio no ha interferido en sus áreas de riesgo definidas con antelación.

Para la construcción de terrenos en pendiente, se requerirá de acuerdo a lo establecido en el Artículo 2.1.17 de la Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones *"...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, cuando corresponda. Este tipo de proyectos podrán recibirse parcial o totalmente en la medida que se hubieren ejecutado las acciones indicadas en el referido estudio. En estas áreas, el plan regulador establecerá las normas urbanísticas aplicables a los proyectos una vez que cumplan con los requisitos establecidos en este inciso"*.

En cuanto guarda relación con los Organismos competentes, SERNAGEOMIN¹³ sugiere lo siguiente:

- Los Estudios sean aprobados por SERNAGEOMIN, Dirección de Obras Hidráulicas (DOH) y la Dirección General de Aguas (DGA), cuando proceda.
- Los Estudios de Peligros geológicos de detalla deberán contemplar:
Recopilación de antecedentes geológicos y, en especial, estudios de casos anteriores (o históricos)
Identificación de tipo de remoción en masa que podrían afectar a la zona en estudio.
Identificación y caracterización de factores condicionantes y desencadenantes.
Mapa geológico-geomecánico (descripción estartigráfica, litología, estructuras geológicas, anisotropía de taludes proyectados y comportamiento de los suelos. Todo, en una escala mínima 1:10.000
- En suelos o rocas muy meteorizados, excavación de calicatas, trincheras y/o sondajes, con el fin de observar los materiales y tomar muestras inalteradas. Ensayos de laboratorio para determinar la resistencia al corte.
- Zonificación de peligros geológicos en escala de detalle. Delimitar un área de influencia que contenga las zonas que podrían verse potencialmente afectadas por fenómenos de remoción en masa producto del proyecto que se desarrollaría.
- Diseño de obras de mitigación: Los proyectos diseñados en zonas potencialmente generadoras de remoción en masa, pueden disminuir la probabilidad de ocurrencia del fenómeno, mediante la construcción de obras y medidas adecuadas. Por ejemplo: Para el caso de deslizamientos, se debe diseñar y construir obras de contención con factor de seguridad igual o mayor a 1.5, como por ejemplo, muros con fundaciones por debajo del plano de ruptura y sistemas de drenaje adecuados. Para los flujos de detritos se puede realizar una profundización canalización de los cauces, o construir piscinas decantadoras.

¹³ SERNAGEOMIN. 2004. Geología para el Ordenamiento Territorial de la Región de Valparaíso, Servicio Nacional de Geología y Minería, Informe Registrado IR-04-23, 49p., 2 mapas escala 1:250.000.



Si se trata de caída de rocas, se puede mitigar mediante obras de contención como mallas y pernos de anclaje en macizos rocosos.

- Se debe establecer claramente los alcances y limitaciones de las obras de mitigación diseñadas.

BIBLIOGRAFIA

Tarbuck, E. & Lutgens, F. 2008. Ciencias de la Tierra
Traducción AMR Traducciones Científicas. 8ª Edición.

SERNAGEOMIN. 2004. Geología para el Ordenamiento Territorial de la Región de Valparaíso, *Servicio Nacional de Geología y Minería, Informe Registrado IR-04-23*, 49p., 2 mapas escala 1:250.000.

Lépez L.; Wall, R.; Prat, M. 2005. Peligro de Remociones en masa e Inundaciones de las ciudades de Valparaíso, Viña del Mar y Concón, Región de Valparaíso. *Servicio Nacional de Geología y Minería. Informe Registrado, ir-05-29*, 24P. Anexos. 2 mapas en 3 hojas, escala 1:10.000.

Rodas, R. ; Rousé, P. 2010. Análisis Comparativo de Método para la Medición del Ángulo de Reposo de Suelos Granulares. Facultad de Ingeniería, Universidad Diego Portales. Revista de la Construcción Volumen 9 N° 1 – 2000. Chile.

Corporación Chile Ambiente. 2005. "Diagnóstico Ambiental del Plan Regulador Intercomunal de Valparaíso en el Área Metropolitana y Satélite Quintero – Puchuncaví". *Secretaría Regional Ministerial de Vivienda y Urbanismo Región de Valparaíso, Código BIP 20142363 – 0*. Chile.

Börgel, R. 1982. Tomo II: Geomorfología. Geografía de Chile. Instituto Geográfico Militar. Chile.

Hauser, A. 1993. Remociones en masa en Chile. Boletín N° 45, Servicio Nacional de Geología y Minería, Chile.

Pérez L. (1988) "Microzonificación sísmica de la ciudad de Viña del Mar".

REFERENCIAS ELECTRÓNICAS: SITIOS CONSULTADOS

<http://sigeo.sernageomin.cl/>

<http://www.ipgp.fr/>

<http://shoa.cl/>

<http://www-e-seia.cl/>

<http://www.cyta.com.ar/>

<http://www.cybertesis.cl/tesis/uchile/>

